

IPEK

SPECIAL EDITION INSIDE

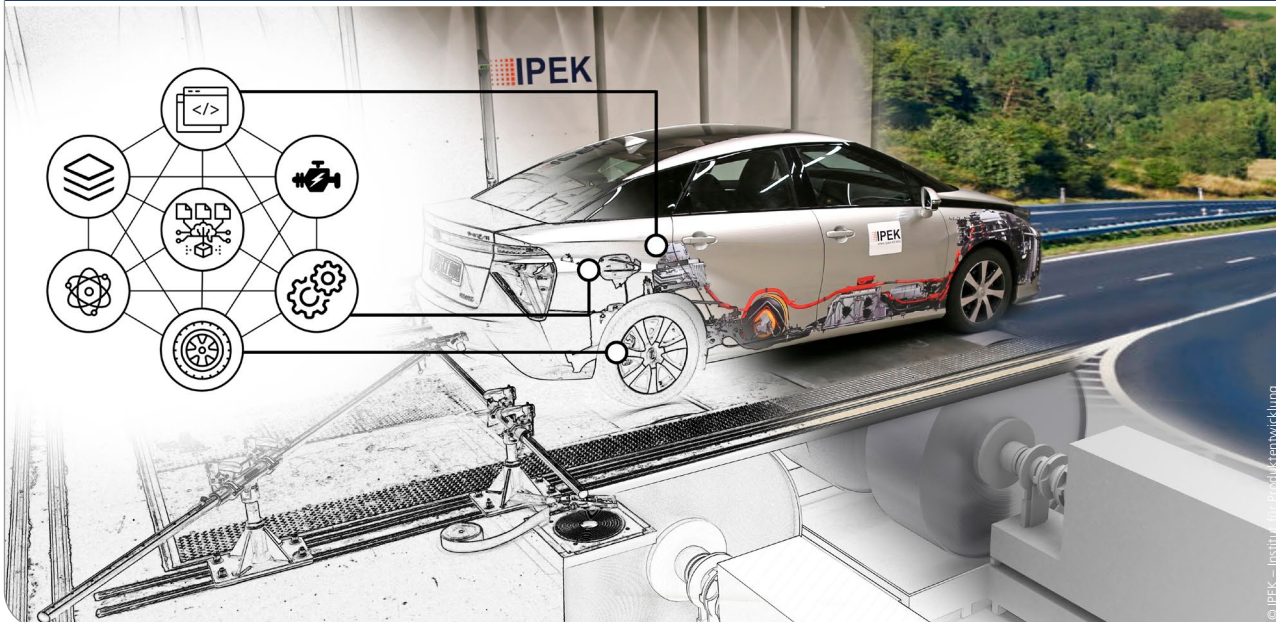
INFORMATIONEN DES IPEK ZUM START DES SFB 1608 CONVIDE



IPEK

© Rabea Strauch, KIT

Konsistenz in der sichtenbasierten Entwicklung Cyber-physikalischer Systeme



© IPEK – Institut für Produktentwicklung

Liebe Leserinnen und Leser,

unsere Zeit ist geprägt von großen Herausforderungen! Was vor einigen Jahren noch undenkbar war – Krieg in Europa mit dramatischen Folgen für die Menschen, aber auch für unser Wirtschaftssystem – bestimmt nun unsere Wirklichkeit. Eine Energiekrise hat zu einer sehr hohen Inflation geführt, die überall Werte vernichtet hat. Gleichzeitig investieren die Staaten sehr viel Kapital in Rüstung und die Kompensation von Preissteigerungen. Das sind alles kurzfristige Einflüsse. Dazu kommt aber ganz vorrangig und sicher langfristig der Kampf gegen die Erderwärmung zum Erhalt einer lebenswerten Welt. In der letzten Ausgabe der IPEK-INSIDE haben wir schon als zentralen Punkt festgestellt: Die Bewältigung dieser Herausforderung kann nur im Zusammenspiel mit der Technik gewonnen werden. Um diese neuen Lösungen zu entwickeln, braucht es Forschung an Methoden, Prozessen und Lösungen! Diese Lösungen sind mehr und mehr Cyber-physische Systeme (CPS) – also vernetzte Maschinen, Anlagen und Fahrzeuge, oftmals auch Systems-of-Systems (SoS). Von autonomen, elektrischen Fahrzeugen mit rekuperierenden Bremsen über intelligente flexible Fabriken bis hin zu smarten Städten mit neuen Mobilitäts- und Energiesystemen – CPS sind zweifellos ein Schlüssel zur nachhaltigen Gestaltung unserer Zukunft.

In ihrem Kern vereinen diese CPS die physische Welt mit der virtuellen Sphäre, indem sie mit einer Symbiose aus Sensoren, Aktoren, Computern und Netzwerken eine nahtlose Verbindung zu den technischen Systemen und zwischen Ihnen herstellen. Diese faszinierende Verschmelzung eröffnet den CPS die Fähigkeit, Informationen zu sammeln, zu analysieren und daraus intelligente Entscheidungen abzuleiten, um reale Prozesse – wie zum Beispiel das autonome Fahren auf der Autobahn – zu steuern und zu optimieren.

Die Erforschung und Entwicklung von CPS – Wissenschaft und Industrie Hand in Hand – wird uns eine Fülle von Möglichkeiten geben, um die zukünftigen Herausforderungen unserer Gesellschaft zu meistern. Egal, ob es um die effizientere Nutzung von Ressourcen, die Bewältigung des demografischen Wandels, die Steigerung der Produktivität oder die Verbesserung der Lebensqualität geht – CPS bieten innovative Lösungsansätze für drängende Probleme, die uns bewegen.

Eine Herausforderung bei der Entwicklung von CPS ist deren hochgradige Komplexität und Interdisziplinarität. CPS bestehen aus einer Vielzahl von informatorischen, elektronischen und mechanischen Systemen, die auf vielfältige Weise miteinander interagieren. Doch genau darin liegt die Herausforderung, die uns in dem neuen Sonderforschungsbereich 1608 „Convide“ am KIT – für den wir in diesem Jahr eine darauf fokussierte Sonderausgabe der IPEK INSIDE gestaltet haben – antreibt. Wir wollen verstehen, wie wir diese Komplexität effizient handhaben können, um die Entwicklung, Gestaltung und Wartung von CPS auf ein bisher unerreichtes Niveau zu heben. Durch die enge Zusammenarbeit der Forschenden aus dem Maschinenbau, der Elektrotechnik und der Informatik wollen wir gemeinsam Modelle, Methoden und Tools auf Basis der SGE – Systemgenerationsentwicklung erforschen und erstellen, die uns dabei unterstützen, CPS in den einzelnen Domänen konsistent zu entwickeln, zu validieren und zu optimieren – und das stets mit einer ganzheitlichen und systemfokussierten Betrachtung.

Dabei ist auch die Sicherheit der CPS in ihrem Einsatz von absoluter Bedeutung, besonders in sicherheitskritischen Situationen wie Bremsvorgänge bei autonomen Fahrzeugen oder Zertifizierung bei medizinischen Geräten. Daher sollen effektive und effiziente Validierungs- und Verifikationsmethoden ein Schwerpunkt der Forschung sein. Simulationen, Emulationen und praxisnahe Tests spielen dabei eine zentrale Rolle, um die Gewissheit zu erlangen, dass CPS die höchsten Standards erfüllen und somit homologiert werden.

Durch den domänenübergreifenden Charakter wird nicht nur das Entwickeln und Validieren der CPS komplexer, sondern auch das Management dieser Entwicklungsprozesse. Interdisziplinarität verbunden mit stark unterschiedlichen Entwicklungszyklen in den Domänen fordern auch hier neue Lösungen. Mit den Ansätzen des ASE – Advanced Systems Engineering, an denen wir bereits seit einigen Jahren forschen, sollen durch die intelligente Kombination von iterativen und strukturierten Entwicklungsansätzen neue Entwicklungsprozesse auf Basis einer erreichten Konsistenz erarbeitet werden.

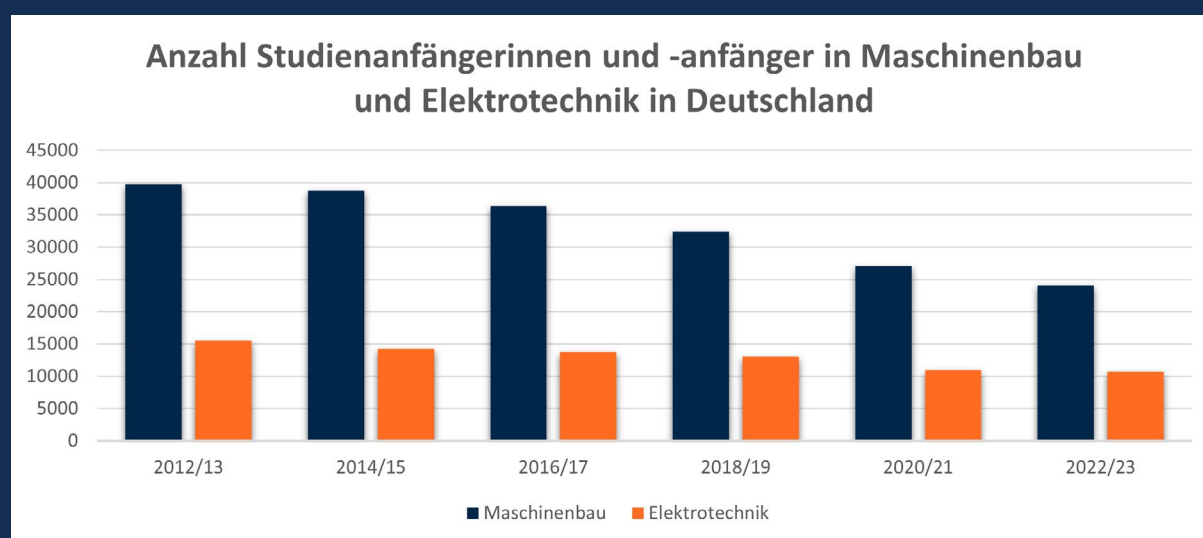
Doch unser Ziel reicht weiter als nur technologische Effizienz. Wir glauben daran, dass CPS eine bedeutende Rolle in einer nachhaltigen Zukunft spielen können. Daher legen wir besonderes Augenmerk darauf, CPS umweltfreundlich zu gestalten und ökologische, ökonomische und soziale Aspekte gleichermaßen zu berücksichtigen. Die Reduzierung des Energieverbrauchs, die optimierte Ressourcennutzung und die Minimierung von Abfällen sind hierbei nur der Anfang unseres Engagements. Wir haben der Bedeutung des Themas entsprechend das neue Forschungsfeld Nachhaltigkeit am IPEK eingerichtet, dass die weit über den SFB hinausgehenden Arbeiten clustern soll. Darüber wird dann in der Zukunft zu berichten sein.

All das ist erst der Anfang einer zielführenden und erfolgreichen Synergie aus Innovation und Wissenschaft, auf die wir uns freuen. CPS versprechen uns ein neues Zeitalter, in dem die Schnittstelle von Technologie und Mensch ein enormes Potenzial für neue Produkte, Lösungen und Dienstleistungen freisetzt, um den Herausforderungen unserer Zeit zu begegnen. Doch all das erfordert auch die Menschen, die als Entwickelnde im Team diese Lösungen gestalten! Werden wir diese auch in Zukunft haben? Die untenstehende Grafik zeigt eine der größten Bedrohungen unserer Zukunft als Hochtechnologieland: Auch wenn dieses Jahr am KIT ein leichter Anstieg zu verzeichnen ist, ist die Anzahl der Studierenden, die ein Studium im Maschinenbau oder der Elektrotechnik beginnen in den letzten 10 Jahren um 40 % bzw. 31 % zurückgegangen – wobei in der Elektrotechnik auch schon die Zahlen aus 2012 völlig unter dem Bedarf liegen. Dabei ist die Zahl der Studienberechtigten nur leicht zurückgegangen. Junge Menschen meiden bei Ihrer Berufswahl also die Ingenieurfächer trotz bester Berufsaussichten. Evtl. wirkt sich hier eine grundlegende Skepsis der jungen Generation, bezogen auf Technik und Technologie, ganz allgemein aus. Hier stehen wir alle in der Verantwortung, gegenzusteuern! Auch hier kann und wird der SFB Convide einen Beitrag leisten. Die interdisziplinäre und teamorientierte Forschung an faszinierenden Lösungen, die einen Beitrag zu einer lebenswerten Zukunft leisten werden, ist bestens geeignet, junge Menschen für die Technik zu begeistern. Wir werden auch diese Chance durch die frühe Einbindung von Schülern, Studierenden und Gesellschaft in unsere Arbeiten nutzen!

Genießen Sie nun unsere Convide Sonderausgabe und lassen Sie sich inspirieren!

Ihr

Albert Albers und Tobias Düser

Quelle: Statistisches Bundesamt

1. DFG-SFB Convide – Domänenübergreifende Entwicklung von Cyber-physischen Systemen durch Konsistenzmanagement

Cyber-physische Systeme verknüpfen mechanische und elektronische Teilsysteme mithilfe von Software und binden diese an das Internet an. Sie sind gekennzeichnet durch einen hohen Datenaustausch und komplexe Verknüpfungen. Sie finden Anwendung in einer Vielzahl von technischen Systemen, sei es in Fahrzeugen unter dem Stichwort Industrie 4.0, in der Produktionstechnik oder auch in Smart-Home-Systemen. Die Synthese und Gestaltung solcher Systeme ist komplex, da zahlreiche Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Teilsystemen bestehen und vor allem viele verschiedene Domänen und Disziplinen an dem Entwicklungs- bzw. Entstehungsprozess beteiligt sind. Der neue DFG-Sonderforschungsbereich (SFB) „Consistency in the View-Based Development of Cyber-Physical Systems“ – kurz Convide – widmet sich der Konsistenz beim Zusammenführen unterschiedlicher disziplinärer Sichten während des Entwicklungsprozesses von Cyber-physischen Systemen. Damit reagiert der SFB Convide mit seiner Forschung auf die zentrale Herausforderung im Bereich des Advanced Systems Engineering (Beitrag 3), nämlich auf das Management der wachsenden Komplexität während der Entwicklung und Validierung von CPS. Ein Sonderforschungsbereich der DFG - Deutsche Forschungsgemeinschaft ist im Bereich der Universitätsforschung das mit Abstand umfangreichste Format für eine grundlagenorientierte Forschung in allen Bereichen der Wissenschaft. Er läuft über 12 Jahre in drei Phasen mit mehr als 20 beteiligten Forschenden. Die Einrichtung und Förderung eines Sonderforschungsbereichs wird in einem Wettbewerbsverfahren auf der Basis eines detaillierten Forschungsantrags durch den DFG-Senat entschieden. Der SFB Convide konnte sich im Frühjahr 2023 in diesem Wettbewerb erfolgreich durchsetzen und startete am 1.10.2023.

Cyber-physische Systeme (CPS) sind das Ergebnis eines technologischen Wandels in den 2000ern und 2010ern, der zu einer tiefgreifenden Digitalisierung der Gesellschaft führte. CPS entstanden durch die Transformation von bisher analogen Geräten in smarte Geräte. Diese Geräte sind mit einem oder mehreren Mikrocontrollern und

Schaltkreisen ausgestattet, die für die Kommunikation mit der Umgebung notwendig sind. In CPS sind physische Teilsysteme (auch als „Hardware“ bezeichnet) und Software eng miteinander verknüpft und können in unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Moden betrieben werden. Sie können vielfältige Verhaltensweisen zeigen und sich dynamisch an den Kontext anpassen. Dadurch entsteht ein Gefühl von hoher Realitätsnähe. Unter dem Begriff CPS werden verschiedene Systeme zusammengefasst, von Fahrzeugen, über Produktionsanlagen und Medizintechnik bis hin zu modernen Smart-Home-Systemen. Kennzeichnend für alle CPS-Lösungen ist dabei die Vernetzung über Datennetze und z. B. dem Internet. Diese Systeme müssen die Anforderungen an Offenheit, Konnektivität, erhöhte softwareimplementierte Funktionalität, flexible Konfigurierbarkeit, Zuverlässigkeit, Widerstandsfähigkeit und Nachhaltigkeit (Beitrag 9) erfüllen, und zwar auf kosteneffiziente Weise und in allen Phasen ihrer Lebensdauer. Die Grenzen der derzeitigen CPS-Entwicklungsprozesse werden deutlich, wenn versucht wird, alle diese Anforderungen in allen domänenspezifischen Gestaltungsprozessen gleichzeitig synchron zu erfüllen, um so eine stets wohldefinierte Entwicklungsgeneration der angestrebten CPS-Lösung zu haben. Das zentrale Konzept zur Bewältigung der ständig zunehmenden Komplexität von CPS im Entwicklungs- und Realisierungsprozess ist neben der funktionalen Dekomposition die Definition von

Sichten, die eine Berücksichtigung der verschiedenen Entwicklerrollen ermöglichen. So werden sich beispielsweise bei der Gestaltung eines kombinierten elektrisch-mechanischen Bremssystems für E-Fahrzeuge die Sichten und Bedürfnisse der Entwickelnden für das elektrische Bremsen deutlich unterscheiden von denen der Entwickelnden des mechanischen Bremsteilsystems. Gleichzeitig bestehen aber komplexe Wechselwirkungen zwischen diesen Teilsystemen, die berücksichtigt werden müssen (Beitrag 7). Während der Umgang mit Systemabhängigkeiten bereits gut erforscht ist, ist die unge löste wissenschaftliche Herausforderung der Sichtenkonsistenz der zentrale Grund für die oben erwähnten Kompromisse zwischen Konfigurierbarkeit, Funktionalität, Abhängigkeit und Kosteneffizienz.

Ziel des DFG-SFB Convide am KIT ist es, ein allgemeines, umfassendes Verständnis von Sichtenkonsistenz zu erforschen und Mechanismen zu entwickeln, um Konsistenzverletzungen zwischen Sichten in der Entwicklung von CPS zu erkennen und, wenn möglich, automatisch oder interaktiv zu beheben. Daher wird untersucht, wie die Arbeit im Bereich der Konsistenz von Sichten in der Softwaretechnik erweitert, verallgemeinert und auf die Systemtechnik übertragen werden kann. Der SFB wird um den methodischen Kern eines so genannten virtuell-einigen zugrundeliegenden Modells (Virtual Single Underlying Model, kurz V-SUM) gebildet. Dabei sollen

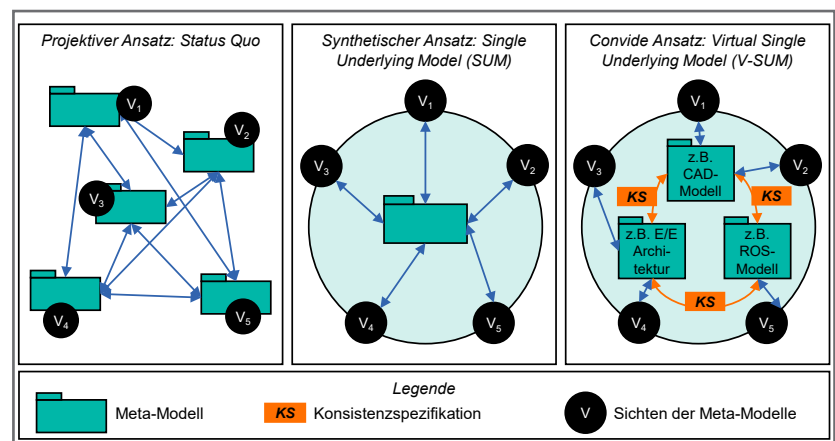


Abbildung 1: Das V-SUM bildet eine Kompromisslösung zwischen synthetischen (mitte) und dem projektiven (links) Ansatz und verbindet dadurch die Stärken beider Ansätze in einem. Hinzu kommen die Konsistenzbeziehung in den einzelnen Meta-Modellen innerhalb des V-SUM's

Metamodelle aus dem Bereich der Informatik für Nicht-Software-Domänen wie Mechanik und Elektrotechnik erweitert und standardisiert werden. Durch den gewählten Forschungsansatz auf Basis von zwei konkreten CPS-Forschungsplattformen – die Entwicklung von Wettbewerbsfahrzeugen der Hochschulgruppe KA-Racelng als Plattform für die Analyse der Entwicklungsprozesse über mehrere Generationen und die Betrachtung eines kombinierten elektrisch-mechanischen Bremssystems für E-Fahrzeuge und das interdisziplinäre Forschenden-Team – hat der SFB das Potential, die Erweiterung des Software-Engineering-Ansatzes auf Nicht-Software-Sichten von CPS zu untersuchen und neue Lösungen für den CPS-PEP (Produktentstehungsprozess für CPS) zu erforschen.

Aktuell gibt es den projektiven sowie synthetischen Ansatz (Abbildung 1 Links und Mitte), um Konsistenz im System zu erhalten. Im synthetischen Ansatz, welcher mehr in der Softwareentwicklung verbreitet ist, werden die verschiedenen Sichten durch ein Single Underlying Model (SUM) Metamodell verbunden. Die Herausforderung dieses Ansatzes ist die Abstraktion, wodurch Informationen nicht abgebildet oder bestimmte Modelle nicht integriert werden können. Die Konsistenzhaltung ist deshalb mit hoher Unsicherheit behaftet. Der projektive Ansatz hingegen verknüpft das Metamodell mit anderen Metamodellen direkt. Dieser Ansatz tritt bei mehreren Verknüpfungen an seine Grenzen, da die Komplexität bei der Konsistenzhaltung steigt und diese dann in der Praxis nicht mehr handhabbar ist. Das V-SUM Konzept – das die Grundlage des SFBs bildet – bietet eine gute Kompromisslösung für einen Lösungsansatz. Der Schlüssel dazu ist die Integration der Sichten in ihre Metamodelle (Abbildung 1 Rechts), von denen es wesentlich weniger gibt, und die Weitergabe von Änderungen als Deltas, um definierte Konsistenzvorgaben zu wahren. Auf diese Weise versucht der V-SUM Ansatz, beide erstgenannten Ansätze zu vereinen und die Vorteile zu kombinieren: Es werden projektive Sichten verwendet, aber der Aufwand, ein zentrales SUM zu definieren, vermieden, indem nur die Metamodelle integriert werden, die benötigt werden. Die Idee des Ansatzes besteht darin, diese Metamodelle mit Spezifikationen zur Konsistenzhaltung zu koppeln.

Diese Konsistenzspezifikationen sind in der Abbildung 2 als KS abgebildet.

Die Funktionsweise dieses V-SUM in der Praxis kann mit dem folgenden Use

semi-automatisch oder händisch, je nach Domäne und Disziplin, definiert werden. Weitere Informationen zu dem gewählten Forschungsträger sind im Beitrag 7 zu finden.

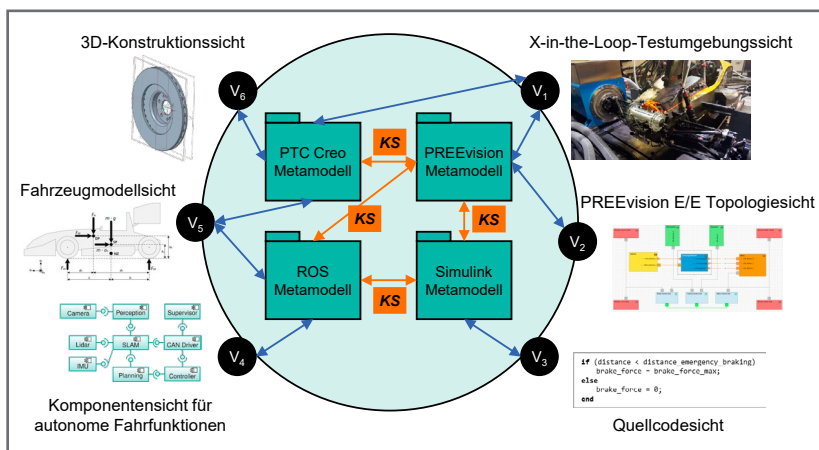


Abbildung 2: Im V-SUM existieren mehrere Meta-Modelle für beispielsweise PTC Creo oder Simulink, die wiederum verschiedene Sichtweisen besitzen. In der Sicht „XIL Testanwendung“ werden hybride Prüfstände, wie sie bereits am IPEK existieren, berücksichtigt.

Case beschrieben werden, der sich auf den gewählten Forschungsträger bezieht: Die Grenze von rekuperierenden Bremsen bei einer mechanisch-elektrischen Bremse wird von 0,25g auf 0,3g angehoben (Abbildung 3). Dieses Delta wird von dem Source Code View in das Innere des V-SUM's getragen, wo durch die Konsistenzspezifikationen betroffene Metamodelle identifiziert und voraussichtliche Delta für diese betroffenen Metamodelle bestimmt werden. Ein Beispiel ist die Wechselwirkung der nun reduzierten Häufigkeit des mechanischen Bremsens auf den Reibwert der mechanischen Bremse. Diese voraussichtlichen Unterschiede können automatisch,

Die Erforschung des Konsistenzmanagements und die Gestaltung eines V-SUM ist eine entscheidende Grundlage für die Entwicklung und Gestaltung von zukünftigen CPS. Dabei treten drei übergreifende Fragen auf: Wie muss die Konsistenz bzw. das V-SUM formalisiert werden? Welche Bausteine besitzt das V-SUM und können diese Bausteine in einem übergreifenden Modell, einem V-SUM Metamodell zusammengefasst werden? Wie können wir das V-SUM konkret in die Entwicklung von CPS integrieren, nutzen und verbessern? Vor allem bei Letzterem wird beispielsweise der Umgang mit Produkt- und Systemgenerationen und deren Abhängigkeiten (Beitrag

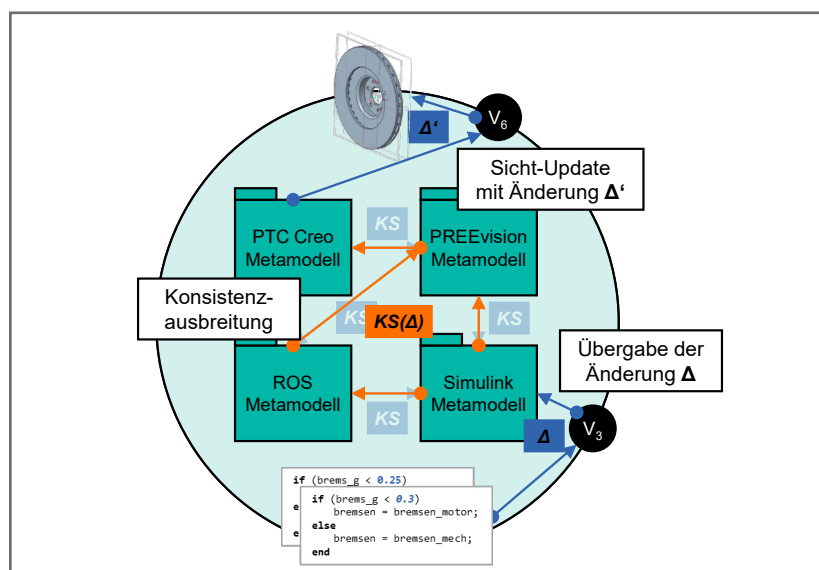


Abbildung 3: Eine Änderung einer Sicht hat zur Folge, dass bestimmte Delta in den Konsistenzbeziehungen existieren, wodurch eine Inkonsistenz im System detektiert und kommuniziert werden muss. Jedoch löst eine Inkonsistenz nicht gleich eine Handlung aus.



Abbildung 4: Das Konsortium besteht aus einem Kern von Institutionen um den DFG-SFB Sprecher Prof. Reussner mit sogenannten Satelliten. Satelliten sind bedeutend für die Integration von Kernkompetenzen wie die Entwicklung eines V-SUM's in den DFG-SFB Convide.

4), die inkrementelle Validierung und Homologation von varianten- und versionsreichen Systemgenerationen (Beitrag 6) sowie die Ermöglichung agiler, feedbackgetriebener Prozesse wichtig (Beitrag 5). An diesen Fragen arbeitet das IPEK-Team zusammen mit den Forschenden im SFB, um die Grundlagen zu erforschen und diese dann zu praxisrelevanten Lösungen auszubauen.

Der SFB Convide wird mit seiner Forschung einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung der zukünftigen Herausforderungen im ASE – Advanced

Systems Engineering und bei der Entwicklung von CPS leisten, Das gut eingespielte Team der Forschenden aus Informatik, Maschinenbau und E-Technik um SFB-Sprecher Prof. Ralf Reussner (Abbildung 4) wird dies spannende Thema mit viel Begeisterung und Engagement angehen. Die zukünftige CPS-Produktentwicklung durch neu erforschte Methoden, Prozesse und Tools auf Basis der Ansätze des Software Engineerings und der SGE – Systemgenerationsentwicklung in den Unternehmen zu stärken, stellt eine klare weitergehende Vision des

SFB dar. Die oben beschriebenen Inhalte werden in der ersten Phase des SFB in den nächsten vier Jahren untersucht. Darauf aufbauend sollen in den späteren Phasen die Skalierbarkeit und Effektivität sowie Flexibilität und Adaptierbarkeit angegangen werden. Speziell die Erforschung und Anwendung sowie Übertragbarkeit der Ergebnisse in andere Branchen, wie die Medizintechnik (Beitrag 8), bietet eine strategische Chance. Auch Möglichkeiten für einen Einsatz des Metaverse in der Produktentwicklung werden im Rahmen des SFB erforscht (Beitrag 10).

Haben wir durch den SFB Convide Ihr Interesse an der zukünftigen Entwicklung von Cyber-physischen Systemen geweckt? Möchten Sie gemeinsam mit uns die Herausforderungen bei der Entwicklung von CPS im Maschinenbau, dem Fahrzeugbau und der Medizintechnik angehen? Mit unseren bestehenden Konzepten und Lösungen aus der KaSPro - Karlsruher Schule für Produktentwicklung und dem im SFB Convide erarbeiteten Wissen können wir Sie unterstützen, Cyber-physische Systeme zu analysieren, zu synthetisieren und zu validieren. Gehen Sie gerne die weiteren vertiefenden Kapitel durch und kontaktieren Sie uns bei Fragen, Anliegen oder Interesse, wir stehen Ihnen gerne zur Verfügung.

2. Interview zur gesellschaftlichen Relevanz des SFB Convide in der Forschung, Lehre und Innovation mit Prof. Albert Albers, Prof. Ralf Reussner und Prof. Tobias Düser

Durch den hohen Anteil an Software bzw. Software-intensiven Systemen nehmen die Bedeutung und die damit verbundenen Herausforderungen bei der Entwicklung von Cyber-Physischen Systemen zu. Warum gerade das Thema Konsistenz durch die Forschung in diesem Kontext angegangen werden muss und warum der Standort und das Team der Forschenden im SFB Convide besonders zur Lösung dieser Herausforderung geeignet ist, soll im folgenden Interview aufgegriffen werden.

Die Professoren Ralf Reussner, Institutsleiter des KASTEL für Verlässlichkeit Software-intensiver Systeme und Sprecher des SFB Convide, Albert Albers, Sprecher der Institutsleitung des IPEK und PI im SFB Convide, Tobias Düser, Institutsleiter des IPEK schildern ihre Sichten.

Frage 1: Als Einstieg vielleicht eine Frage hinsichtlich der unterschiedlichen Entwicklung und Validierung von mechanischen, elektronischen und informatischen Systemen. Warum sind die Entwicklung und Validierung dieser Systeme so verschieden? Gibt es auch Gemeinsamkeiten, die eventuell übertragbar sind? Und wie wollen Sie diese Unterschiede und Gemeinsamkeiten im SFB Convide zusammenbringen bzw. nutzen?



© Rabea Strauch, KIT
Prof. Albers

Prof. Albers: Die großen Unterschiede sehe ich im Entwicklungsprozess und in der Anzahl beteiligter Domänen – Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik – mit jeweils wieder vielen Fächern. Eine Software hat keine physische Gestalt, die erst erzeugt werden muss, bevor man validieren kann. Deshalb hat sich bei der Softwareentwicklung ein Prozess sehr schneller Synthese-Analyse-Zyklen etabliert. Wir reden hier von Stunden. In der Mechatronik ist das anders. Hier ist die Lösung immer verbunden mit physischer Gestalt und Elementen. Die müssen konstruiert und ausgelegt werden, dann als virtuelle und physische Modelle gebaut werden, um letztendlich die Validierung durchführen zu können. Erst danach kann dann der nächste Syntheseschritt beginnen. Wir reden hier nun von einer Zykluszeit von einigen Tagen bis hin zu mehreren Wochen! Deshalb sind heute die Entwicklungsprozesse sehr unterschiedlich. Es gibt aber auch Gemeinsamkeiten: der Zyklus von Synthese und Analyse ist im Prinzip sehr ähnlich und kann – dass ist unser Ansatz – mit dem Konzept des Advanced System Engineering und dem Modell der System-Generations-Entwicklung SGE auf einer Architekturebene durchgängig und einheitlich beschrieben werden.

Frage 2: Ein SFB ist ja die oberste Liga im Bereich der Forschungsprojekte und geht über mehrere Jahre. Hierdurch werden unterschiedlichste Forschungen vorangetrieben, sei es im Bereich der Medizin, der Physik, der Chemie, den Ingenieurwissenschaften, der Informatik oder auch Materialwissenschaften. Da kommt die Frage auf, warum genau ist es wichtig, den SFB Convide zu dem jetzigen Zeitpunkt zu starten?

Prof. Reussner: In quasi jedem Feld moderner gesellschaftlicher Bedarfe, sei es Mobilität, Energieversorgung oder Produktion, werden wegen immer wichtigeren Nachhaltigkeitszielen, aber auch Ressourcenknappheit, (was den Fachkräftemangel auch einschließt) neue Lösungen gesucht, die nur mit neuen, software-intensiven, technischen Systemen realisierbar sind. Wir erreichen aber gegenwärtig eine Komplexitätsgrenze beim Entwurf solcher software-intensiven technischen Systeme (auch cyber-physischer Systeme (CPS) genannt). Die genannten neuen Anforderungen an Funktionalität, die auch oft nur durch Vernetzung mit der Umgebung erreicht werden können, gehen einher mit Anforderungen an höchste Verlässlichkeit, hohe Konfigurierbarkeit und schnelle Anpassbarkeit. Software bietet dabei die Chance, ganz neuartige Funktionalitäten zu erbringen, die auch durch sog. Over-the-air Updates verbessert und erweitert werden können. Allerdings ergeben sich auch gerade durch die sehr unterschiedlichen Lebenszyklusgeschwindigkeiten von Software, Hardware und physischen Teilsystemen wiederum neue Anforderungen an Entwicklungsprozesse. Kurz gesagt: mit den bisherigen Vorgehensmodellen werden wir nicht die Möglichkeiten ausschöpfen können, die moderne CPS, also software-intensive technische Systeme, bieten. Daher ist genau nun die Zeit reif für einen SFB, der sich grundlegend mit Herausforderungen des Entwurfs von CPS beschäftigt. Wir haben die Konsistenzhaltung zwischen verschiedenen Sichten dieser Systeme als die grundlegend zu lösende Herausforderung identifiziert. Wir denken, dass Methoden aus dem Software Engineering und den formalen Methoden der Informatik mittlerweile die notwendige Reife haben, um diese Herausforderung anzugehen. Andererseits etablieren sich im Maschinenbau und dem Systems Engineering zunehmend auch Modelle, die mit Informatikmethoden definiert wurden, so dass zum einen diese Möglichkeiten und zum anderen der geschilderte dringende Bedarf den Zeitpunkt für den SFB nicht nur ideal sondern auch als notwendig erscheinen lassen.



© Rabea Strauch, KIT

Prof. Reussner

Frage 3: Sie haben gerade das Window of Opportunity genannt. Was bringen die Ergebnisse des SFB Convides der Industrie, wenn ein SFB klare Grundlagenforschung darstellt? Wie profitiert die Industrie davon?

Prof. Düser: Hier gibt es mehrere Aspekte. Zum einen ist es natürlich richtig, dass es insbesondere im Bereich der Grundlagenforschung eine gewisse Zeit benötigt, bis eine Anwendbarkeit im industriellen Umfeld gegeben ist. Dennoch gibt es sehr viele Wechselwirkungen und die konsistente Beschreibung von cyber-physischen Systemen wird immer wichtiger – vor allem bei der Entwicklung und auch Zulassung von sicherheitskritischen Systemen wie z. B.: autonomen Fahrzeugen. Ein weiterer Aspekt ist die Ausbildung von jungen Ingenieurinnen und Ingenieuren. Ein SFB bietet hierbei herausragende Möglichkeiten – sowohl für Studierende als auch für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler.



© Rabea Strauch, KIT

Prof. Düser

Frage 4: Herr Albers, Sie sprechen immer von den Studierenden als wertvollste „Produkte“ einer Universität. Sie erwähnten, dass Sie hier vor allem die jüngere Generation vom Thema CPS-Entwicklung begeistern und bilden möchten. Wie genau schaffen Sie den Übertrag von Forschung in die Lehre? Haben Sie hier Beispiele, warum das so funktionieren wird?

Prof. Albers: Das Konzept der forschungsorientierten Lehre setzen wir am IPEK in praktisch allen Lehrveranstaltungen konsequent um. Dabei versuchen wir, die Studierenden von Anfang auch mit neuesten Forschungsergebnissen

zu konfrontieren. Die CPS-Entwicklung ist durch ihre Vielfältigkeit und Interdisziplinarität bestens geeignet, Begeisterung zu wecken. CPS-Entwicklung ist immer Teamarbeit und bringt Menschen zusammen. Mit Convide werden wir hier viele neue Inhalte und Impulse bekommen, die wir dann direkt in unsere Lehrformate – wie die Integrierte Produktentwicklung – einbauen können. Und nicht zuletzt werden die jungen Promovierenden im SFB Convide mit den neuesten Methoden und Prozessen und der Erfahrung im Umgang mit der Komplexität, einmal nach Ihrer Promotion sowohl in der Wissenschaft, aber vor allem in der Wirtschaft Kompetenz und Können in die praktische CPS-Entwicklung einbringen. Das ist auch ein Beitrag zur Zukunftssicherung unseres Standortes.

Frage 5: Die Forschung der Promovierenden, die ja ein wichtiger Bestandteil des SFB's ist, ist am KIT oft sehr systemnah, d. h. Forschung wird am technischen System getätigt. Jedoch ist der SFB mit seiner Forschung auch sehr auf die theoretischen Grundlagen der Informatik ausgerichtet. Wie schaffen Sie den Spagat zwischen systemnaher und theoretischer Forschung?

Prof. Düser: Genau das macht den SFB meines Erachtens so spannend und besonderes. Zum einen besteht ein Schwerpunkt auf den theoretischen Grundlagen der Informatik zum anderen werden die Ergebnisse und Ansätze aber auch an realen technischen Systemen erforscht. Die eingesetzte Forschungsplattform ist ein mechatronisches Bremssystem. Die Anwendbarkeit der Ergebnisse wird u. a. gemeinsam mit dem studentischen Rennteam KA-RacelnG erprobt. Damit ist ein enger Schulterschluss zwischen theoretischer und systemnaher Forschung gegeben.

Frage 6: Wir schauen 12 Jahre in die Zukunft. Der SFB Convide geht auf die Zielgerade zu und nächste Schritte werden besprochen. Wenn Sie als Sprecher des SFB Convide in die Zukunft schauen könnten, nach 12 Jahren SFB Convide, was würden Sie der Gesellschaft, der Wirtschaft etc. konkret übergeben?

Prof. Reussner: „Vorhersagen sind schwierig, insbesondere wenn sie die Zukunft betreffen“, sagte schon Nils Bohr. Aber natürlich kann man heute eine Vision haben, wie ein neues „Advanced Systems Engineering“ aussehen könnte und sollte. Ich wünsche mir, dass wir durch die Grundlagenforschung im SFB in der Lage sein werden, einen gemeinsamen, disziplinenübergreifenden Entwurfsraum von CPS aufzuspannen, das heißt, dass wir Entwurfsschritte in höherer Parallelität und deutlich agiler, also feedback-orientierter, ausführen können als heute. Entwurf und Validierung werden also in viel kürzeren Zyklen verknüpft sein und die heute in den Prozessen fundamentale Trennung zwischen Entwurf, Betrieb, Evolution und Adaption wird verschwunden sein. Mit solchen Methoden können wir, was heute noch undenkbar ist, hochkomplexe, vernetzte Systeme und Systems-of-Systems bauen, die nicht nur hochverlässlich sind, sondern auch hochkonfigurierbar und hochflexibel anpassbar sind. Also Methoden für den Bau der Systeme, die wir für die oben genannten gesellschaftlichen Bedarfsfelder auch jetzt und ganz sicher auch in 12 Jahren brauchen werden.

3. Engineering neu denken und gestalten

Dieser Beitrag basiert im Wesentlichen auf den Acatech-Impuls „Engineering neu denken und gestalten: Herausforderungen, Anwendungsszenarien und das neue Leitbild Advanced Systems Engineering“. Herausgeber: Albert Albers.

Den kompletten Beitrag können Sie über nebenstehenden QR-Code kostenlos herunterladen:



Leistungsfähige mechanische Komponenten, Mikroprozessoren und intelligente Software führen nicht nur zu einem rasant steigenden Funktionsumfang heutiger technischer Systeme, sondern ebenfalls zu einer stetig wachsenden Komplexität sowohl der Systeme selbst als auch der Prozesse zu ihrer Entwicklung! Beispiele hierfür sind automatische Ersatzteilbestellungen in

Fertigungslinien, medizinische Diagnosesysteme, die nach Tumoren suchen, und autonome Fahrzeuge auf Autobahnen. Die zunehmende Komplexität und Interdisziplinarität stellen die Unternehmen vor ganz neue Herausforderungen, da Entwickelnde aus verschiedenen Disziplinen miteinander kommunizieren und abgestimmt zusammenarbeiten müssen, ohne das in der klassischen disziplinenorientierten Entwicklung dafür eine gemeinsame Kommunikationsgrundlage und Sprache vorhanden ist. Das ASE – Advanced Systems Engineering will hier eine Lösung auf der Basis der Systemtheorie erarbeiten und so eine solche gemeinsame Sprache entwickeln. Kern-Ziel ist es dabei, auch in der Zukunft die interdisziplinäre Entwicklung attraktiver, sicherer und zuverlässiger technische Systeme in angemessener Zeit zu ermöglichen und dies trotz hoher Produkt- und Prozesskomplexität.

Dabei steht der Mensch als Entwickler und auch als Nutzer im Zentrum des Ansatzes, um so die Akzeptanz in der Praxis sicher zu stellen. Das Thema ASE wurde durch die acatech – Akademie für Technik Wissenschaften als höchst relevant für die Gestaltung der zukünftigen Wertschöpfung in Deutschland identifiziert und als eine Kern-Initiative aufgegriffen.

Prof. Albers war – als Mitglied der acatech – von Anfang an in dieser Initiative aktiv. Unter der Leitung von Prof. Jürgen Gausemeier wurden durch die acatech Untersuchungen zum Ist-Stand der Forschung und Umsetzung des Systems Engineerings in den Unternehmen durchgeführt. Dabei wurde sowohl der nationale als auch der internationale Leistungsstand ermittelt. Das IPEK-Team war hier von Anfang an mit dabei. Es wurde ein erheblicher Forschungsbedarf

identifiziert, der schließlich in einer ersten großen Forschungsinitiative des BMBF mündete. Ab Juni 2019 forschen 22 beteiligte Forschungseinrichtungen und 63 Unternehmen intensiv an der Entwicklung erster praxisorientierter Lösungen in den Bereichen digitale Transformation und Arbeitsorganisation, interdisziplinäre Datenintegration und Wissensmanagement, Komplexitätsmanagement und Effizienzoptimierung sowie Innovationsförderung und Kompetenzentwicklung. Das IPEK ist hier eine der federführenden Forschungsstellen in der Begleitforschung AdWiSE (Wissenschaftliches Projekt Advanced Systems Engineering) und im Verbundprojekt MoSyS (Menschorientierte Gestaltung komplexer Systems-of-Systems), die dazu beitragen Deutschland als führenden Standort im Engineering von technischen und sozio-technischen Systemen zu positionieren. Dies soll eine effektive Bewältigung der zentralen transformatorischen Herausforderungen heutiger Zeit, wie Digitalisierung, Mobilität, Energieversorgung und Nachhaltigkeit ermöglichen. Die Forschungsinitiative des BMBF stimuliert eine breite kooperative Forschung zwischen Wissenschaft und Unternehmen, die hier neue Lösungen für die Entwicklung komplexer technischer Systeme erarbeiten kann, um unter anderem den Industriestandort Deutschland für die Zukunft weiter zu stärken.

Am Thema ASE – besonders mit unserem PGE/SGE-Modell (siehe Beitrag 4) und den neuen Ansätzen zur Validierung – forschen wir aber bereits seit vielen Jahren. So können wir unsere Erfahrungen sehr fruchtbringend in diese Initiative einbringen.

Das Leitbild ASE umfasst die integrierte Betrachtung der drei Handlungsfelder

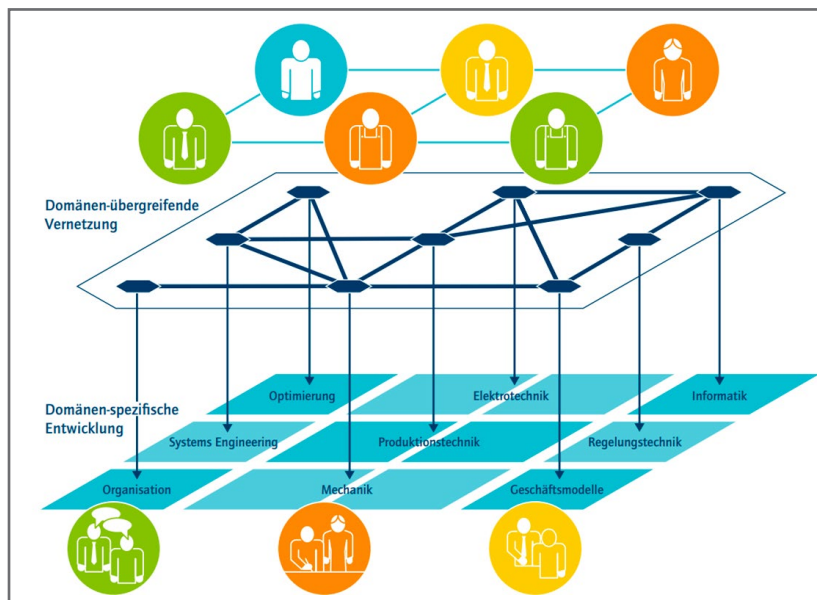


Abbildung 5: Kontinuierliches Wechselspiel zwischen Domänen-spezifischer Entwicklung und Domänen-übergreifender Vernetzung

Advanced Systems (AS), Systems Engineering (SE) und Advanced Engineering (AE). Hierfür werden im Kern Ansätze (Methoden, Prozesse, Tools etc.) des Systems Engineering, sowie neue Ansätze, bspw. agile Prinzipien, Methoden der strategischen Produktplanung/-entwicklung und digitale Technologien (KI, Digital Twins) genutzt bzw. weiterentwickelt. Im kontinuierlichen Wechselspiel zwischen Domänen-spezifischer Entwicklung und Domänen-übergreifender Vernetzung (Abbildung 5) können dank ASE komplexe Produkte wie autonome Fahrzeuge besser entwickelt werden, da alle Beteiligten den Entwicklungsstand einsehen und etwaige Fehler frühzeitig korrigieren können. Das Ziel ist es, mit der Systemkomplexität umgehen zu können und effiziente Lösungen zu finden. Hierfür sind neue modulare und skalierbare Prozesse, Methoden und Tools notwendig.

Im Alltag haben wir es oft nicht mehr mit einzelnen abgeschlossenen Systemen, sondern mit immer mehr hoch vernetzten „Systems-of-Systems“ (SoS) zu tun. Ein Beispiel dafür ist das intelligente Stromnetz der Zukunft, in dem verschiedene Systeme wie Windparks, Elektroautos und Photovoltaikanlagen miteinander kommunizieren und interagieren. Das klassische System Engineering reicht nicht mehr, um dieser Komplexität zu begegnen. Daher wird Advanced Systems Engineering erforderlich. Ziel ist es, Systeme wie das Stromnetz oder autonome Fahrzeuge ganzheitlich zu gestalten und alle Aspekte des System-of-Systems zu berücksichtigen.

Obwohl es noch kein vollständiges Advanced Systems Engineering (ASE)-Konzept gibt, existieren bereits wichtige Ansätze, wie das Modellbasierte Systems Engineering (MBSE), die die Entwicklung

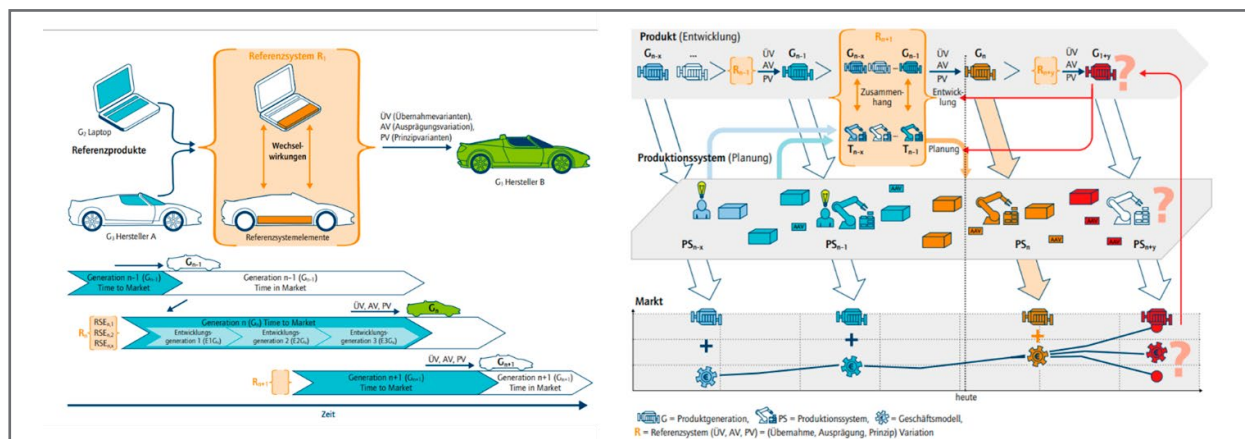


Abbildung 6: links: Das Modell der PGE-Produktgenerationsentwicklung beschreibt die Entwicklung von Produkten über verschiedene Produktgenerationen; rechts: Produkt-Produktions-CoDesign – ein Ansatz zur integrierten Produkt- und Produktionssystementwicklung über Generationen und Lebenszyklen hinweg

von hochkomplexen technischen Systemen mithilfe von vernetzten Modellen unterstützten. Die Produktgenerationsentwicklung (PGE) und das Produkt-Produktions-Co-Design (PPCD) sind weitere Konzepte, die langfristige Entwicklungsziele und eine parallele und hochvernetzte Produktentwicklung und Produktionsplanung berücksichtigen (Abbildung 6). Der Einsatz des Digitalen Zwillings ermöglicht virtuelle Tests und Optimierungen von Produkten und kann zukünftig auch in der Nutzung von Produkten wertvolle Beiträge leisten. Ziel von Advanced Systems Engineering ist es, diese neuen Methoden und Ansätze in ein konsistentes Gesamtkonzept zu integrieren.

Die Komplexität der Systems-of-Systems lässt sich am besten durch konkrete Anwendungsszenarien, wie das Smarthome, transparente Lieferketten, nachhaltige Energieversorgung oder das autonome Fahren verdeutlichen. Diese

Szenarien zeigen, wie technische und gesellschaftliche Aspekte von solchen Systemen betroffen sind. Das Advanced Systems Engineering ist entscheidend, um alle Aspekte und Fachdisziplinen zu integrieren und ganzheitliche, nachhaltige und leistungsstarke Lösungen für die Gesellschaft zu entwickeln. Die Zukunft des autonomen Fahrens, als Beispiel, stellt ein komplexes System-of-Systems dar (Abbildung 7), das, das Advanced Systems Engineering erfordert, um die Sicherheit und Effizienz zu gewährleisten und auf Veränderungen in der Umgebung angemessen zu reagieren. Im Jahr 2040 werden Autos, Lastwagen und Busse größtenteils elektrisch und autonom fahren. Sie sind mit Kameras, Sensoren und intelligenter Software ausgestattet. Fahrzeuge werden über spontan gebildete Ad-hoc-Netzwerke miteinander kommunizieren und sich gegenseitig vor Unfällen warnen. Dynamische Fahrzeugkonvois auf der Autobahn werden energieeffizienter sein.

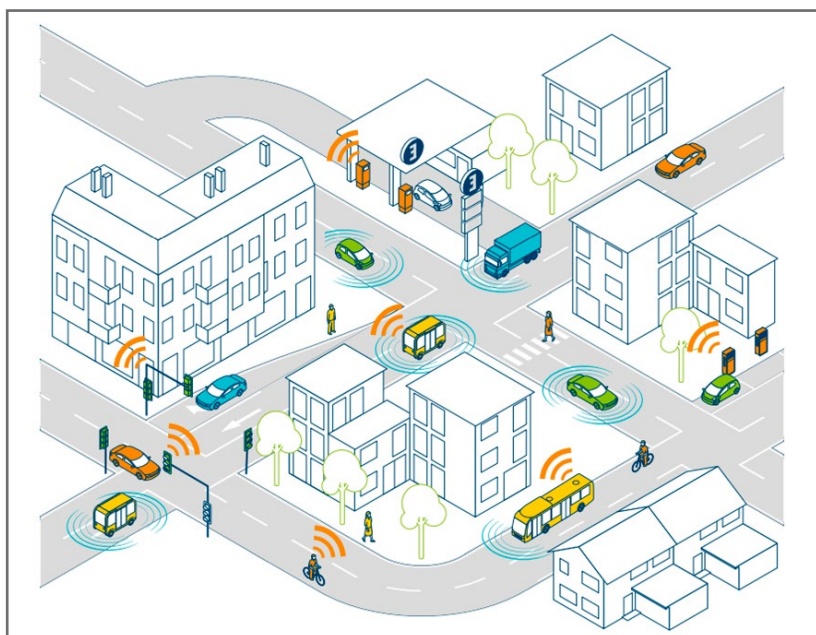


Abbildung 7: Beispielhafte Darstellung eines vernetzten Verkehrssystems

Die Gestaltung von innovativen Produkten und Geschäftsmodellen in komplexen Systems of Systems wird immer wichtiger. Obwohl Deutschland weltweit zu den Innovationsführern gehört und eine starke Verbindung zwischen Wissenschaft und Industrie aufweist sowie Vorreiter in der Forschung im Bereich Systems Engineering ist, besteht dennoch Nachholbedarf im globalen Wettbewerb. Es besteht Bedarf an verstärkter Forschung zu Agilität, Kreativität und Künstlicher Intelligenz im Engineering. Advanced Systems Engineering bietet eine Chance für Deutschland, seine Wettbewerbsfähigkeit zu sichern, aber es bedarf eines großen nationalen Gemeinschaftsprojekts von Forschungsinstitutionen und Unternehmen, um Advanced Systems Engineering in der Praxis umzusetzen. Insbesondere sind hierzu sechs Handlungsbedarfe zu adressieren: Stärkung der Strategiekompetenz, Schaffung einer nationalen ASE-Plattform, Vorantreiben von Methodeninnovationen, Intensivierung der Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft, Stärkung der Aus- und Weiterbildung sowie Einführung neuer Arbeitsweisen und verstärkte Kooperation auf europäischer Ebene. So kann Advanced Systems Engineering ein entscheidender Faktor werden, um die Innovationskraft von Unternehmen zu sichern und sogar weiter auszubauen.

Mit unserer Forschung im Bereich des Advanced Systems Engineering am IPEK können wir Ihr Unternehmen dabei unterstützen, die heutigen und zukünftigen Herausforderungen der Produktentstehung zu bewältigen und Ihre Prozesse neu zu denken und zu gestalten. Über Ihr Interesse an unserer Forschung freuen wir uns! Sprechen Sie uns gerne an!

4. Komplexe Cyber-physische Systeme (CPS) in Generationen Entwickeln – Konsistenz in der Entwicklung mehrerer Systeme

Die moderne Produktentwicklung muss sich im 21. Jahrhundert ganz erheblichen neuen Anforderungen stellen. Zum einen sind gesellschaftliche und gesetzliche Randbedingungen mit dem Fokus auf Nachhaltigkeit, Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit zu berücksichtigen. Zum anderen führt der globale Wettbewerb auf den Käufermärkten in nahezu allen Bereichen

zu einem extremen Wettbewerb um den Kunden. Die Unternehmen müssen, um in diesem Wettbewerb bestehen zu können, ihre Produktlösungen zunehmend mit neuen Funktionen und ergänzenden Potenzialen anreichern und dabei gleichzeitig auch die Vernetzung und Digitalisierung im Bereich der Cyber-physischen Systeme (CPS) integrieren. Dies gilt nicht nur

für das oft genannte typische Beispiel Fahrzeug, sondern mittlerweile für nahezu alle Produktbereiche des Maschinen- und Anlagenbaus. Selbst ein Rauchmelder wird heutzutage mit Features zur Vernetzung im Internet und Vernetzung über mehrere Teilsysteme ausgestattet. Heutzutage sind praktisch alle Produktlösungen des Maschinenbaus, sowohl im Bereich

der Konsumgüter als auch im Bereich der Investitionsgüter, als mechatronische Systeme zu verstehen.

Im SFB Convide werden, u. a. auf Basis des vom IPEK eingebrachten Modells der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach Albers, Methoden und Prozesse erforscht und entwickelt, um den Entwurf, den Bau und die Validierung von CPS und natürlich auch mechatronischer Systeme zu unterstützen. Im Fokus stehen komplexe Produktportfolios mit der gleichzeitigen Entwicklung mehrerer Systemgenerationen und Varianten. Die Ergebnisse sollen Unternehmen dabei unterstützen, die heutigen und zukünftigen Herausforderungen bei der Entwicklung attraktiver, sicherer, leistungsfähiger, wirtschaftlicher und nachhaltiger Produkte zu beherrschen um somit als Innovationsführer in zunehmend globalen kompetitiven Märkten zu bestehen.

Die Entwicklung Cyber-physischer Systeme (CPS) stellt die Entwicklung vor einige Herausforderungen. Dies liegt im Kern an der rasanten Weiterentwicklung von Technologien, dem immer umfangreicher werdenden Zusammenspiel zahlreicher Domänen im Entwicklungsprozess sowie auch der zunehmenden Volatilität des Umfelds. Um trotz dieser Herausforderungen erfolgreich Produkte entwickeln zu können, müssen bestehende Modelle und Methoden weiterentwickelt und neue erarbeitet werden. Im Rahmen des SFB Convide werden solche Modelle und Methoden erforscht und realisiert, wobei hier die zeitliche und räumliche Konsistenz auf Modell- und Prozessebene im Fokus steht (siehe Beitrag 1). Als Untersuchungsobjekt zur Identifikation der Herausforderungen im Entwicklungsprozess werden die Entwicklungen von Wettbewerbsfahrzeugen der Hochschulgruppe KA-RaceIng genutzt. In einem weltweiten Wettbewerb – der sogenannten „Formula Student“ – werden an vielen Standorten jedes Jahr von Studierenden-Teams batterie-elektrische, verbrennungsmotorisch und auch autonom fahrende Fahrzeuge für Wettbewerbsfahrten entwickelt und gebaut. Wenn Sie sich näher für die Formula Student und KA-RaceIng interessieren gibt es im Internet weitere faszinierende Informationen (siehe letzte Seite). Durch die Kooperation mit KA-RaceIng steht uns in der Convide-Forschung ein

sehr **praxisorientierter „Daten- und Analyseraum“** zur Erkundung der Herausforderungen in der Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme – denn das sind die Wettbewerbsfahrzeuge – in einem interdisziplinären und relativ großen Team (ca. 70 Teammitglieder) zur Verfügung. Entscheidend ist ferner die schnelle Folge von Systemgenerationen – jedes Jahr ein neues Wettbewerbsfahrzeug – in einer gemischten Modell- und Datenwelt. Durch eine Analyse von bereits erfolgten und dokumentierten Entwicklungsprozessen werden die spezifischen Konsistenzherausforderungen analysiert. Die konsistente und durchgängige Beschreibung solcher komplexen und zeitlich verteilten Entwicklungsprozesse und der zugehörigen Modell- und Datenwelt ist hierbei fundamental.

die Prinzipvariation. Im Allgemeinen gilt:

$$R_n \xrightarrow{V} G_n = \dot{U}S_n \cup AS_n \cup PS_n$$

$\dot{U}S_n$ bezeichnet hierbei alle Subsysteme, welche mithilfe der Übernahmevariation entwickelt werden. Entsprechend bezeichnen AS_n und PS_n Subsysteme, welche mittels Ausprägungs- bzw. Prinzipvariation entwickelt werden.

Das Referenzsystem – in dem alle zugrundeliegenden Referenzen als Elemente zusammengefasst werden – muss dabei in einem recherchierenden und kreativen Prozess zu Beginn der Entwicklung einer neuen Generation auf Basis eines initialen Zielsystems zusammengestellt werden. Im Verlauf des Entwicklungsprozesses kann

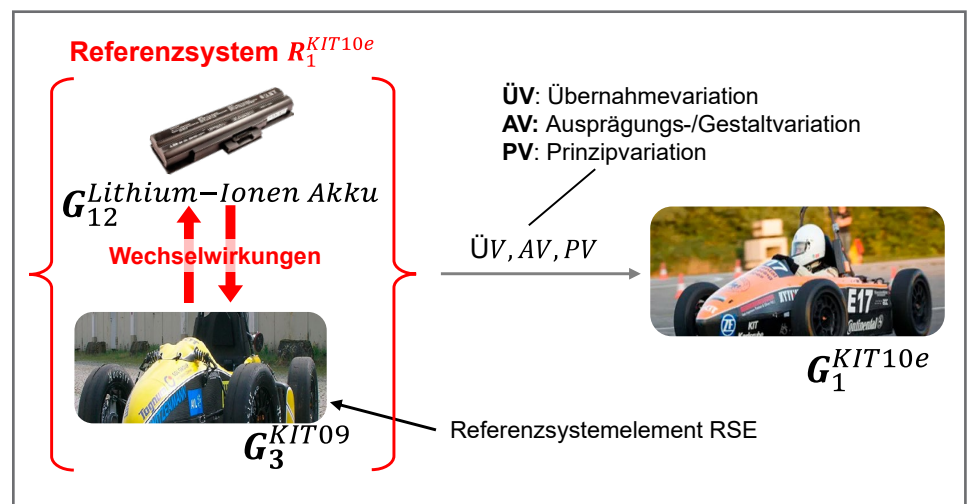


Abbildung 8: Die Grundgleichung des Modells der SGE/ PGE – Abbildung des Referenzsystems auf die neue Systemgeneration mittels Variationsoperatoren – hier im Beispiel eine G1 Entwicklung des ersten batterieelektrischen Wettbewerbsfahrzeugs von KA-RaceIng

Die Karlsruher Schule für Produktentwicklung – KaSPro hat für die Modellierung dieses Prozesses der Produktsynthese ein grundlegendes Modell erarbeitet, das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung (früher auch als Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung bezeichnet). Die Grundhypothese dieses Modells besagt, dass jegliche Art von Produkt- oder Systemsynthese modelliert werden kann durch die Überführung von Elementen eines sogenannten Referenzsystems durch einen Variationsoperator V in die neue Produkt- bzw. Systemgeneration (vgl. Abbildung 8).

Für den Variationsoperator sind dabei nur drei grundlegende Operationen notwendig: die Übernahmevariation, die Ausprägungs-/Gestaltvariation und

es bei Bedarf auch noch modifiziert werden. Bereits existierende (Teil-)Systeme oder Technologien, welche für das Entwicklungsvorhaben als Basis dienen können, werden hierbei als Referenzsystemelemente genutzt. Diese Referenzen können dabei unternehmensintern (z. B. aus der Vorgängergeneration oder aus weiteren Produkten anderer Produktlinien) oder -extern (z. B. aus Wettbewerbsprodukten, Forschungsprototypen, Technologie-Publikationen) entnommen werden. Der Grundansatz des Modells postuliert ferner, dass alle technischen Systeme und Produkte in Generationen entwickelt werden. Ein Produkt oder ein System mit einer grundlegend neuen Architektur ohne direkten Vorgänger ist dabei nur ein Sonderfall, bei dem im zugehörigen Referenzsystem kein

direkter Architekturvorgänger enthalten ist. Dies ist dann die sogenannte Generation 1 oder G1 Entwicklung. Diese G1 Entwicklung kann vollständig nach dem gleichen Prinzip der PGE/SGE modelliert werden. Damit stellt das PGE/SGE-Modell nach Albers einen neuen und übergreifenden Ansatz dar, um alle Arten von Produktsynthese und Systemsynthese modellieren zu können.

des Umfelds wie gesetzliche Regelungen oder im Fall KA-Racelng die sich ändernden Wettbewerbsbedingungen müssen zeitlich über die Systemgenerationen und vielen verschiedenen Systemvarianten hinweg konsistent gehalten werden.

Im Rahmen des SFB Convide arbeiten wir u. a. an Methoden und Prozessen basierend auf dem Modell der SGE,

die nächste Systemgeneration dar (vgl. Abbildung 10). Da typischerweise zu einem bestimmten Zeitpunkt mehrere aufeinanderfolgende Systemgenerationen gleichzeitig in der Bearbeitung sind (in unterschiedlichem Reifegrad), entsteht ein komplexes Abhängigkeitsnetzwerk, das es zu modellieren und managen gilt. Wir erforschen im Team des SFB Convide Lösungen, wie Konsistenz zwischen den Modellen, Prozessen

und Lösungselementen über die verschiedenen Systemgenerationen und -varianten hinweg erreicht werden kann. Dabei müssen auch die generationsübergreifenden Auswirkungen von Änderungen an einzelnen Systemen abgebildet werden. Letztendlich soll die Forschung auch Ansätze für die Wiederherstellung der Konsistenz liefern. Wir sind überzeugt, dass wir mit unserer Forschung einen wichtigen methodischen Baustein zur Handhabung

der zunehmenden Komplexität und zu zukunftsrobusten und gleichzeitig effizienten und nachhaltigen Produktentstehungsprozessen für die Unternehmen bereitstellen können.

Stehen auch Sie vor Herausforderungen in Ihrer Produktentwicklung aufgrund der vielseitigen Wechselwirkungen der Produkte in Ihrem Produktportfolio, kommen Sie gerne auf uns zu. Wir unterstützen Sie gerne bei der Analyse und Weiterentwicklung im Sinne einer effizienten Systemgenerationsentwicklung. So können schon heute direkt Forschungsergebnisse in Ihre Unternehmenswelt einfließen.

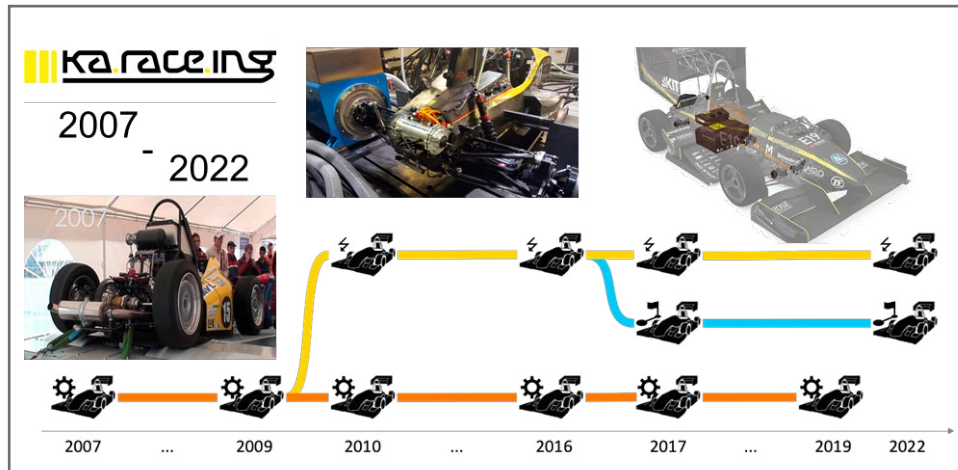


Abbildung 9: Verschiedene Generationen sowie abgeleitete Varianten der Wettbewerbsfahrzeuge der Hochschulgruppe KA-Racelng

Die Entwicklung der Fahrzeuge bei KA-Racelng lässt sich wie jede andere Systementwicklung mit dem Modell der SGE modellieren – dies wird hier kurz zur Erläuterung aufgezeigt. In Abbildung 9 ist die Entwicklung der Fahrzeuggenerationen bei KA-Racelng dargestellt. Aufbauend auf dem verbrennungsmotorisch betriebenen Wettbewerbsfahrzeug (2007) als erste Systemgeneration wurde nach drei Systemgenerationen ein erstes elektrisch betriebenes Wettbewerbsfahrzeug entwickelt (2010). Dieses wird in der siebten Systemgeneration dann in einer weiteren Variante um die Funktionalität des Autonomen Fahrens ergänzt (2017). So wurden im Jahr 2017 bis 2019 zeitgleich drei grundlegend verschiedene Produktlinien des mechatronischen Systems „Wettbewerbsfahrzeug“ parallel entwickelt. Bereits die Entwicklung eines einzelnen Fahrzeuges stellt dabei eine Herausforderung dar. Ziele und Anforderungen aus den verschiedenen Domänen, die verwendeten Modelle, die Vorgaben aus der „Strategischen Produktplanung“ sowie

um die Entwicklung Cyber-physischer Systeme im Spannungsfeld der heutigen komplexen Produktentwicklung zu unterstützen. Hierbei zielen wir auf komplexe Produktportfolios mit der gleichzeitigen Entwicklung mehrerer paralleler (z. B. Varianten oder Derivate aber auch andere Produktlinien) und auch aufeinanderfolgender Systemgenerationen, die miteinander in Wechselwirkung stehen. Bei der Entwicklung einer nachfolgenden Systemgeneration stellt das Referenzsystem der vorherigen Systemgeneration sowie die vorherige Systemgeneration selbst einen elementaren Bestandteil des Referenzsystems für

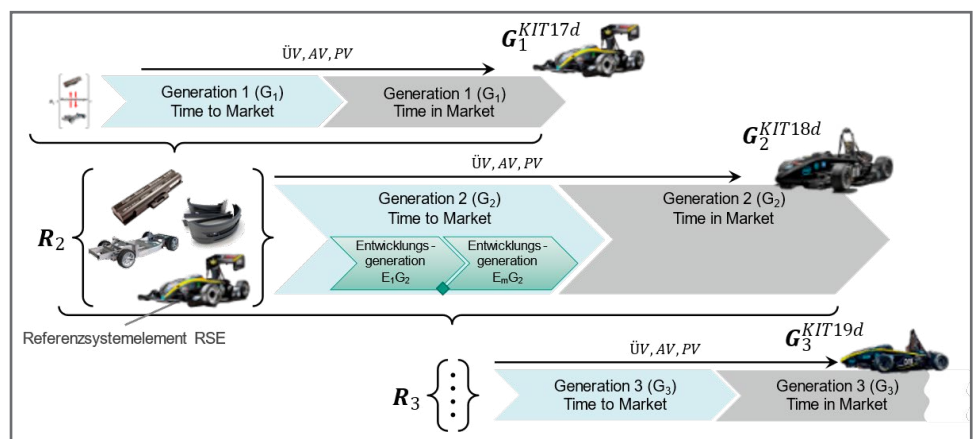


Abbildung 10: Vorherige Systemgenerationen als Teil des Referenzsystems aufeinanderfolgender Systemgenerationen im zeitlichen Verlauf am Beispiel der Modelle KIT17d, KIT18d und KIT19d (driverless)

5. ASD – Agile Systems Design als Basis für die Bewältigung der Herausforderungen in der Produktentwicklung mechatronischer Systeme

In der modernen Produktentwicklung mechatronischer Systeme ist Agilität entscheidend, um flexibel auf sich ändernde Kundenbedürfnisse und komplexe Anforderungen zu reagieren. Der Ansatz des am IPEK entwickelten ASD – Agile System Design ermöglicht eine effiziente und qualitativ hochwertige Entwicklung innovativer Produkte durch ein ganzheitliches, und bedarfsgerecht inkrementelles und iteratives Vorgehen im Produktentwicklungsprozess. Im Rahmen des SFB Convide wird dieser Ansatz genutzt, um ein ‚Agile Process Kit‘ zu entwickeln, das die domänenübergreifende Kommunikation und kontinuierliche Validierung unterstützt.

In der modernen Produktentwicklung mechatronischer Systeme müssen Unternehmen mit einem dynamischen Marktumfeld umgehen, in dem sich Kundenbedürfnisse schnell ändern. Die Anforderungen an Produkte werden komplexer, technologischer Fortschritt und Innovationen setzen immer höhere Standards, und die Zeitspanne für die Markteinführung verkürzt sich kontinuierlich.

Agilität in der Produktentwicklung ermöglicht es Unternehmen, flexibel auf diese sich ändernden Anforderungen zu reagieren. Durch iterative und inkrementelle Arbeitsweisen können Produkte schneller entwickelt, validiert und angepasst werden – unabhängig davon, ob es sich um eine Produktverbesserung oder die Neuentwicklung eines komplexen, technischen Systems handelt. Agile Methoden fördern eine enge Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Abteilungen und ermöglichen stets eine frühzeitige Einbindung von Kundenfeedback. Dadurch können potenzielle Probleme frühzeitig erkannt und behoben werden. So wird das Produkt schneller und gezielter mit Fokus auf den geplanten Kunden- und Anwendernutzen entwickelt.

Allerdings birgt die Einführung agiler Methoden auch Herausforderungen. Traditionelle hierarchische Strukturen im Unternehmen müssen möglicherweise aufgebrochen werden, um eine

effektive Zusammenarbeit und schnelle Entscheidungsfindung zu ermöglichen. Zudem erfordert Agilität ein hohes Maß an Selbstorganisation und Eigenverantwortung der Teammitglieder, verbunden mit der notwendigen Kenntnis und Erfahrung in den Methoden des agilen Arbeitens. Auch muss bei größeren Entwicklungsprojekten mit langer Laufzeit eine klare Struktur mit entsprechenden Planungsgates und Zielvereinbarungen erstellt werden. Nur so ist eine übergreifende Koordination und die sichere Erreichung des SOP zu realisieren. Der Einsatz von Agilität ist daher nicht an jeder Stelle zielführend und muss im Einzelfall auf die individuellen Randbedingungen des Unternehmens und die jeweiligen Entwicklungsprojekte angepasst werden.

agilen Ziellevels, der situations- und bedarfsgerechten Methodenauswahl und der Erfolgsmessung der Prozessverbesserung und Ableitung weiterer Entwicklungspotentiale zur inkrementellen Verbesserung der individuellen Prozesslösung.

Im Rahmen des SFB Convide soll untersucht werden, wie der V-SUM Ansatz (siehe Beitrag 1) und die daraus resultierenden Informations-Artefakte genutzt werden können, um die agile Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme zu unterstützen. Dabei liegt der Fokus auf der domänenübergreifenden Kommunikation in verschiedenen Entwicklungsszenarien, in denen die Konsistenz über die verschiedenen Domänen hinweg sichergestellt werden muss. Dabei soll der

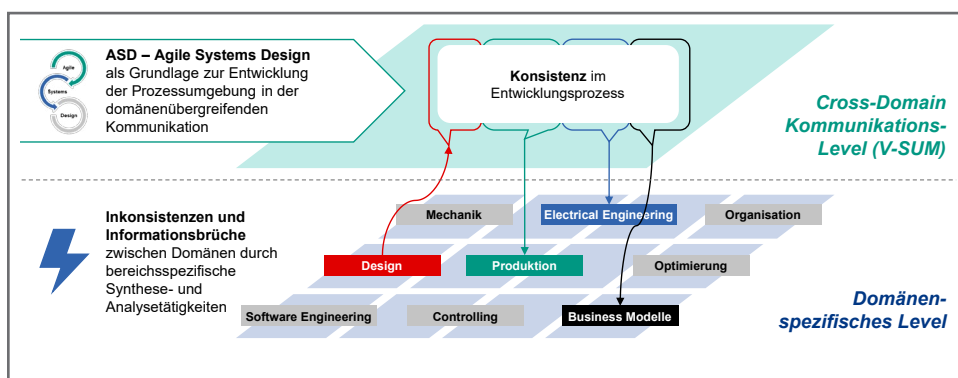


Abbildung 11: ASD – Agile Systems Design unterstützt die Entwicklung eines Agile Process Kit im SFB Convide (Abbildung angelehnt an SFB Convide Antragsdokument)

Der am IPEK entwickelte Ansatz des ASD – Agile Systems Design unterstützt den Prozess der Produktentwicklung durch einen ganzheitlichen, inkrementellen und iterativen Ansatz. ASD setzt hierbei auf die bedarfsgerechte Kombination flexibler und strukturierender Elemente und fördert die individuell angepasste, enge Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen Teams und Kunden, ermöglicht so eine schnelle Anpassung an sich ändernde Anforderungen und nutzt Prototyping und Simulation, um frühzeitig Feedback zu erhalten. Durch diese Flexibilität und Kundenorientierung trägt ASD dazu bei, innovative Produkte effizient und qualitativ hochwertig zu entwickeln. Dabei bietet ASD als Framework Unterstützung in der Festlegung des

Aspekt der kontinuierlichen Validierung im Zusammenhang mit Entwicklungsschritten, der ein Grundstein des agilen Entwickelns ist, genutzt werden, um einen kontinuierlichen und schnellen Abgleich zwischen den einzelnen Domänen sicherzustellen. So müssen Entwickelnde des in Beitrag 7 beschriebenen Bremssystems sich nun nicht nur innerhalb der mechanischen Abteilung abstimmen, sondern auch die Entwickelnden von Elektronik, Elektrik und Software mit einbeziehen, um im fertigen Produkt die geforderte Bremsleistung zu erreichen, ohne das Gefühl des Anwendenden beim Bremsen zu stark zu verändern. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf der Berücksichtigung der physischen Charakteristik der Produkte.

Ziel ist es unter anderem, ein Agile Process Kit zu entwickeln, in dem Methoden bereitgestellt werden, die diese Aktivitäten unterstützen können (Abbildung 11). Dabei kann auf Kernelemente aus dem am IPEK entwickelten ASD – Agile Systems Design als Grundlage zurückgegriffen werden. Wie bereits zuvor beschrieben, unterstützt ASD bei der situations- und bedarfsgerechten Methodenauswahl, basierend auf dem konkreten Bedarf und dem Situationskontext. Diese Erfahrungen können genutzt werden, um das Agile Process Kit zu entwickeln, damit sichergestellt werden kann, dass ein praktikabler agiler Entwicklungsprozess implementiert werden kann. Damit sollen die Entwickelnden unterstützt werden, basierend auf der

vorliegenden Konsistenzsituation die richtigen Aktivitäten auszuführen. So soll in Zukunft der V-SUM Ansatz dafür genutzt werden als Trigger zu dienen, um Aktivitäten auszuführen und diese operationalisiert über das Agile Process Kit in einen bestehenden Entwicklungsprozess einzubetten.

Das im IPEK aufgebaute Wissen und die gesammelte Erfahrung im Themenbereich Agilität werden dabei bereits seit Jahren erfolgreich in Innovationsprojekten und Workshopformaten genutzt, um Unternehmen dabei zu unterstützen, die agile Transition mit konkreter Zielsetzung bedarfsgerecht zu gestalten. Dabei reichen die Formate von eintägigen Workshops zur Situationsanalyse bis hin zu einer

methodischen und fachlichen Begleitung der agilen Transformation über mehrere Monate und Sprints hinweg. Besonderen Wert legen wir dabei auf die konsequente Berücksichtigung des Unternehmenskontext – so hat ein Hersteller von Medizintechnik grundlegend andere Randbedingungen zu beachten als ein Start-Up oder ein mittelständisches Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau.

Gerne teilen wir die im Rahmen unserer Projekte erarbeiteten Erfahrungen und Konzepte zum Umgang mit den Herausforderungen einer zunehmenden Komplexität des gesamten Produktentstehungsprozesses mit Ihnen. Sprechen Sie uns einfach an!

6. Validierungsprozess von System-of-Systems – ein kritischer Pfad der zukünftigen Produktentwicklung?

Validierung ist nicht nur die zentrale Aktivität der Produktentwicklung, sondern wird immer mehr zum kritischen Pfad bei der Einführung zukünftiger Produkte. Insbesondere bei der Validierung komplexer Systems-of-Systems müssen etablierte XiL-Methoden kontinuierlich weiterentwickelt werden. Virtuelles Testen gewinnt immer mehr an Bedeutung, da es die erforderliche Skalierbarkeit ermöglicht, um mit den vielen Testszenarien umzugehen. Mit langjährigen Vorerfahrungen aus vielen erfolgreichen Innovations- und Forschungsprojekten

arbeiten Forschende des IPEK an der Weiterentwicklung von Validierungsmethoden für die Entwicklung der Systeme und Produkte von morgen.

Was haben vernetzte OP-Geräte, automatisierte Lagerhäuser, selbstfahrende Fahrzeuge und e-Bikes gemeinsam? Sie alle sind Teil eines System-of-Systems (SoS). Dabei ergibt sich die volle Funktionalität der SoS erst aus der emergenten Charakteristik des Wechselspiels der Cyber-physischen Systeme (CPS) untereinander. Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen

ist eine isolierte Betrachtung einzelner Systeme in der Entwicklung und Validierung nicht hinreichend. Die Teilsysteme stammen meist aus verschiedenen Domänen mit teilweise grundsätzlich verschiedenen Entwicklungsmethoden (z. B. DevOps, CI/CD etc.). Lang etablierte Entwicklungs- und Validierungsansätze für Systeme einzelner Domänen stoßen daher an ihre Grenzen. Die bereits erwähnten sowie einige weitere Herausforderungen und daraus resultierende notwendige Anpassungen für die Validierung sind in Abbildung 12 dargestellt. Um

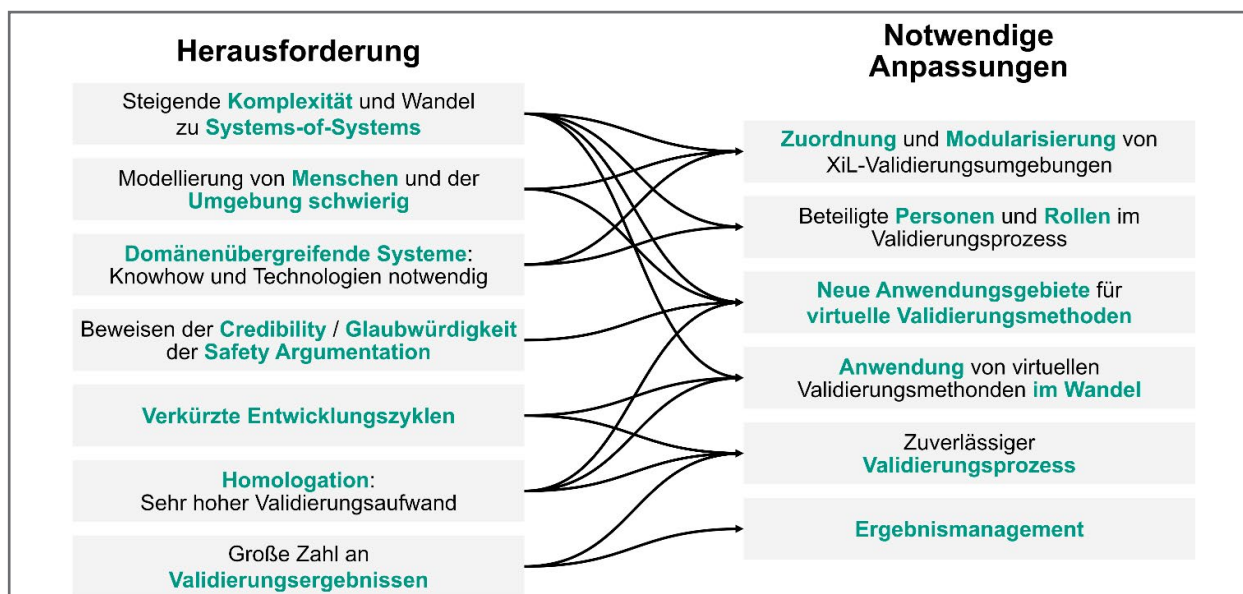


Abbildung 12: Herausforderungen für die Validierung komplexer Systems-of-Systems und daraus abgeleitete notwendige Anpassungen an den Methoden und Prozessen

die Validierung von SoS zukünftig durchgängig, effizient, konsistent und skalierbar durchführen zu können, dürfen einzelne Aspekte nicht getrennt betrachtet werden, sondern der gesamte Validierungsprozess.

Für die Validierung technischer Systeme stehen nach dem IPEK X-in-the-Loop-Ansatz (IPEK XiL) verschiedene Prüfumgebungen zur Verfügung. Die spezifischen Prüfumgebungen beinhalten häufig virtuelle und physische Komponenten, welche im Zusammenspiel das mechatronische System realitätsnah abbilden. Oft werden in der industriellen Praxis trotzdem die ein-

re-konfigurierbaren Ausprägungen ist in Abbildung 13 dargestellt.

Ein Validierungsziel kann dabei oftmals unter Anwendung verschiedener Ausprägungen (Ziffer 1-4 in Abbildung 13) innerhalb des Validierungssystems erreicht werden. Die Ausprägungen korrelieren dabei nicht nur mit dem Aufwand der Erstellung der einzelnen Konfigurationen, sondern auch mit der Durchführung der Validierungsaktivitäten. Neben dem Aufwand ist die Credibility, also die Frage nach der Glaubwürdigkeit bzw. Belastbarkeit der Ergebnisse, zu berücksichtigen. Dies wird durch Fakto-

Dokumentation und Auswertung von Wissen. Da Modelle immer nur das für die jeweilige Aktivität Relevante abbilden und teilweise die Modellbildung z. B. durch mangelndes Wissen um Wechselwirkungen stark verkürzt wird, ist es wichtig, die Konsistenz von Modellen bewertbar zu machen und Inkonsistenzen aufzudecken.

Im DFG Sonderforschungsbereich 1608 „Consistency in the View-Based Development of Cyber-Physical Systems (Convide)“ erforscht das IPEK gemeinsam mit Forschenden der Informatik und Elektrotechnik einen neuen Ansatz zur Erstellung eines Systemmodells. Entstehen soll ein Meta-Modell zur konsistenten Verknüpfung von Einzelmodellen eines cyberphysischen SoS. Aus dem Systemmodell lassen sich zielgruppenorientierte Sichten erstellen, welche nur die relevanten Eigenschaften des SoS abbilden. In das Systemmodell werden darüber hinaus Mechanismen integriert, welche eine Konsistenz aktiv wieder herstellen, wenn Inkonsistenzen auftreten.

In einem mit dem SFB Convide eng vernetzten Projekt werden sich Forschende am IPEK mit der formalisierten Wahl von Validierungskonfigurationen beschäftigen. Es soll geklärt werden, wann im Entwicklungsprozess welche Validierungskonfiguration mit welcher Credibility zum Einsatz kommen soll. Dabei können die Forschenden auf viele Jahre Erfahrung im Kontext von virtuellen Validierungsmethoden sowie Validierung auf Prüfständen zurückgreifen. Schon jetzt steht aber fest, dass der Einsatz virtueller Validierungen, vor allem in der Cloud, deutlich an Relevanz gewinnen wird. Ein möglicher Ansatz ist ein virtuelles Screening von kritischen Szenarien oder Test Cases für ein „System under Investigation“ (Sul). Die relevanten Fälle können dann in einer Validierungsumgebung mit hoher Credibility, aber dafür auch hohem Aufwand, re-evaluiert werden.

Haben auch sie mit der herausfordernden Validierung cyber-physischer Systems-of-Systems zu kämpfen? Wir würden uns freuen Ihre Erfahrungen aus der Praxis mit unseren Forschungsansätzen zu kombinieren. Falls Sie Interesse oder Fragen haben, sprechen Sie uns jederzeit gerne an.

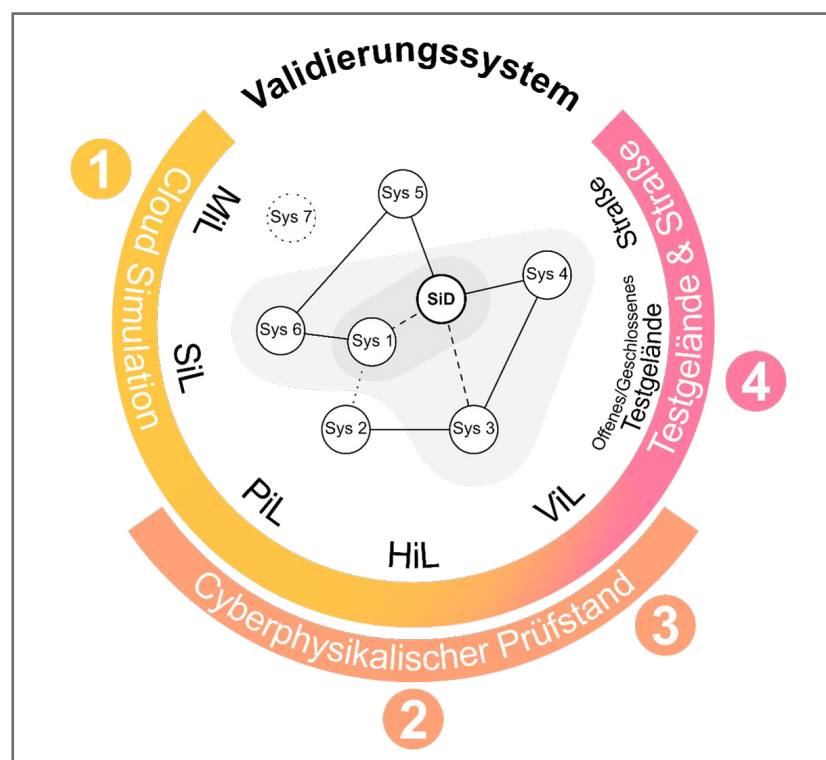


Abbildung 13: Validierungssystem mit verschiedenen Ausprägungen (Virtuellen Simulation, cyberphysikalischer Prüfstand und Testgelände bzw. Straße). Die Ziffern 1-4 geben beispielhaft mögliche Konfigurationen (mit verschiedenen Aufwänden, Credibility und weiteren Faktoren) für die Erreichung eines Validierungszieles an.

zelnen Ausprägungen (z. B. Model-in-the-Loop (MiL), Hardware-in-the-Loop (HiL)) isoliert voneinander und nicht domänengekoppelt betrachtet. Diese Prüfstände werden den Validierungsherausforderungen CPS im Sinne eines SoS so jedoch nicht gerecht und bieten keine ausreichende Credibility. Der strukturierte Einsatz und die zielgerichtete Kombination von virtuellen Simulationen, Versuchen am cyberphysischen Prüfstand sowie Erprobungen unter Realbedingungen können einen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung der Validierungsherausforderungen leisten. Ein Validierungssystem für die Erprobung eines Mobilitätssystems mit neuen, modularen und

ren wie die Verfügbarkeit realer und physischer Prototypen, der Kopplung der Einzelmodelle sowie dem Wissenstand zur Modellkalibrierung beeinflusst. Weitere Faktoren wie das Knowhow der Ingenieurinnen und Ingenieure, ein zuverlässiger Validierungsprozess im Entwicklungsprozess sowie ein nachvollziehbares Management der Validierungsergebnisse spielen in der Wahl der Ausprägung, der Gestaltung von Konfigurationen und Durchführung der Validierungsaktivität eine Rolle. Meta- bzw. Beschreibungsmodelle stellen dabei einen wichtigen Baustein zur Implementierung von Prozessen und Prozessschritten dar, vor allem aber auch zur

7. Das moderne Bremssystem: Mit dem Mobilitätswandel einhergehende Herausforderungen für die Tribologie in Antriebssystemen

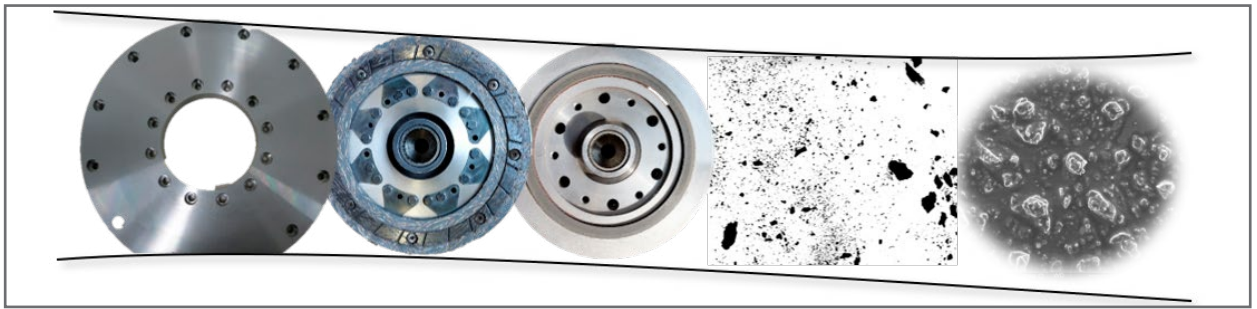


Abbildung 14: Untersuchungsgegenstände zur Untersuchung von Feinstaubemissionen durch Bremssysteme in der später gezeigten Validierungsumgebung und entsprechende Partikelemissionen eines Bremssystems (siehe Abbildung 16)

Im SFB Convide wird als Forschungsplattform die Funktion Bremsen im mechatronischen Bremssystem elektrifizierter Fahrzeuge genutzt. Die Elektrifizierung ermöglicht eine Kopplung von elektrischen und tribo-mechanischen Bremsen. Durch diese Kombination von rekuperativen Bremsfunktionen und Funktionsreibsystemen entstehen ganz neue Herausforderungen an die Entwicklung langfristig stabiler und funktionssicherer Bremssysteme bei gleichzeitig zunehmend strengeren Restriktionen im Bereich der Feinstaubemissionen und weiterer Nachhaltigkeitsaspekte.

Die Elektrifizierung von Antriebssystemen geht mit angepassten Gesamtfahrzeugaufbauten, mit veränderten Antriebsstrangtopologien,

anderen Betriebsverhalten und auch unterschiedlichen Teilsystemen einher. Auch die tribologischen Teilsysteme, wie z. B. die Reibungsbremse, werden dadurch mit neuen Randbedingungen, welche das tribologische Verhalten beeinflussen, konfrontiert. Die Reibungsbremse an sich ist auch in E-Fahrzeugen unabdingbar. Die hohen notwendigen Bremsleistungen bei Notbremsungen, Abbremsungen auf Schnellstraßen o. ä., welche grob bis Faktor acht der Motorleistung betragen, können nicht allein durch die E-Maschine rekuperiert werden. Kann die Fahrzeugbremse eines Fahrzeugs mit konventionellem Antriebsstrang hierfür einfach in Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang integriert und dabei die gleiche Funktionserfüllung erwartet werden? Nein, das

ist nicht so einfach möglich. Schon jetzt setzen Hersteller hierbei auf verschiedene Konzepte und Betriebsstrategien, um mit der Elektrifizierung aufkommende Probleme im Frikitionsystem übergangsweise in den Griff zu bekommen. Hier sei als Beispiel auf die Betriebsstrategie einiger OEMs verwiesen. Diese setzen auf eine regelmäßige Betätigung der Reibungsbremse, um ein möglichst stabiles Reibverhalten sicherzustellen, wenn die Bremse wirklich gebraucht wird. Dies bemerkt der Fahrende höchstens an der Reduzierung der Reichweite oder am Bremsenverschleiß und -abrieb. Eine solche Lösung stellt damit einen Kompromiss dar. Die Frage ist: Kann ein Reibsystem schon in der Entwicklung so ausgelegt und gestaltet werden, dass diese, nicht nachhaltige, zusätzliche

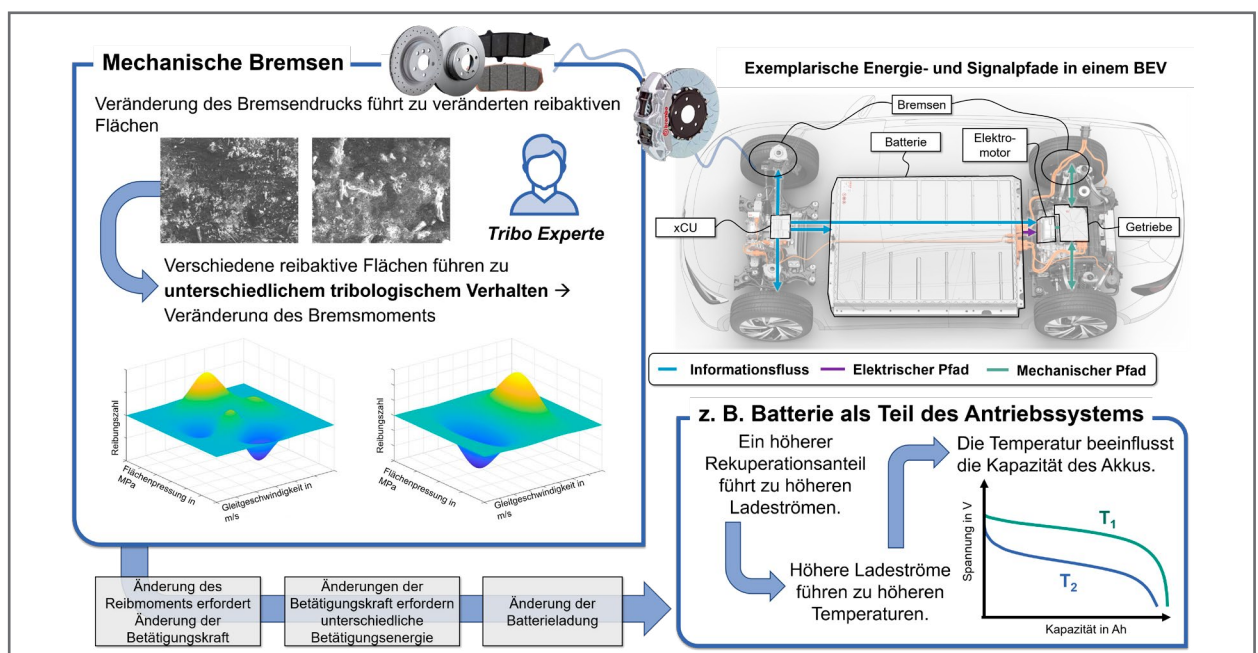


Abbildung 15: Einbindung und Wechselwirkung der Reibungsbremse im Gesamtantriebsstrang eines BEV (rechts oben). Veränderte Bremsdrücke durch zusätzliche Verzögerung mittels Rekuperation führen zu veränderten Reibwerten. Die Reibungszahl muss als nicht konstantes Funktional betrachtet werden, da z. B. durch veränderte Aktuierung und Bremskraft auch veränderte Temperaturen resultieren, beispielhafte Faktoren, welche die Reibungszahl wiederum beeinflussen, aber auch mitunter den Ladezustand der Batterie. (links und rechts unten).

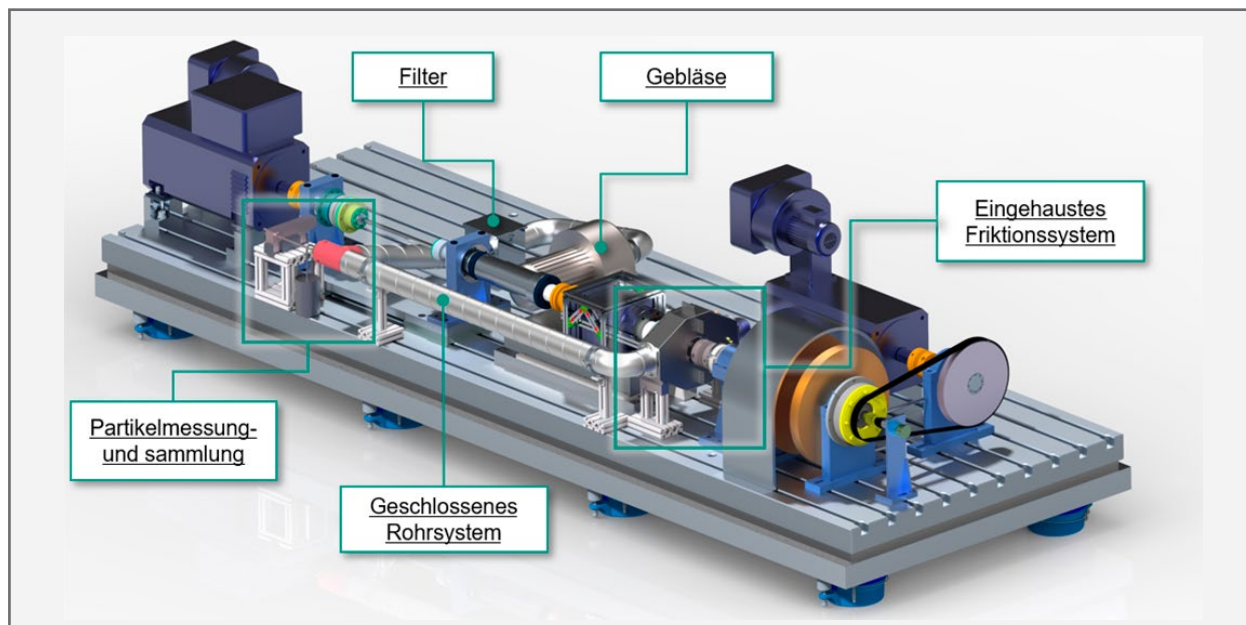


Abbildung 16: Validierungsumgebung zur Untersuchung von Feinstaubemissionen in trockenen Reibsystemen. Die Validierungsumgebung ermöglicht anwendungsnahe Untersuchungen von Bremspaarungen unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit dem Restantriebsstrang. Emittierte Partikel können außerdem mittels Kaskadenimpaktor und Filtern gezielt gesammelt werden, um im Nachgang auch die chemische Zusammensetzung analysieren zu können. Der hohe Grad an Flexibilität und Anpassbarkeit der Validierungsumgebung ermöglicht die Entwicklung neuer Methoden zur Messung sowie die grundlegende Forschung an der Entstehung der Partikelemissionen.

Bremsenbetätigung vermieden werden kann? – Ein Forschungsthema, welches durch die Elektrifizierung stark an Relevanz gewonnen hat, und welchem auch das IPEK in seinen Forschungsarbeiten nachgeht.

Im SFB Convide dient das moderne Bremssystem, ein komplexes Cyber-physisches System (CPS), als ideales Systembeispiel und wird als Forschungsplattform herangezogen (Abbildung 14). Abbildung 15 zeigt die Integration des mechanischen Bremssystems in das Gesamtsystem BEV und verdeutlicht die Wichtigkeit, das Bremssystem aus systemtribologischer Sicht zu betrachten und zu entwickeln. Veränderte Betriebsbedingungen führen zu einem veränderten Reibverhalten, welches nicht durch lineare Zusammenhänge einfach aus bisherigen Anwendungen skaliert werden kann. Am IPEK wird dazu die Produktentwicklung und die dabei enthaltene Validierung von Teilsystemen grundsätzlich nach dem IPEK X-in-the-Loop Ansatz durchgeführt. Dabei wird das zu validierende Teilsystem durch Modellierung von Restsystem und z. B. Fahrer, Umwelt und Umgebung, unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen im Gesamtsystem eingebunden und anwendungsnah validiert.

Wichtig ist es, das vorhandene Wissen, zum Beispiel aus heutigen Kupplungs- und Bremsanwendungen, bezüglich der tribologischen Fragestellungen auch auf neue Anwendungen zu transferieren.

Hier gibt es hohe Potenziale, wie auch die in diesem Jahr veranstaltete und gut besuchte VDI-Fachtagung Kupplungs- und Bremssysteme für mobile und stationäre Anwendungen verdeutlicht hat. Frühzeitig wurden hierbei durch Prof. Albers im Tagungsvorsitz und den Programmausschuss die Relevanz von u. a. den Themenschwerpunkten Emissionsfreiheit und geänderte Anforderungen an Friktionssysteme in Fahrzeugen, sowie industriellen Maschinen und Anlagen fokussiert.

Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft die Reduzierung von Feinstaubemissionen. Nicht nur Verbrennungsmotoren, auch Funktionsreibsysteme erzeugen gesundheits- und umweltschädliche Feinstaubemissionen, welche durch die Euro-7-Norm auch in Hinblick auf Bremsfeinstaub reguliert werden sollen. Zur Erforschung von Zusammenhängen und dem Wechselspiel zwischen verschiedenen Bremssystemen, verschiedenen Betriebsszenarien und der Partikelemission im Bremssystem, werden am IPEK in einer dafür entwickelten Validierungsumgebung (Abbildung 16) Untersuchungen zu Feinstaubemissionen in Bremssystemen durchgeführt.

Die gewonnenen Erkenntnisse zur Entstehung verschiedener Partikelgrößen und Partikelkonzentrationen können bei der Auslegung zukünftiger Bremssysteme unterstützen und so einen nachhaltigen und emissionsreduzierten Betrieb ermöglichen. Welche Ansätze

zur Emissionsminderung möglich sind, wird ebenfalls in Forschungsarbeiten am IPEK untersucht. Eine Möglichkeit ist dabei der Einsatz nasslaufender Bremssysteme.

Mikromobilität

Neue Mobilitätsformen und steigende Anforderungen an Friktionssysteme bringen erheblichen Forschungsbedarf mit sich, welchem am IPEK in verschiedenen weiteren Bereichen nachgegangen wird. Der Trend hin zu elektrisch unterstützten oder betriebenen Lastenrädern mit Gesamtmassen von teilweise über 400 kg, und verhältnismäßig hohen Fahrgeschwindigkeiten stellt auch eine Herausforderung an das Bremssystem dar. Der Einsatz konventioneller Fahrradbremsysteme stellt nicht nur ein Sicherheitsrisiko dar, sondern führt auch zu kurzen Wartungsintervallen und damit einem wenig nachhaltigen Einsatz. Wie ein dahingehend optimiertes Bremssystem mit möglichst hohem Drehmoment, wenig Wartungsintervallen und stabilem, sowie verschleißarmen Betriebsverhalten aussehen kann, wird aktuell in einem Forschungsvorhaben am IPEK nachgegangen.

Sehen auch Sie Ihre tribologischen Systeme zukünftig vor neuen Herausforderungen und wollen diese optimieren, nachhaltig gestalten und gezielt weiterentwickeln? Kommen Sie gerne auf uns zu!

8. Ausbau der Forschung an medizintechnischen Systemen am IPEK

Deutschland ist einer der Weltmarktführer im Wachstumsmarkt Medizintechnik. Das KIT reagiert auf die wirtschaftliche Bedeutung, der gesellschaftlichen Verantwortung und den akuten Forschungsbedarf und gründet das neue Zentrum KITHealthTech, um die Forschungsaktivitäten zu Medizintechnik zu bündeln und zukünftig strategisch in den Fokus zu rücken. Das IPEK wird im Zuge der Initiative „MedIPEK – Medizintechnik am IPEK“ seinen wissenschaftlichen Beitrag in enger Zusammenarbeit mit diesem Zentrum leisten und zukünftige Methoden- und Prozessforschung auch am Beispielsystem Medizintechnik betreiben.

Medizinprodukte zeichnen sich durch eine medizinische Zweckbestimmung und die Anwendung am Menschen aus. Das Spektrum reicht von Verbandstoffen über Gehhilfen hin zur In-Vitro-Diagnostik, Bildgebung und Implantaten. Abgrenzend zu Arzneimitteln ist der Wirkungsweg bei Medizinprodukten primär physikalisch. Die Produktentwicklung und Validierung sind entscheidend, um vor der Markteinführung die Sicherheit, Wirksamkeit und Qualität von entwickelten Medizinprodukten zu gewährleisten. Besonders bei Anwender- und Patientensicherheit, Qualitätssicherung, Risikomanagement und regulatorischen

Anforderungen spielt die Validierung eine essenzielle Rolle. Eine sorgfältige Produktentwicklung ist erforderlich, um die beabsichtigte Zweckbestimmung zu erfüllen und unnötige Risiken zu vermeiden. Ergänzend zur Produktentwicklung wird auch durch die Implementierung von Qualitätsmanagementsystemen nach ISO 13485 und Verordnungen für Medizinprodukte und In Vitro-Diagnostika sichergestellt, dass Produkte konsistent hohe Standards erfüllen. Während des Entwicklungsprozesses müssen diese Risiken identifiziert, bewertet und minimiert werden, um sicherzustellen, dass die Risiken auf akzeptable Niveaus reduziert werden. Zudem ist die Medizintechnikbranche streng reguliert, um zu gewährleisten, dass die Produkte den erforderlichen Standards entsprechen. Vor der Markteinführung müssen Medizinprodukte eine umfassende Validierung durchlaufen, um die Konformität mit nationalen und internationalen Vorschriften und Normen nachzuweisen.

Der globale Umsatz mit Medizintechnik hat eine jährliche Wachstumsprognose von 6,1 %. Die nationale und internationale MedTech-Branche hat sich von der Corona-Pandemie, dem regulatorischen Mehraufwand aufgrund der neuen Medical Device Regulation (MDR) und höheren Rohstoff-,

Energie- und Transportkosten durch geopolitische Veränderungen schnell erholt und baut Arbeitsplätze und Produktionsstätten kontinuierlich aus. [Quelle: statistica; bvmed]. Nicht zuletzt durch sozioökonomische Entwicklungen, dem demografischen Wandel und einer steigenden Lebenserwartung nimmt der Bedarf an neuen medizinischen Technologien und Gesundheitsleistungen national und global weiterhin zu.

Die Forschungsaktivitäten im Feld der Medizintechnik erfahren einen kontinuierlichen Wandel, um nationale und globale Herausforderungen, wie exemplarisch den demografischen Wandel und die Digitalisierung, zu beherrschen. Um die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen, mittelständisch geprägten MedTech-Branche sicherzustellen, sind daher verstärkte Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie eine enge Zusammenarbeit zwischen Industrie, Forschungseinrichtungen und Politik von entscheidender Bedeutung.

Aus den Forschungsaktivitäten lassen sich eine Vielzahl von Forschungsfragen und Herausforderungen im Hinblick auf Technologie sowie zugehöriger Entwicklungs- und Validierungsmethoden ableiten. Die nachfolgende Abbildung 17 stellt eine

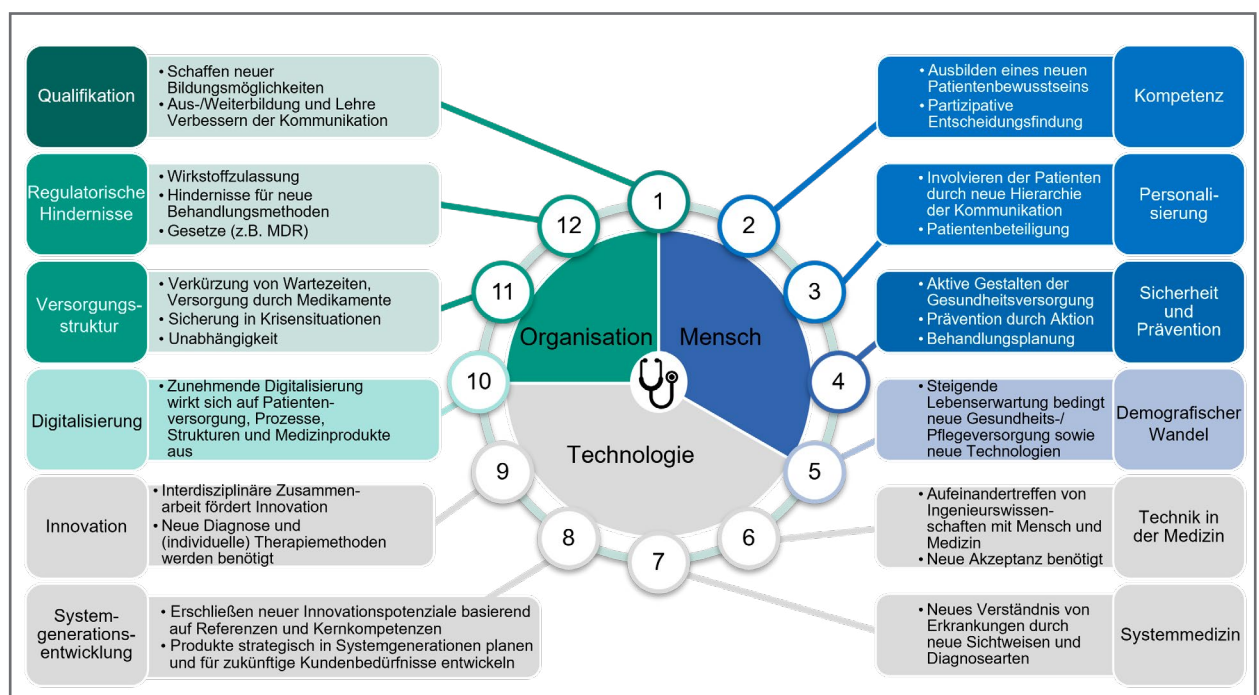


Abbildung 17: Inhalt nach Forum Gesundheitsstandort BW 2021, VDI 1077, BVMed/ SPECTARIS/ ZVEI 2021; Abbildungsart nach Dührer

mögliche Clusterung von 12 Trends und deren Einflussfaktoren vor. Neben dem Cluster Technologie ist das IPEK auch an dem Cluster Mensch, welches sowohl medizinisches Personal als auch Patienten direkt betrifft, und dem Cluster Organisation, welches regulatorische, technologische und ökologische Anforderungen an die medizintechnische Produktentwicklung stellt, durch seine breite Projektlandschaft und Kompetenzen involviert.

Nicht zuletzt aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung, der gesellschaftlichen Verantwortung und dem akuten Forschungsbedarf wurde durch das

das IPEK auf dem Gebiet Medizintechnik und Gesundheitswissenschaften in Projekten geforscht. Durch die Etablierung von KITHealthTech ergeben sich spannende neue strategische Perspektiven, begleitet von einer bedeutenden Stärkung des Teams durch Nachwuchs in der Wissenschaft. Abbildung 18 zeigt die strukturelle Verortung der IPEK Forschungsaktivitäten innerhalb der KARE Forschungsfelder im Rahmen des aufstrebenden Zentrums.

Das erste Forschungsfeld Digital Health beschäftigt sich mit der Digitalisierung und den dadurch aufkommenden Themen, wie u. a. Digital Twin, KI, Technologieakzeptanz und

Prävention (Physio4.0 und altersgerechtes Arbeitsumfeld) durchgeführt. Das dritte Themenfeld Technologie für die Präzisionsmedizin beschäftigt sich mit Robotik, automatischen Operationshelfern und Simulationstechniken. Auch humanoide Roboter, Positionsbestimmung für Operationsroboter und -werkzeuge, Arbeitsunterstützungssysteme, Bewegungsanalysen im Bereich des Leistungssports und der Medizin, Leichtbau, Exoskelette zur Rehabilitation von bewegungseingeschränkten Personen und der Interaktion von Mensch und Roboter werden am IPEK bearbeitet. Im letzten Forschungsfeld trägt das IPEK durch Vibrations-, Feinstaubemissions- und

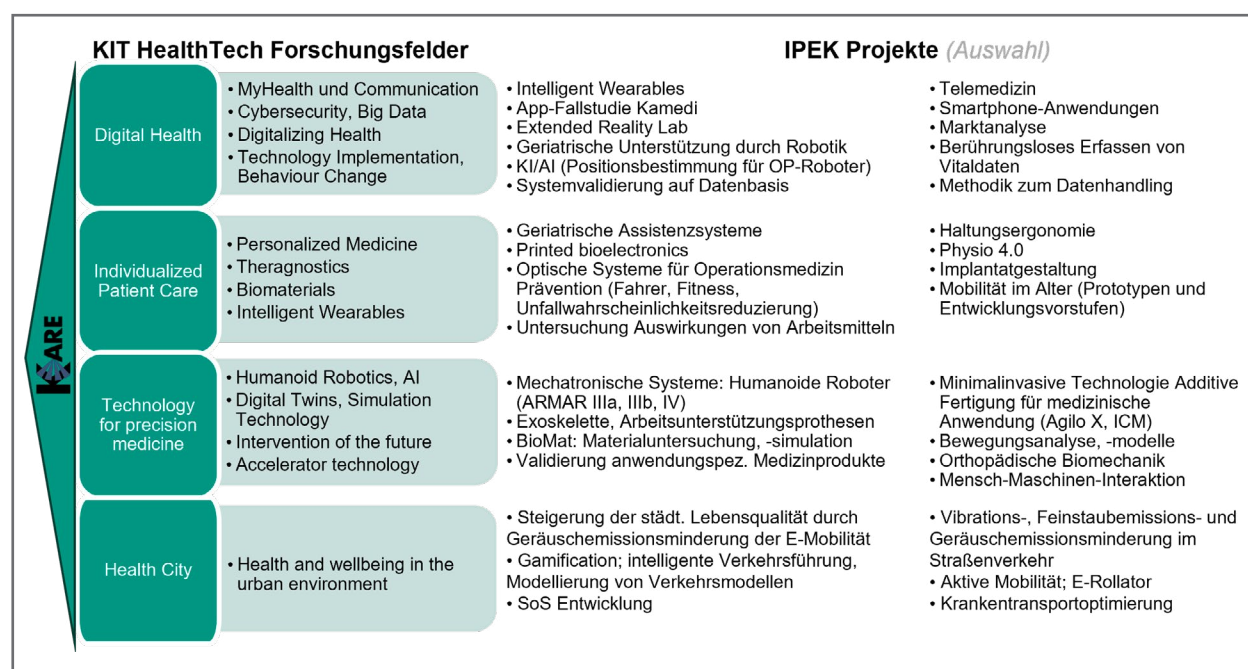


Abbildung 18: Gegenüberstellung der linksseitigen Forschungsschwerpunkte des Kompetenzzentrums KIT HealthTech mit der rechtsseitigen Auswahl an IPEK Projekten

KIT das neue Zentrum Gesundheitstechnologien/ KITHealthTech gegründet, welches die zentralen interdisziplinären Forschungsaktivitäten bündelt und zugleich die strategischen Forschungsfelder nach außen hin spiegelt. Die Forschungsfelder sind hierbei die flächendeckende, ganzheitliche und individualisierte Patientenversorgung, die digitale Gesundheit, Technologien für Präzisionsmedizin und die Gesundheit im urbanen Kontext. Zusätzlich wurde die Karlsruhe Region of Health Technologies (KARE) ins Leben gerufen, um eine einzigartige Interaktion mit Patienten, Bürgern, Kliniken, Industriepartnern und den Instituten des KIT im Großraum Karlsruhe zu schaffen und zu fördern.

Bereits in den vergangenen Jahren hat

Verhaltensveränderungen. Projekte, die dabei bisher in Zusammenarbeit mit dem IPEK durchgeführt wurden, sind unter anderem Intelligent Wearables und eine App zur Unfallverhinderung, welche vielfältige Einsatzfelder von der Diagnostik bis zur Alltagshilfe bietet. Im Bereich der individuellen Patientenversorgung finden sich die Technologieimplementierung, der Einsatz von Biomaterialien, Theragnostik und personalisierte Medizin wieder. Zur Implementation wurden Studien, Befragungen zur Akzeptanz und Bedarfsuntersuchungen durchgeführt. Im Bereich der Biomaterialentwicklung sind die Projekte zu Orthesen und Prothesen sowie 3D-Druck Materialuntersuchungen zu nennen. In der personalisierten Medizin wurden bereits Untersuchungen zur Rehabilitation und

Geräuschemissionsminderung in der urbanen Mobilität und bei der Verbesserung von Krankentransporten (Schwingungsminimierung im Krankenwagen, Transport mobilitätseingeschränkter Personen) zu einer höheren Lebensqualität in der Stadt der Zukunft bei.

Ein gegenwärtiges Forschungsprojekt am IPEK im Rahmen von HEiKA (Heidelberg Karlsruhe Strategic Partnership) befasst sich mit dem Thema des misshandlungsbedingten Kopftraumas (abusive head trauma; AHT), welches die häufigste nicht natürliche Todesursache bei Säuglingen und Kleinkindern darstellt. Das Forschungsziel des Projektes liegt dabei in der Entwicklung realistischer computergestützter (CAE) und

Hardwaremodelle (AHT-Dummy), um Verletzungsmechanismen nachbilden zu können und ein fundierteres Verständnis der Verletzungshergänge zu erlangen. Die dadurch gewonnen Erkenntnisse sollen anschließend zur Entwicklung eines auf maschinellem Lernen basierenden Modells zur Beurteilung von AHT-Fällen genutzt werden. Auch potenzielle Anwendungen in der klinischen Diagnostik und der Sicherheit von Kindern im Straßenverkehr sind denkbar. Das interdisziplinäre Team vereint hierbei Knowhow im Bereich der Biomechanik, forensischen und Ingenieurwissenschaften

und bildet mit der Kooperation zwischen dem Institut für Rechts- und Verkehrsmedizin (UKHD), dem IPEK und weiteren Forschungs- und Unternehmenspartner den Grundstein für eine langfristige Zusammenarbeit.

Die Produktentwicklung und insbesondere die Validierung sind in der Medizintechnik von entscheidender Bedeutung, um sicherzustellen, dass Medizinprodukte den höchsten Qualitäts- und Sicherheitsstandards entsprechen und somit eine effektive und sichere Patientenversorgung gewährleistet wird. Im anspruchsvollen

Kontext der Medizintechnik definiert das IPEK durch gezielte Methoden, Prozesse und Tools einen sicheren Entwicklungsrahmen für innovative Produkte. Innerhalb des neu etablierten KITHealthTech Zentrums wird das IPEK zukünftig eine aktive Rolle einnehmen und seinen wissenschaftlichen Beitrag auf dem Gebiet der Medizintechnik fortsetzen und ausbauen. Sie suchen methodische Unterstützung bei der Produktentwicklung und Validierung Ihrer Medizinprodukte? Dann sprechen Sie uns gerne an!

9. Nachhaltigkeit in der Gestaltung von komplexen mechatronischen Systemen

Nachhaltigkeit ist ein zentrales Element der Produktdifferenzierung von komplexen mechatronischen Systemen: Das IPEK arbeitet an einem einheitlichen Verständnis von Nachhaltigkeit in der Produktentstehung, der Operationalisierung von Nachhaltigkeitszielen sowie am Wandel von der linearen zur zirkulären Produktentstehung.

Die Gestaltung von komplexen Cyberphysischen Systemen (CPS) – und dabei insbesondere die Erhaltung einer konsistenten Systemarchitektur – stellen an sich bereits Herausforderungen dar. Diese technologische Weiterentwicklung wird zudem begleitet von zunehmend komplexeren gesellschaftlichen Themen, wie dem Streben nach Nachhaltigkeit. Daher gilt es in der Erarbeitung von Methoden und Prozessen, diese Themen bereits von Anfang an zu berücksichtigen. Hierbei kann auf beiden Seiten profitiert werden: Die frühe und proaktive Betrachtung von Nachhaltigkeitsaspekten in der Gestaltung von CPS trägt dazu bei, die Komplexität dieser Systeme in ihrer Gesamtheit zu erfassen. Dadurch kann auch langfristig die Konsistenz im System sichergestellt werden. Gleichzeitig ist eine konsistente Systemarchitektur die Voraussetzung, um umfassende Nachhaltigkeitsbemühungen in der Gestaltung von CPS realisieren zu können. Damit spielt das Thema Nachhaltigkeit auch im SFB 1608 „Consistency in the View-Based Development of Cyber-Physical Systems“ eine zumindest implizite Rolle. Diese Rolle soll jedoch durch die Kompetenzen am IPEK im

Bereich Nachhaltigkeit gestärkt und explizit gestaltet werden.

Nachhaltigkeit ist für das IPEK ein zentraler Baustein für CPS und notwendigerweise Bestandteil zukünftiger, innovativer CPS. Um den daraus folgenden Anforderungen gerecht zu werden, hat das IPEK das Forschungsfeld „Nachhaltigkeit“ eingerichtet. Dabei geht es in einem ersten Schritt um eine Klärung der Frage, wie Nachhaltigkeit in der Produktentstehung verstanden werden kann. Die nächsten Schritte beinhalten Forschung zu Themengebieten, wie der Operationalisierung von Nachhaltigkeitsanforderungen und die Einbeziehung von Kreislaufwirtschaft in die Produktentstehung. Diese Forschungsthemen bilden damit ein Fundament für die Verknüpfung mit weiteren relevanten Forschungsvorhaben am IPEK und dem KIT, darunter der SFB 1608.

Verständnis von Nachhaltigkeit in der Produktentstehung

Ein einheitliches Verständnis von Nachhaltigkeit in der Produktentstehung bildet eine zentrale Orientierungshilfe für die Auswahl geeigneter Ansätze in der Praxis und zur Abgrenzung von deren Geltungsbereichen. Das IPEK setzt sich daher zum Ziel, dazu beizutragen, inkonsistente Nachhaltigkeitsbemühungen in der Praxis zu vermeiden und damit das Risiko zu minimieren, den beabsichtigten Zweck zu verfehlen. Die Erarbeitung eines gemeinsamen Verständnisses von nachhaltiger Produktentstehung im Rahmen der

KaSPro – Karlsruher Schule der Produktentwicklung stellt deshalb einen Grundpfeiler des Forschungsfelds dar.

Wie kann Nachhaltigkeit operationalisiert werden?

Auf Basis dieses Verständnisses von Nachhaltigkeit in der Produktentstehung erforscht das IPEK, wie sich Unternehmen strategisch hinsichtlich kurz- und langfristiger Nachhaltigkeitsziele ausrichten können. Hierbei sind Antizipieren und Priorisieren unternehmensrelevanter Nachhaltigkeitsziele Gegenstand, wobei die sich ergebenden Ziele mithilfe einer Roadmap für die Transformation zu einem nachhaltigeren Unternehmen operationalisiert werden.

Von der linearen zur zirkulären Produktentstehung

Ein weiterer Bestandteil des Forschungsfelds Nachhaltigkeit ist das Konzept der Kreislaufwirtschaft: Die Kreislaufwirtschaft in der Produktentstehung beschreibt, im Gegensatz zur linearen Wirtschaft, ein nachhaltiges Wirtschaftsmodell mit Fokus auf die Wieder- und Weiterverwendung von Produkten. Dadurch kann ein wichtiger Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen und zur Reduzierung von Abfallströmen geleistet werden.

Das IPEK forscht hierzu mithilfe des Modells der SGE – Systemgenerationsentwicklung an Voraussetzungen und Methoden zur Gewährleistung einer

solchen generationsübergreifenden Integration. Das Modell der SGE dient dabei als Grundlage, um die generationsübergreifende Optimierung von Systemen im Hinblick auf ihre kreislauffähige Planung und Gestaltung systematisch und ganzheitlich zu betrachten. Ein wichtiger Punkt ist dabei, das Ziel Akzeptanz der Nachhaltigkeit beim Kunden zu erreichen und nicht Verzicht zu predigen.

Verantwortung in der Produktentstehung

Über das Thema Nachhaltigkeit hinaus kooperiert das IPEK mit der KIT Academy for Responsible, Research, Teaching, and Innovation (ARRTI) zu den übergeordneten Themen Ethik und Verantwortung. Hierbei stehen unter anderem Entscheidungen unter Unsicherheit oder im Umgang mit hoher Komplexität im Produktentstehungsprozess im Fokus. Dies wird unter anderem gemeinsam mit Studierenden und Mitarbeitern reflektiert (Abbildung 19). Es werden insbesondere die eigene Verantwortung sowie die Auswirkungen individueller Entscheidungen und



Abbildung 19: Workshop zum Thema nachhaltige Produktentstehung am IPEK

deren Konsequenzen thematisiert, z. B. im Rahmen von Reflexionssitzungen.

Sehen Sie sich Herausforderungen in der Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen in Ihren Unternehmen gegenüber? Dann profitieren Sie von unseren Kompetenzen aus Projekten und Forschungsaktivitäten. Wir unterstützen

Sie gerne mit unseren methodischen sowie technischen Angeboten, welche von Workshops zur strategischen Ausrichtung Ihrer Produktentstehung, über Schulungen zur Kreislaufwirtschaft bis hin zur technischen Optimierung Ihrer Produkte bezüglich individueller Nachhaltigkeitsanforderungen reichen.

10. Das Industrial Metaverse in der Produktentwicklung – ein Gamechanger?

Die Begriffe „Metaverse“ und „Industrial Metaverse“ sind in letzter Zeit sehr präsent in den Medien. Gleichzeitig polarisiert der Begriff stark und wird häufig ausschließlich mit Kryptowährungen oder sozialen Medien in Verbindung gebracht. Doch nicht nur das Leben von Menschen wird in Zukunft vom Metaverse beeinflusst werden, sondern auch die Entwicklung von Produkten, Systemen und Dienstleistungen. Das IPEK forscht daher intensiv auf diesem Gebiet und beschäftigt sich mit der Fragestellung, wie diese Technologie effizient und vor allem sinnvoll im Umfeld der Produktentwicklung eingesetzt werden kann. Hierbei werden auch neue Geschäftsmodelle sowie die Einbindung der Gesellschaft in den Produktentstehungs- und auch Validierungsprozess erforscht.

Wie so oft bei Trendthemen fehlt auch beim Metaverse eine allgemein akzeptierte Definition und eine klare Vorstellung davon, wer genau davon

profitieren könnte. Der Fraunhofer-Verbund IUK-Technologie beschreibt das Metaverse auf der Grundlage mehrerer Veröffentlichungen mit den folgenden sieben Merkmalen: Das Metaverse ist kein geschlossenes System, sondern vernetzt sich sowohl untereinander als auch mit der Realität. Es fungiert als soziales Medium, das es den Menschen ermöglicht, miteinander zu interagieren, zu kommunizieren und zu kollaborieren, während sie dort handeln und virtuelles Eigentum besitzen. Die Sitzungen im Metaverse können sowohl persistent und langanhaltend als auch temporär sein, je nach den individuellen Bedürfnissen der Nutzer. Es handelt sich um ein integratives System, das andere Technologien einbezieht und nutzt, um ein umfassendes Erlebnis zu bieten. Die Teilnahme am Metaverse ist multimodal und kann in Bezug auf Intensität und Darstellung an die individuellen Vorlieben angepasst werden. Es besteht eine enge Verknüpfung mit der realen Welt, wodurch Informationen,

Handlungen und Interaktionen zwischen Realität und Virtualität ausgetauscht und gegenseitig beeinflusst werden können.

Ein zentrales Element sind daher virtuelle Repräsentationen und bedarfsgerechte digitale Zwillinge. Daher gibt es auch starke Wechselwirkungen mit den im SFB 1608 „Consistency in the View-Based Development of Cyber-Physical Systems“ zu entwickelnden Methoden. Es ist essenziell zur Begrenzung des Aufwandes, nur die relevanten Aspekte in der virtuellen Repräsentation abzubilden und sich daher im Kontext des Metaverse intensiv mit den zentralen Elementen Consistency, View Points und View Types des SFB 1608 zu beschäftigen.

Aus den oben beschriebenen Eigenschaften des Metaverse lassen sich mögliche Handlungsfelder ableiten, die in der Produktentwicklung zu untersuchen sind. Hierbei müssen u. a. folgende Aspekte betrachtet werden:

Welche Methoden und Ansätze aus der physischen Welt können ins Metaverse übertragen werden? Wo liegen die Grenzen? Müssen Methoden im virtuellen Raum komplett neu gedacht werden, da die Mechanismen andere sind? Welche Methoden können im virtuellen Raum effizienter durchgeführt werden, welche sind aufwendiger? Wie sieht eine mögliche Roadmap aus? Wie kommt man schnell zu einem großen Nutzen bei gleichzeitig geringem Initialaufwand? Neben der systematischen Erarbeitung und Bewertung der sog. Forschungsprofile wurden in den letzten Monaten in Zusammenarbeit mit der SRH Hochschule Heidelberg bereits einige Prototypen und Demonstratoren umgesetzt.

Diese adressieren verschiedene Themenkomplexe und dienen nun als Basis für weitere Forschungsarbeiten.

Kreativitätsmethoden in der frühen Ideenfindung im Metaverse

Kreativitätsmethoden sind ein zentraler Bestandteil der Produktentwicklung. Kreativität kombiniert dabei Erfahrung, Wissen und Fantasie. Viele Methoden werden im Team durchgeführt und basieren stark auf der Interaktion und der situationsbedingten, gegenseitigen Inspiration. Insbesondere bei verteilten Teams, die häufig im virtuellen Raum arbeiten, stellt dies eine große Herausforderung dar. Um die genauen Bedarfe,

Herausforderungen, Vor- und Nachteile des virtuellen Raums zu analysieren wurde beispielhaft die TRIZ-Box als Bestandteil der TRIZ Methode virtualisiert und im Rahmen der Lehrveranstaltung ProVIL eine experimentelle Studie unterzogen. Die Validierung erfolgte durch Methodik-Experten des IPEK, indem eine Problemstellung mit TRIZ-Methoden und der VR-TRIZ-Box gelöst werden sollte (siehe Abbildung 20). Seien Sie gespannt auf die Ergebnisse, die in kürze veröffentlicht werden.

Frühe und kontinuierliche Validierung im Metaverse

Validierung ist die zentrale Aktivität in der Produktentstehung und kann

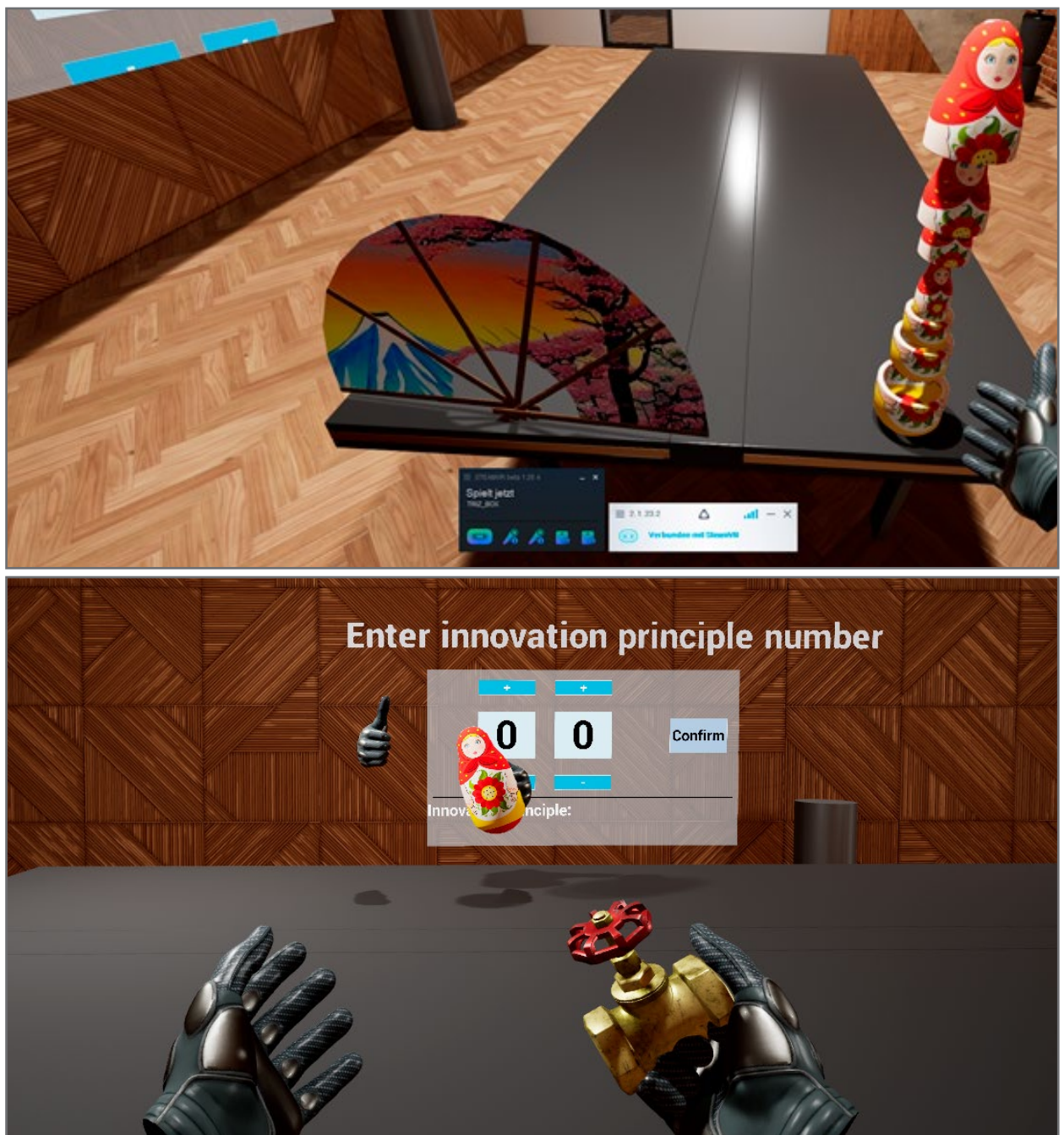


Abbildung 20: TRIZ im Virtuellen Raum



Abbildung 21: Crowd-basierte Szenarien-Erzeugung und Validierung von Teleoperation im Bereich des automatisierten Fahrens

insbesondere bei komplexen System-of-Systems (SoS) auch der kritische Pfad bei der Markteinführung sein. Eine große Herausforderung bei der Validierung von SoS ist der hohe Grad an Volatilität in Bezug auf die Kunden- und Nutzerszenarien. Welche Szenarien sind relevant? Welche sind sicherheitskritisch? Wie kann die Gesellschaft eingebunden werden um

die Akzeptanz zu steigern und relevante Szenarien zu identifizieren? Im Rahmen einer Studie wurden in diesem Themenkomplex zwei Prototypen umgesetzt (Abbildung 21). Der erste Prototyp dient zur crowd-basierten Erzeugung von Szenarien. Der zweite hat das Ziel die Teleoperation von automatisierten Fahrzeugen besser zu analysieren und zu validieren. Die

Prototypen sollen nun in verschiedenen Forschungsprojekten eingesetzt und erweitert werden.

Vermittlung von Ingenieurkompetenzen durch Einsatz des Metaverse in der Lehre

Virtuelle Methoden werden natürlich auch immer relevanter in der Lehre. Diese können zum einen dazu dienen, neue Möglichkeiten zu erschließen, um Lehrinhalte anschaulicher zu vermitteln. Gleichzeitig ist es aber auch wichtig, den Studierenden eine sinnvolle Mischung aus virtuellen und physisch erlebbaren Inhalten zu vermitteln. Der seit Jahren etablierte „Getriebe-Workshop“ in der IPEK Lehrveranstaltung Maschinenkonstruktionslehre wurde virtualisiert (Abbildung 22). Die Studierenden können nun die Aufgabe am realen Getriebe aber auch im virtuellen Raum erleben und auch gezielt erlernen, wo die Grenzen der jeweiligen Umgebung liegen. Gamification-Aspekte sollen hierbei zusätzlich die Motivation fördern.

Habe Sie Interesse mehr über die Potentiale des (Industrial) Metaverse im Kontext der Produktentwicklung zu erfahren? Sind Sie auf der Suche nach Ideen und Impulsen, diese Technologie effizient in Ihrem Umfeld zu nutzen bzw. eine Roadmap hierfür zu entwickeln? Jetzt ist der richtige Zeitpunkt! Wir unterstützen Sie gerne mit unseren methodischen sowie technischen Angeboten, welche von Workshops zur strategischen Ausrichtung bis hin zur gemeinsamen Umsetzung von ersten Prototypen reichen.

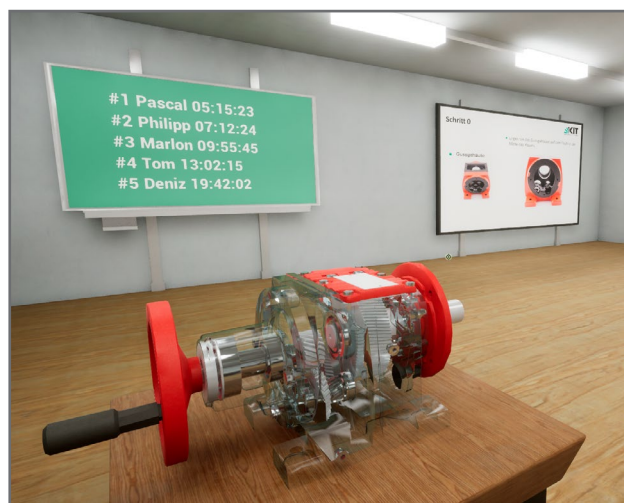


Abbildung 22: Getriebe-Workshop im Virtuellen Raum unter Anwendung von Gamification-Aspekten



© Amadeus Bramsiepe, KIT

„Wir bei KA-RaceIng sind das Formula Student Team des KIT Karlsruhe. Formula Student ist ein internationaler studentischer Konstruktionswettbewerb, bei dem hunderte Teams jedes Jahr selbst entworfene und gebaute Rennwagen präsentieren. Die Fahrzeuge sind komplexe Systeme, die Aspekte wie Aerodynamik, Autonome Systeme, Elektrischer Antrieb, Elektronik, Fahrwerk und Monocoque integrieren. Einige Entwicklungen umfassen z.B. Leichtbau durch Kohlefaser-Verbundwerkstoffe, Autonomes Fahren mit Lidar Sensor, sowie Machine Learning und Torque Vectoring für maximale Performance. Daher fördert KA-RaceIng seit 2006 eine praxisnahe Ingenieurausbildung und ermöglicht Studenten, ihre Fähigkeiten in einem realen Motorsportumfeld zu erproben und Kontakte zur Industrie zu knüpfen.“



Kontakt



YouTube-Kanal des IPEK

IPEK
Institut für Produktentwicklung
am Karlsruher Institut für Technologie

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. A. Albers
(Sprecher)
Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. Matthiesen
Univ.-Prof. Dr.-Ing. T. Düser
Dipl.-Ing. S. Ott
(Geschäftsführer)
Telefon: +49 721 608-42371
E-Mail: ipek@ipek.kit.edu
www.ipek.kit.edu

Postadresse

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
IPEK – Institut für Produktentwicklung
Kaiserstraße 10
76131 Karlsruhe

Herausgeber

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Prof. Dr. Oliver Kraft
In Vertretung des Präsidenten des KIT
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
www.kit.edu

Karlsruhe © KIT 2023