Karlsruher Institut für Technologie

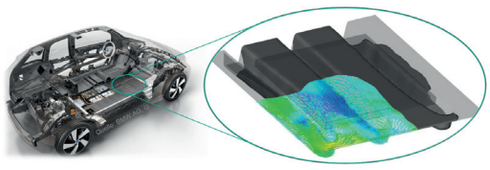
IPEK INSIDE

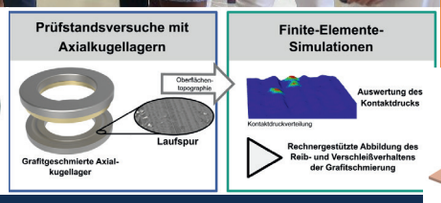
NEWSLETTER DES IPEK – INSTITUT FÜR PRODUKTENTWICKLUNG

AUSGABE 1 | 2019

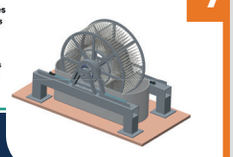
Herr Prof. Hanselka und Herr Dr. Behrendt stellen gemeinsam das suggestive Sounddesign des IPEK vor (Seite 2)

Schulung zu Blechkonstruktion mit Funktionsprototyp (Seite 6)



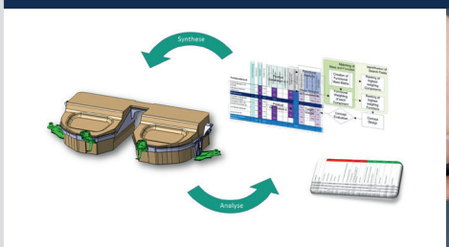


Strukturiert und agil zu modularen, leichten Antriebskomponenten für effiziente Antriebe

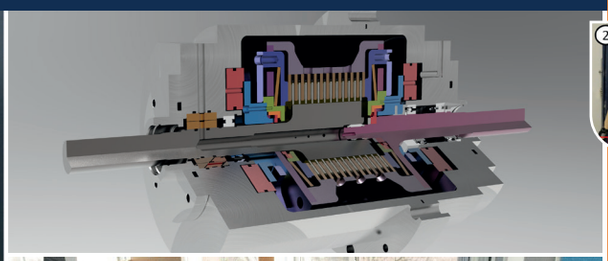


7

Das Entropierad



Digitalisierung von Power-Tools (Seite 16)



Integrierte Produktentwicklung (Seite 6)

4

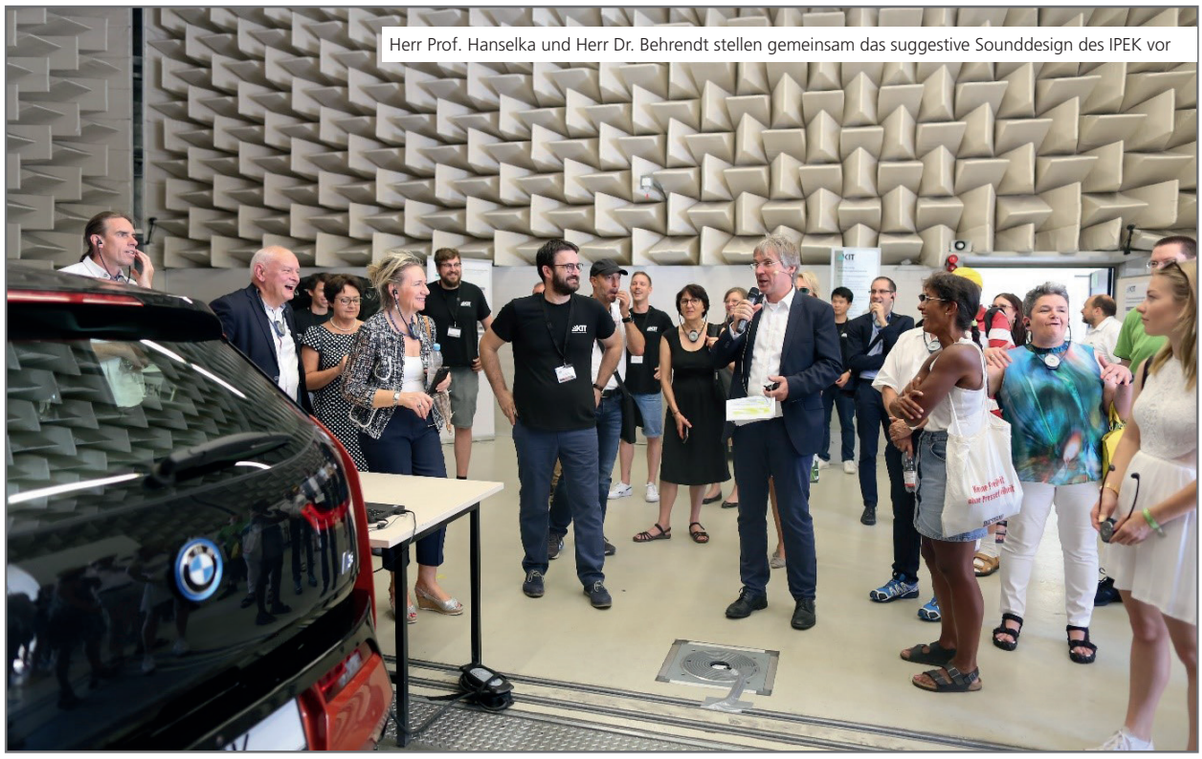
Anwendungsqualität messbar machen

YouTube-Kanal des IPEK

Suggestives Sounddesign erleben – Tag der offenen Tür 2019

Für den Tag der offenen Tür des KIT, der am 29.06. am Campus Ost stattfand, hatte das IPEK – Institut für Produktentwicklung ein besonderes Erlebnis für die Gäste parat: ein in einem Elektrofahrzeug (BMW i3) implementiertes aktives Sounddesign. Dabei konnten die Gäste das Fahrzeug in einer virtuellen Umgebung fahren, während der Sound, je nach Fahrzustand dynamisch generiert und wiedergegeben wurde. Da der Klang eines Fahrzeugs einen großen Einfluss auf die Emotionen des Fahrenden hat, wurden drei Sounds mit sehr unterschiedlichem Charakter verwendet. Der erste war ein harmonischer Sound, der einem klassischen Kleinwagen nachempfunden wurde. Der Zweite ein deutlich aggressiverer, rauerer Sound, der einem V8 ähnelte, und sogar virtuelle Gangstufen simulierte. Der Dritte war ein futuristischer Sound, der nur noch wenig mit dem Geräusch eines konventionellen Fahrzeugs zu tun hatte.
Das IPEK sieht Kundinnen und Kunden im Fokus der Produktentwicklung – so wurden auch die Gäste zu ihren Erfahrungen befragt. 47% fühlten sich vom futuristischen Sound emotional am stärksten angesprochen und begrüßten generell das gesteigerte Feedback des Fahrzeugs. Diese Akzeptanz ist relevant für die Beeinflussbarkeit eines Fahrenden. Optimierte Sounds könnten so zum Beispiel Einfluss auf die Einhaltung von Sicherheitsabstand oder Sollgeschwindigkeit nehmen. Für den Erfolg eines suggestiven Sounddesigns sprach die Angabe von 78% der Gäste, die sich durch den aggressiveren Sound eher zu sportlichem Fahren motiviert fühlten.
Klingt das Thema auch bei Ihnen an? Melden Sie sich bei uns!

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371



Herr Prof. Hanselka und Herr Dr. Behrendt stellen gemeinsam das suggestive Sounddesign des IPEK vor

Modellierung von Zusammenhängen zwischen Gestalt und Funktion

Ein häufiges Hindernis in der Konstruktion ist fehlendes Wissen über die Zusammenhänge zwischen den durch den Konstrukteur festlegbaren Gestaltmerkmalen und der Funktion des Produkts. Um hierbei zu unterstützen, forschen wir am IPEK an der Modellierung von Zusammenhängen zwischen Gestaltmerkmalen und Funktion. Dabei fokussieren wir uns auf Methoden zu Auswahl, Aufbau und Verknüpfung von Modellen. In Winkelschleifern treten ungewollte Schwingungen auf, die den Anwenderkomfort beeinträchtigen. Um die Schwingungen reduzieren zu können, müssen die Zusammenhänge zwischen Schwingungen und Gestaltmerkmalen bekannt sein. Konstrukteure nutzen zum Verstehen solcher Zusammenhänge unterschiedliche Modelle. Um die Schwingungen in Winkelschleifern zu reduzieren, nutzen wir ein mit einem Prüfstand validiertes Mehrkörpermodell. Zur Gestaltung von Prüfaufbau und Mehrkörpermodell werden qualitative Modelle wie C&C²-Modelle eingesetzt. So kann die Komplexität von Prüfstand und quantitativem Modell mit Fokus auf die funktionsrelevanten Gestaltmerkmale reduziert werden. Mit dem validierten Modell ist es möglich, Zusammenhänge zwischen Schwingungen und Gestalt simulativ

1. IPEK-Roundtable: ASD – Agile Systems Design – Gemeinsam zum richtigen Agilitätsmaß

Am 05.07.2019 hatte das IPEK im Rahmen des ersten IPEK Roundtable: ASD – Agile Systems Design 24 Experten der agilen Produktentwicklung aus Unternehmen und Forschung zu Gast. Ziel des 1. Roundtables war es, eine gemeinsame Roadmap für Kollaborationsvorhaben zu schaffen, die die Marschroute für die Weiterentwicklung agiler Ansätze für mechatronische Systeme vorgibt.
Eingeleitet wurde der Tag durch eine Keynote, in der Professor Albert Albers gemeinsam Dr. Nikola Bursac (TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH) den Teilnehmern Einblicke in die Produktentwicklung mit dem ASD – Agile Systems Design aus Forschungs- und Unternehmenssicht ermöglichte. Motiviert von den interessanten Insights erarbeiteten die Teilnehmer in einem Workshop 45 Einzelprojektideen, die die gezielte Anwendung und Weiterentwicklung des ASD – Agile Systems Design forcieren. Diese wurden im Nachgang in 13 Handlungsbereiche und eine daraus abgeleitete Roadmap kondensiert. Hierdurch können strategische Kollaborationen geplant werden.
Ziel ist es, durch Zusammenarbeit von Forschung und Unternehmen einen Beitrag zur agilen Entwicklung moderner Produkte zu leisten. Bis zum nächsten Roundtable werden die Themen mit der höchsten Relevanz in gemeinsamen Projekten bearbeitet und 2020 vorgestellt.
Insbesondere die Teilnehmer aus den Unternehmen gaben an, dass sie es genossen haben, in einer offenen Atmosphäre über die Umsetzung von Agilität im Unternehmen abseits des Tagesgeschäfts zu diskutieren und auch Impulse für die Forschung zu geben.
Sie möchten sich zum Thema Agilität in der Produktentwicklung vernetzen und sind an einer Teilnahme 2020 interessiert? Sprechen Sie uns an!

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371

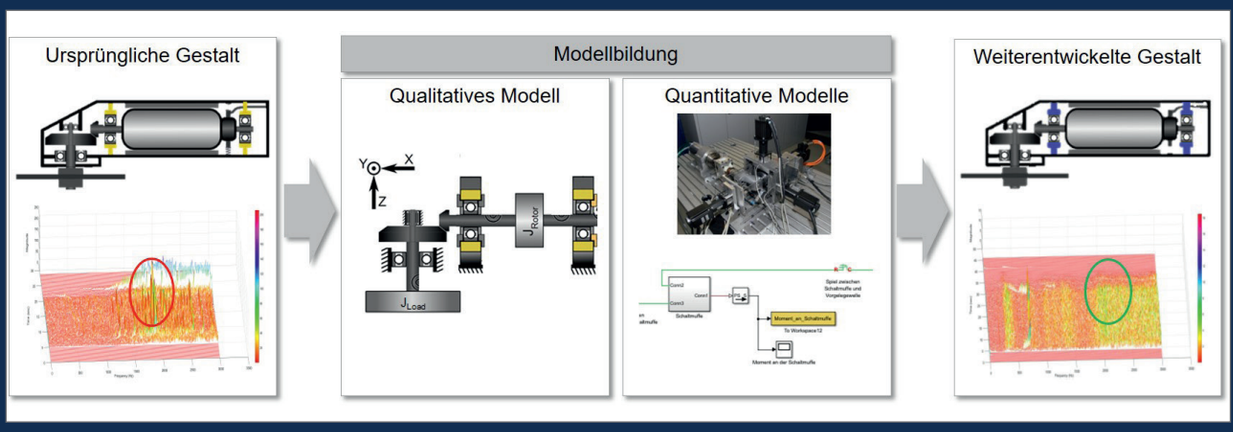


Abbildung 1: Modellbildungsvorgehen bei der Vibrationsoptimierung einer Winkelschleifer Antriebsstranglagerung

zu ermitteln. Damit können Gestalt optimiert und innovative Konzepte identifiziert werden. In Abbildung 1 ist dieses lösungsorientierte Vorgehen dargestellt. Durch unsere Forschung an Methoden zu Auswahl, Aufbau und Verknüpfung von Modellen wird dies möglich.

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Sven Matthiesen
Tel.: +49 721 608-47156

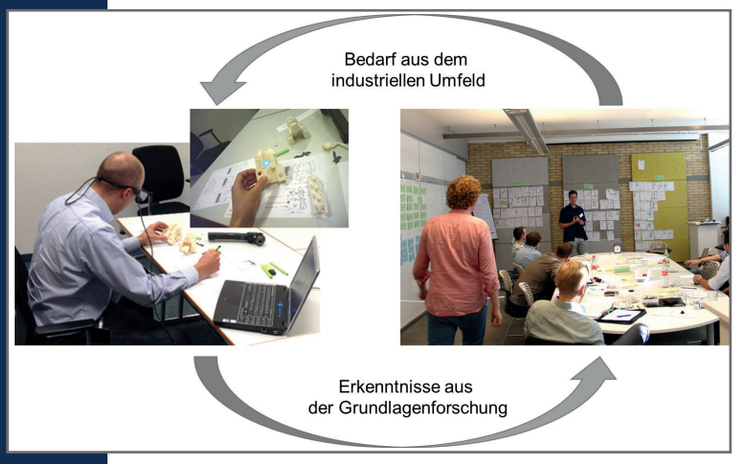
Anwendungsqualität messbar machen – Belegbare Performance als Kaufkriterium für Power-Tools

Die Optimierung der empfundenen Anwendungsqualität eines Power-Tools führt nachweislich zur Erhöhung der Arbeitsperformance und damit zur Verbesserung der Produktattraktivität. Um diesen Effekt gezielt zu nutzen, steht der Entwickler von Power-Tools vor der Aufgabe, Produkte entsprechend der Nutzeranforderungen zu konzipieren bzw. zu optimieren. Die Vielseitigkeit und Individualität der Verwendung eines Power-Tools führt dabei zu einer Vielzahl an potentiellen Anforderungen für die Produktentwicklung. Die Priorisierung und Beurteilung dieser Anforderungen erfolgt oftmals auf Basis einzelner Befragungen, nicht aber auf quantitativ belegbaren Messwerten. Wir nehmen uns hierbei der herausfordernden Aufgabe an, die spezifischen Anforderungen der Anwender, die bei der Durchführung der täglichen Anwendungen entstehen, objektiv und qualitativ zu erfassen. Unser Ziel dabei ist es, auf dieser Grundlage die wahrgenommene Anwendungsqualität eines Power-Tools objektiv messbar zu gestalten und damit die Identifizierung von nutzeroptimierten Zielgrößen zu ermöglichen. Zum Erfassen und Quantifizieren dieser in Tätigkeitsphasen aufgeteilten Anwendungen entwickeln wir am IPEK – Institut für Produktentwicklung Methoden, mit welchen der Anwender, das Power-Tool und deren Interaktion in der realen Umgebung, beeinflussungsfrei erfasst und objektiv beschrieben werden können. Hierzu setzen wir unterschiedlichste Messtechnik wie Motion Capture Systeme (Gelenkwinkelerfassung), Pulsmessuhren, EMG Systeme (Muskelaktivitätsmessung), Multiview Kamerasysteme, Kraftmessgriffe und ein eigens entwickeltes Messsystem zur Erfassung der Geräteperformance (Strom, Spannung, Beschl., Geräusch, Winkelgeschw., etc.) ein. Durch den Einsatz von KI Ansätzen (Klassifikation mittels neuronaler Netze, Clusterbildung durch maschinelle Lernverfahren) können so aus den erfassten Daten quantitativ beschriebene Anwendungsbarrieren, Usability Defizite, sowie bspw. gesundheitsschädliche Körperhaltungen erfasst und daraus konkrete Konstruktionszielgrößen abgeleitet werden, welche Sie innerhalb Ihrer anwenderoptimierten Entwicklung umsetzen können.

Einsatz von Messtechnik zur quantitativen Beschreibung der Anwendungsperformance (1) EMG Messtechnik, (2) Motion Cature System, (3) Ego-Videoanalyse von Anwendern, (4) Einsatz mobiler Messtechnik in Power-Tools (Matthiesen 2018)

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Sven Matthiesen
Tel.: +49 721 608-47156

Tatort Technik: den Problemen auf der Spur



In technischen Produkten treten häufig Probleme auf, deren Überwindung schwierig ist. Die Forschung an der Problemlösungsmethode SPALTEN hat daher lange Tradition am IPEK. Regelmäßig verhindern jedoch systematische Denkfehler - sogenannte Cognitive Bias - die Identifikation der tatsächlichen Problemursache und damit die effiziente Lösung des Problems. Der bekannteste dieser Denkfehler ist der Confirmation Bias. Er bewirkt, dass Informationen so ausgewählt und interpretiert werden, dass sie eigene Vermutungen bestätigen und so die Identifikation der tatsächlichen Problemursache verhindern. Am IPEK entwickeln wir Methoden zur Überwindung von Cognitive Bias weiter, um sie in der Problemeingrenzung der Problemlösungsmethode SPALTEN einzubinden. Im Rahmen eines DFG-Projektes untersuchten wir systematische Denkfehler mit Eye-Tracking und entwickelten Methoden zu deren Überwindung. Die Erkenntnisse und Methoden setzen wir in Workshops mit Unternehmen zur Problemlösung ein.
In einer Workshopserie mit der Firma Herrenknecht konnte mit den richtigen Methoden die Ursache für den Stillstand einer Tunnelbohrmaschine identifiziert werden. Im Dichtungssystem der Maschine trat ein Problem auf, welches zu einem mehrwöchigen Ausfall führte. Unternehmensinterne Analysen konnten die Problemursache nicht identifizieren und umgesetzte Maßnahmen brachten nur begrenzten Erfolg. In Kooperation mit dem IPEK konnte in strukturierten Workshops die Problemursache identifiziert und im Nachgang behoben werden.
Treten bei Ihnen auch Probleme in technischen Produkten mit unklarer Ursache auf? Sprechen Sie uns gerne an.

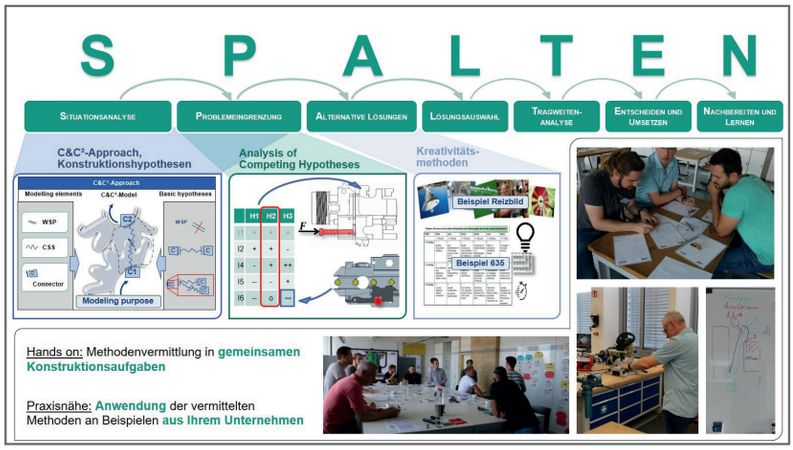
Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Sven Matthiesen
Tel.: +49 721 608-47156

Strukturiertes Vorgehen im Umgang mit technischen Fragestellungen – Methodenschulung für die Konstruktion

Beim Konstruieren ist die strukturierte Problemlösung eine Herausforderung, bei der Methoden unterstützen können. Ihre Anwendung ist aber oft schwierig, da die Adaption auf das konkrete Problem eine gewisse Sicherheit und Routine erfordert. In Methodenschulungen werden häufig Beispiele verwendet, die nicht in den akuten Problemstellungen angewandt werden können. Dadurch wird der Transfer in den Alltag erschwert, was den Nutzen der Schulung reduziert. Am IPEK haben wir deshalb eine Methodenschulung entwickelt, die diesen Transfer erleichtert. Zur Vorbereitung werden akute Probleme im Partnerunternehmen identifiziert, um passende Schulungsinhalte auszuwählen und deren Anwendung sicherzustellen. Zu Beginn der Schulung wird ein gemeinsames Verständnis für die Modellbildung technischer Systeme aufgebaut. Die Modellbildung wird anschließend in einer Konstruktionsaufgabe praktisch angewandt. Dabei greifen wir auf Rapid-Prototyping zurück, um agiles Testen der Modellbildungsergebnisse zu ermöglichen. Anschließend führen wir in die Problemlösungsmethodik SPALTEN ein. Hier wird bereits das konkrete Problem, welches das Partnerunternehmen definiert hat, adressiert. Je nach gesetztem Schwerpunkt reicht diese Einführung von der Situationsanalyse und Problemeingrenzung über die Suche alternativer Lösungen mit Kreativitätsmethoden bis zur Lösungsauswahl und Tragweitenanalyse bei der Lösungsumsetzung. Zum Abschluss findet die moderierte Anwendung der vermittelten Methoden auf akute Probleme des Partnerunternehmens statt.
Teilnehmer-Feedback zur letzten durchgeführten Schulung:
„Durch die Methodenschulung am IPEK konnten die Mitarbeiter aus Konstruktions- und Vorentwicklungsabteilung ihre Kompetenzen in der Problemlösung verbessern. Die Anwendbarkeit der vorgestellten Methoden wurde durch die praktischen Beispiele direkt in der Anwendung sehr gut verdeutlicht. Besonders das Bearbeiten eigener Problemstellungen mithilfe der Methoden aus den ersten beiden Schulungstagen fand bei den Teilnehmern großen Anklang und machte den Nutzen der Methoden besonders greifbar. Insgesamt zeichnete sich der Workshop auch durch eine tolle Arbeitsatmosphäre und kompetente Leitung aus.“
Wenn Sie die methodische Problemlösung in Produktentwicklung und Konstruktion mit SPALTEN interessiert, sprechen Sie uns an!

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
Tel.: +49 721 608-47156

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371



Prozess der Schulung von der Situationsanalyse bis zum Lösungs-Prototyp

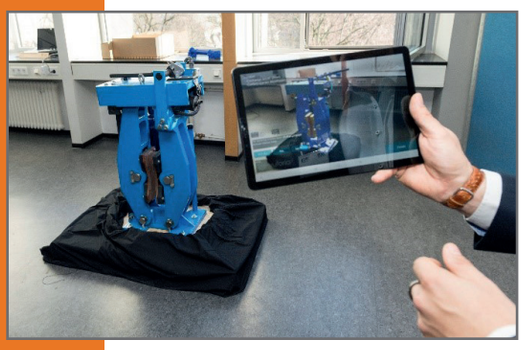
Akustische Analyse reibinduzierter Schwingungen in KFZ-Scheibenbremsen

Bremsscheiben und Bremsbeläge sind hochbelastete Bauteile in Antriebssträngen von Kraftfahrzeugen, Maschinenanlagen oder sogar Fahrrädern. Beim Bremsen entsteht im Kontakt zwischen Reibbelag und Bremsscheibe eine mechanische Beanspruchung, die zu akustisch wahrnehmbaren Schwingungen führen kann. Die akustischen Ausprägungen der Schwingungen sind bekannt unter den Bezeichnungen Quietschen, Rubbeln und Knarzen. Bremsgeräusche sind für Nutzer von Kraftfahrzeugen ein Qualitätsmerkmal, weil die Geräusche oftmals direkt dem sicherheitsrelevanten Bremssystem zugeordnet werden. Ein wichtiges Entwicklungsziel ist daher die Vermeidung von Bremsgeräuschen, um spätere Reklamationskosten vermeiden zu können. Bei Maschinenanlagen führen Bremsgeräusche zu Belastungen am Arbeitsplatz.
Im Rahmen eines ZIM-Projekts in Kooperation mit der TECOSIM Technische Simulations GmbH wird das Auftreten von reibinduzierten Schwingungen in KFZ-Bremssystemen analysiert. Dabei wird eine Methode genutzt, die die Kopplung der Berechnungsverfahren Finite-Elemente-Methode und Mehrkörperberechnungen umfasst. Es werden in der Finite-Elemente-Methode Reibkontakte simuliert und deren Reibverhalten in eine Mehrkörpersimulation übertragen und zum Ableiten der Schwingungsanregung genutzt. Auf diese Weise kann früh das akustische Verhalten der entwickelten Bremssysteme vorhergesagt werden und die konstruktive Gestaltung des Bremssystems unterstützt werden. Die Reduzierung der Anzahl an benötigten Prototypen für die Validierung kann die Entwicklungskosten verringern.
Mithilfe unseres gekoppelten Berechnungsverfahrens können wir Sie bei der Entwicklung Ihres Bremssystems unterstützen. Sprechen Sie uns an!

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371

IP – Integrierte Produktentwicklung: ein Wegbereiter für Innovation

Die Frage, wie unser Live-Lab IP – Integrierte Produktentwicklung auch ein Wegbereiter für Innovation in der modernen Industrielandschaft ist, lässt sich am verständlichsten am Beispiel des zurückliegenden IP Projektes 2018/19 veranschaulichen.
„Es ist beeindruckend was passiert, wenn das Wissen aus 150-jähriger Tradition auf moderne Methoden der Produktentwicklung und frische, unvoreingenommen Köpfe trifft."
– Prof. Dr. Benedikt Meier, Head of Products and Technology at thyssenkrupp Industrial Solution, BU Mining Technologies

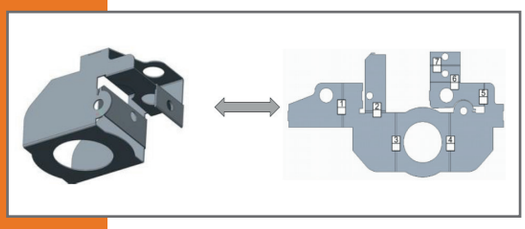


AR-Technologien wurden in den Prototypen umgesetzt

41 angehende IngenieurInnen in sieben Entwicklungsteams stellten sich der Herausforderung: **"From big scale machines to smart organisms in the future relevant supply of resources – creating innovative solutions by utilizing the potential of automation, digitalization and modularization"**.
Jedes Team entwickelte in nur vier Monaten ein Produkt, zu dem jeweils ein Funktionsprototyp gefertigt wurde. **Alle sieben Produkte** werden von thyssenkrupp **weiterentwickelt** und auf ihre **Markteinführung** vorbereitet. Diese Fortführung über das gemeinsame Projekt hinaus ist ein ganz besonderer Erfolg.
"We are impressed by the diversity of product ideas, their great potential and the compelling presentations. IP facilitates new ideas that advance our innovation process" – Dr.-Ing. Peter Börsting, Head of Technology, Innovation, Sustainability & Think Tank at Mining Technologies
Der Erfolg von IP-Integrierter Produktentwicklung beruht auf drei Bausteinen: der Anwendung geeigneter **Produktentwicklungsmethoden**, auf hochmotivierten **Leistungsträgern – Studierende und Wissenschaftler** des KIT – und der erfolgreichen **Zusammenarbeit** von Unternehmen und dem IPEK.
In IP 2018/19 entstanden insgesamt über 6**0 Erfindungsmeldungen**, aus denen bereits **vier Patente** angemeldet wurden. Zudem wurden über 300 Produktprofile, Marktstudien, Konzeptbeschreibungen und Prototypentests in einer Datenbank und **54 Prototypen** für **sieben konkrete Produkte** erstellt. Der Unternehmenspartner führt in weiteren Projekten zusammen mit dem IPEK alle sieben entwickelten Konzeptstudien der Teams weiter. Zudem werden zwei zusätzliche Produktideen aus IP weiterentwickelt, die dort zunächst aus Kapazitätsgründen nicht weiterverfolgt werden konnten.
Auch sie möchten ihre zukünftigen Produktideen methodisch entwickeln? Dann werden sie Partner bei IP! Prof. Albers berät Sie gerne.

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371

Herausforderungen im Denkprozess von Konstrukteuren identifizieren, messen und überwinden



Die Herausforderung für Konstrukteure ist das Vorausdenken der Fertigung während der Konstruktion

Eine Herausforderung für Konstrukteure ist das Bewerten von Konstruktionen im Hinblick auf Machbarkeit und Fertigungsaufwand. Dies liegt vor allem an Fehlern im Denkprozess des Konstrukteurs beim Berücksichtigen der Fertigung während der Konstruktion. Das IPEK fokussiert sich auf das Identifizieren und Messen von Fehlern im Denkprozess und setzt dazu Messtechnik wie Eye-Tracking ein. Dafür beobachten wir den Konstrukteur bei der Arbeit in für unsere Kunden zugeschnittenen Studien. Wir finden Herausforderungen im Denkprozess während der Konstruktion und deren Ursache. So sind wir in der Lage, Unterstützungsmethoden zu entwickeln und Konstrukteure zielgerichtet zu schulen.
Zum Beispiel mit unserem Kunden TRUMPF GmbH & Co. KG wurden Denkfehler in der Blechkonstruktion fundiert erhoben. Dabei wurde erkannt, dass Konstrukteure ihre eigenen Konstruktionen bevorzugt auswählen, obwohl bessere Konstruktionen mit geringerem Fertigungsaufwand zur Verfügung stehen. Um diese Herausforderung zu überwinden, haben wir eine Unterstützungsmethode für eine objektivere Bewertung von Blechkonstruktionen entwickelt.
Unsere Messmethoden sind vielseitig anwendbar, um Herausforderungen in der Konstruktion zu messen und problemspezifische Unterstützungsmethoden zu entwickeln. Sie möchten Herausforderungen in der Konstruktion überwinden und Ihre Mitarbeiter zielgerichtet schulen – Sprechen Sie uns an!

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Sven Matthiesen
Tel.: +49 721 608-47156

Foto erstellt durch Herr Dr. Jens Ottnad, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG

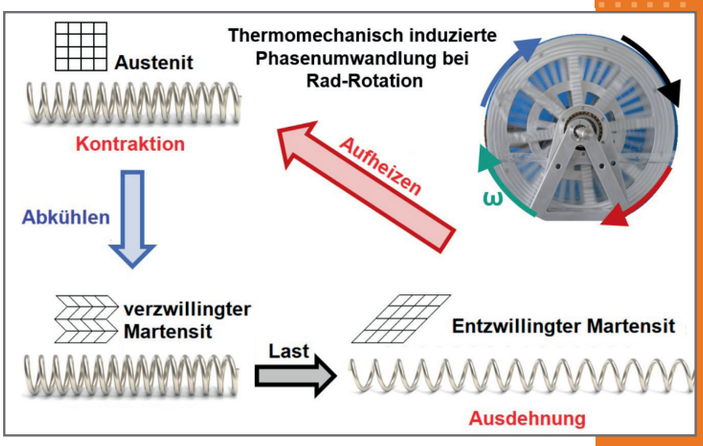
Schulung zu Blechkonstruktion mit Funktionsprototyp

Das „Entropierad“ – mechanische Optimierung zur Leistungssteigerung einer Formgedächtnislegierung-Wärmekraftmaschine

Heutige Wärmekraftmaschinen können die Niedrigtemperaturabwärme aus Kraftwerken nicht nutzen. Dieses Potential zur Energiegewinnung nutzbar zu machen, ist Thema in einem aktuellen Forschungsprojekt am IPEK.
In Kooperation mit dem Institut für technische Polymerchemie (ITCP) unter Leitung von Prof. Wilhelm untersucht das IPEK derzeit die Eignung von Formgedächtnislegierungen in einer Niedrigtemperatur-Wärmekraftmaschine, um die reversible Phasenumwandlung zwischen der Hochtemperaturphase Austenit und der Tieftemperaturphase Martensit von Nickel-Titanlegierungen für die Energiegewinnung aus Niedrigtemperaturabwärme nutzbar zu machen.
Ein erster Forschungsprototyp zeigt bereits eine erste Umsetzung des entwickelten Prinzips. Hierbei werden Nickel-Titan-Federn zwischen einem äußeren und einem inneren Rad aufgehängt. Das innere Rad kann hierbei im äußeren Rad radial verschoben werden, wodurch sich eine Exzentrizität ergibt. Die untere Hälfte der Maschine liegt in einem warmen Wasserbad. Durch diese Wärmezufuhr, die zu einer Kontraktion der Form-Gedächtnis-Legierung führt, ergibt sich ein Drehmoment und das Rad beginnt zu rotieren. Am IPEK wurden durch Variation von Parametern in einem vereinfachten Ersatzsystem weitere Erkenntnisse zu Gestalt-Funktion-Zusammenhängen (GFZ) der Maschine gewonnen. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird die nächste Prototypengeneration so optimiert, dass eine deutlich gesteigerte Ausgangsleistung bei gleichzeitig erhöhter Federn-Lebensdauer erreicht wird.
Sie suchen nach einem Partner für die Entwicklung und Validierung auch unkonventioneller Ideen? Melden Sie sich bei:

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Sven Matthiesen
Tel.: +49 721 608-47156



4 Jahre ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor

Im Sommersemester 2019 wurde ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor bereits zum vierten Mal erfolgreich durchgeführt. Gemeinsam mit dem Projektpartner thyssenkrupp Industrial Solutions entwickelten 32 Studierende Konzepte zum Thema „Smart Organisms – Elaboration and economic evaluation of product profiles and solution concepts“. Die Ergebnisse wurden den weltweit verteilten Mitarbeitern des Projektpartners am 16. Juli unter Nutzung virtueller Mittel präsentiert. Seit der Einführung des Projekts im Sommersemester 2016 nahmen bereits über 120 Master-Studierende teil und konnten Kompetenz und Methodenkenntnis im Bereich standortverteilte Produktentwicklung und globale Engineering Prozesse im Case-Based Learning unter realistischen Randbedingungen aufbauen. Gleichzeitig konnten mit dem ProVIL-Format spannende Lösungskonzepte für Unternehmen wie Porsche, Fiat und Audi erarbeitet werden.

Audi Electronics Venture GmbH, ProVIL-Studierende und ProVIL-Betreuerteam beim gemeinsamen Abschlussfoto 2018

ProVIL nimmt dabei die drei Säulen Forschung, Lehre und Innovation der KIT-Kompetenz auf und integriert diese in ein Laborpraktikum zur Ergänzung der Mastervorlesung „Methoden und Prozesse der Produktgenerationsentwicklung“. Als Forschungsumgebung dient ProVIL zur Validierung neu entwickelter Prozesse, Methoden und Tools der **standortübergreifenden Produktentwicklung**. Den Studierenden wird durch die praxisorientierte Lehre ermöglicht, das theoretisch erlernte Wissen in realen Entwicklungsprojekten anzuwenden. Im Bereich Innovation schätzen die jährlich wechselnden Partnerunternehmen vor allem die **agile Innovationsmethodik ASD – Agile Systems Design** des IPEK, die durch angehende junge Produktentwickler angewendet wird. Eine Besonderheit liegt hierbei in der **virtuellen und räumlich verteilten Zusammenarbeit** zwischen den Studierenden, dem Projektpartner und dem IPEK.

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371

Strukturiert und agil zu modularen, leichten Antriebskomponenten für effiziente Antriebe

Moderne, leichte Antriebssysteme leisten einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg des Gesamtsystems – sowohl im Automobil, in dynamischen Maschinen und Anlagen als auch im Power-Tool.

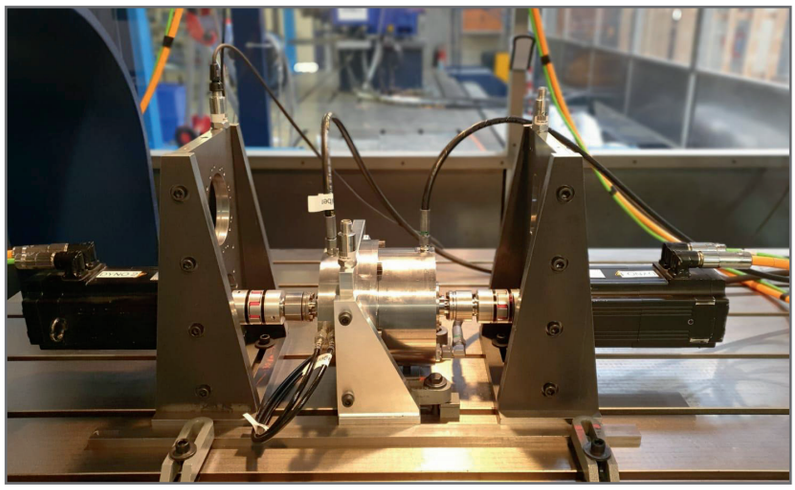
Moderne Antriebssysteme im Spannungsfeld der Elektrifizierung, Automatisierung, und Effizienzsteigerung stellen neue Anforderungen an Antriebssystemtopologien, deren Synthese sowie an die verzahnte Entwicklung und Implementierung der Fahr- und Betriebsstrategie. Das IPEK arbeitet hierbei in seiner Forschung an kunden- und marktorientierten Lösungen zur Entwicklung **modularer, leichter Antriebssysteme und -systemelemente** für den Aufbau effizienter Antriebe. Der Schlüssel zur Etablierung neuer **elektrifizierter Topologien und Antriebstechnologien** ist dabei oftmals das Zusammenspiel vieler Teilsysteme, die es unter geänderten Randbedingungen und Betriebsbedingungen neu zu entwickeln und zu testen gilt. So stellen **zuverlässige Leichtbaubatterien**, welche für die Fahrzeugintegration modularisiert werden, einen Kern der IPEK Forschung dar. Weiterhin liegt die Entwicklung von virtuellen Batteriemodellen, die zur frühzeitigen Validierung von Antriebsstrangsystemen von Fahrzeugen und Power-Tools genutzt werden können, im Fokus der Forschung. Dem Gedanken der Leistungssteigerung folgend, rücken – wie in anderen Feldern der Antriebstechnik schon lange üblich – **Hochdrehzahlantriebe** mit Antriebsdrehzahlen über 30.000 rpm für Automobilanwendungen in den Fokus. Um diese in markttaugliche, kundenakzeptierte Lösungen zu überführen, werden lastschaltfähige Hochdrehzahlgetriebe mit entsprechenden Schaltelementen benötigt, wobei das IPEK derzeit an den Schlüsseltechnologien der Schaltelemente und Verzahnungen arbeitet. Zur Validierung nutzen wir dazu unseren Hochdrehzahlprüfstand, der es erlaubt, Antriebsstränge und deren Teilsysteme in diesem Hochdrehzahlbereich experimentell zu untersuchen. Das IPEK steht seit über 20 Jahren für die Forschung an Methoden und Prozessen zur effizienten und agilen Entwicklung und Validierung von Antriebssystemen unterschiedlicher Einsatzgebiete und Skalierungen. Die Basis dafür bildet der IPEK X-in-the-Loop-Ansatz (IPEK XiL), mit dem wir gemeinsam innovative Antriebstopologien sowie Antriebssysteme und -systemelemente analysieren und durch einen Test-based-Development-Ansatz (TbD) neu definieren, als Lösung realisieren und so ein gezieltes Komponentendesign für neue kundenwerte Lösungen ermöglichen.

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
Tel.: +49 721 608-47156

Entwicklung und Validierung von Hochdrehzahlkomponenten für Anwendungen in der Elektromobilität

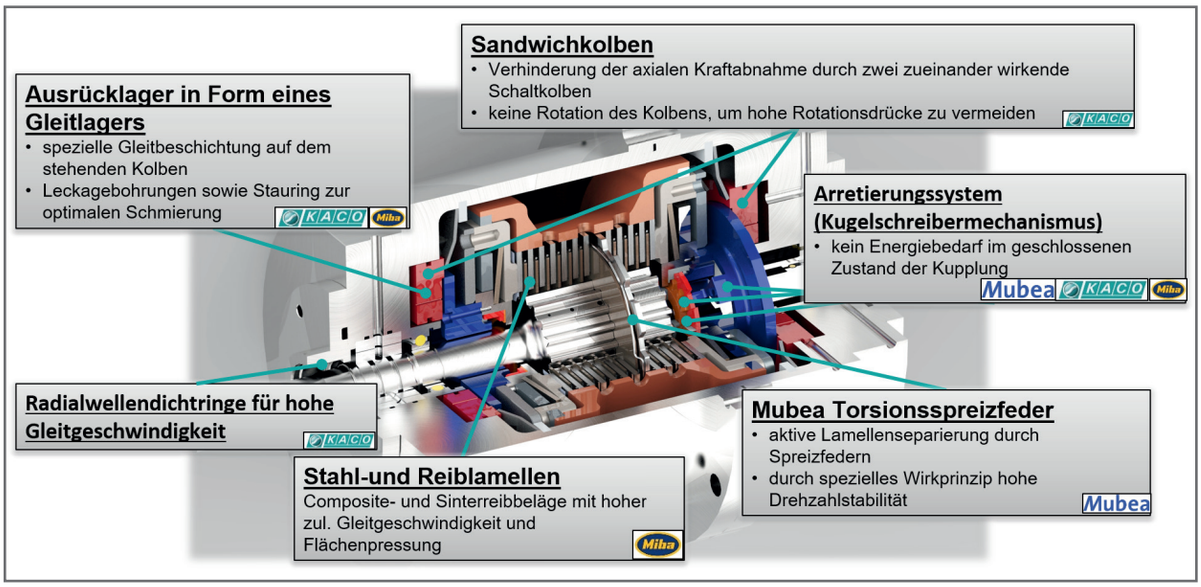
Schaltbare Hochdrehzahlantriebe bieten für E-Fahrzeuge das Potential, die Leistungsdichte des Antriebsstrangs zu steigern und die Reichweite und Fahrdynamik zu erhöhen. Die robuste Lastschaltfähigkeit über die Lebensdauer spielt dabei für die Nutzer auf Grund der Komfortanforderungen eine zentrale Rolle. Das IPEK entwickelt und validiert elektrifizierte Antriebssysteme und deren Komponenten. Beispielsweise forscht das IPEK am **Design von Hochdrehzahlgetrieben unter Nutzung von Leichtbau- und Verbundmaterialien** und optimiert und validiert diese hinsichtlich Verschleiß und NVH-Verhalten. Ein weiterer aktueller Forschungsschwerpunkt ist die Entwicklung einer **reibschlüssigen Hochdrehzahlkupplung** in Form einer nasslaufenden Lamellenkupplung in Zusammenarbeit mit spezialisierten Komponentenlieferanten. Dabei ermöglicht eine Arretierung des Lamellenpakets minimale Aktuierungs- und Kontaktzeiten des Schaltkolbens mit den Lamellen und damit eine energiearme Betätigung. Die innovative Konstruktion ist zur Patentanmeldung eingereicht und wird in einer Kupplung auf dem Prüfstand validiert und weiterentwickelt. Die innovativen Sandwichkolben ermöglichen zudem einen minimalen Anpresskraftverlust bei einer großen Lamellenanzahl, die



durch den geringen Durchmesser auf Grund der hohen vorherrschenden Fliehkräfte bedingt ist.
Sowohl durch die langjährige Erfahrung in der Forschung an tribologischen Systemen, als auch durch modernste Prüfstände für konventionelle, elektrifizierte und elektrische Antriebssysteme bzw. -komponenten, ist das IPEK in der Lage solche Systeme zu entwickeln, direkt zu validieren und daraus neue Entwicklungsimpulse abzuleiten. Unter Nutzung des IPEK-XiL-Ansatzes werden zunächst Teilsysteme hinsichtlich ihrer prinzipiellen Funktionalität validiert, Designoptimierungen auf Basis der Versuche synthetisiert und schließlich im Gesamtsystem unter realer Beanspruchung und der Simulation des Restsystems validiert.

Sie suchen nach einem Partner für die Entwicklung und Validierung technischer Systeme für den Einsatz in elektrifizierten und hochdrehenden Antriebssträngen? Melden Sie sich bei:

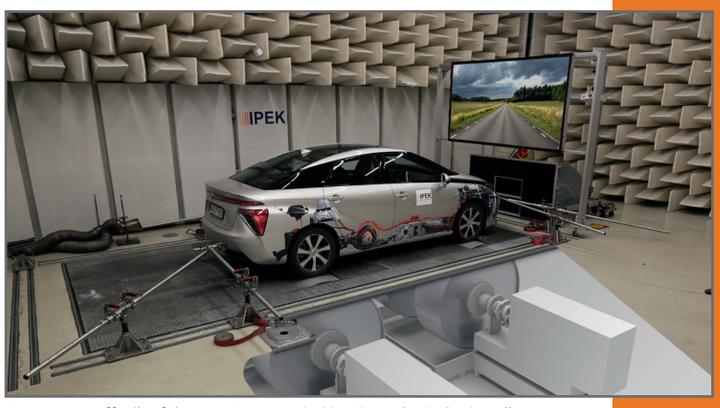
Ansprechpartner:
Sascha Ott
Tel.: +49 721 608-43681



Initiales 3D Modell der Hochdrehzahlkupplung

Brennstoffzellenfahrzeuge zwischen Fahrkomfort und

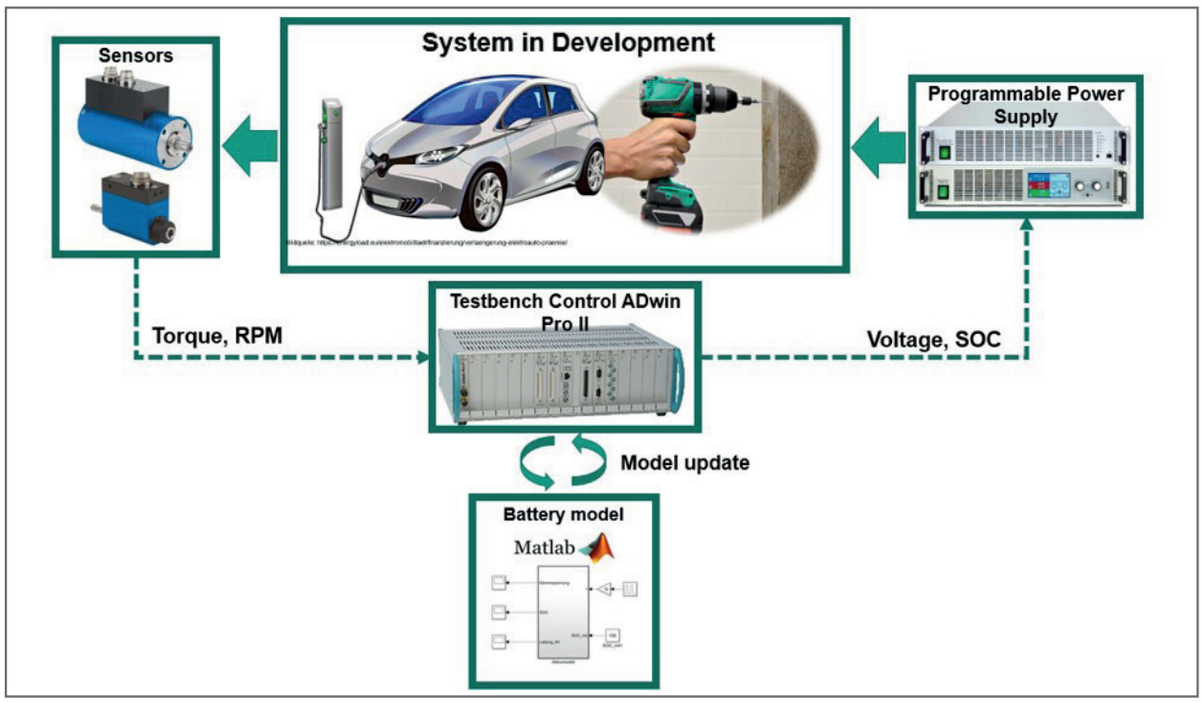
Das IPEK erforscht im Projekt **„MorEH2 – Methoden zur arbeitsteiligen räumlich verteilten Entwicklung von H2-Brennstoffzellenfahrzeugen in Kooperation mit China“** Validierungsmethoden und -umgebungen für das Antriebssystem von Brennstoffzellenfahrzeugen, die eine Verteilung des Validierungsprozesses auf verschiedene Standorte ermöglichen. Hierdurch können Technologieentwicklungen auch unabhängig von verschiedenen Partnern erfolgen und gezielt zusammengeführt werden. Durch den Fokus auf Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeuge im laufenden Forschungsprojekt werden am IPEK Kompetenzen in den Entwicklungsmethoden neuer Antriebssysteme mit fachlicher Expertise in einer Technologie, welche einen großen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen leisten kann, verbunden. Im Rahmen des Projekts werden einerseits bestehende Entwicklungsansätze durch die KaSPro um die für Brennstoffzellenfahrzeuge relevante Spezifika erweitert. Andererseits werden Methoden zur **Optimierung von Brennstoffzellenantriebssystemen für mobile Anwendungen** erarbeitet. Die hierdurch gesteigerte Komplexität des Antriebssystems erfordert den Einsatz optimierter Betriebsstrategien, welche mit Hilfe virtueller und physisch-virtueller Validierungsmethoden auf Basis des IPEK-XiL-Ansatzes entwickelt werden. So werden beispielsweise durch Adaption des Antriebssystems mit einem geeigneten elektrischen Energiespeicher Schwächen der Brennstoffzelle, wie das Kaltstartverhalten und eine geringe Dynamik, kompensiert und Funktionen zur Verbesserung von Effizienz, Fahrleistung und NVH-Verhalten ermöglicht. In weiteren Projekten führt das IPEK an Komponenten und Teilsystemen von Brennstoffzellen unter anderem thermomechanische Strukturoptimierungen durch und forscht somit mit seinen Partnern an unterschiedlichen Fragestellungen – vom Komponentendetail bis zum gesamten Antriebssystem.



Das Brennstoffzellenfahrzeug Toyota Mirai in einer physisch-virtuellen Validierungsumgebung

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371

Batteriemodelle: Vom Power-Tool bis zum automobilen Antriebsstrang

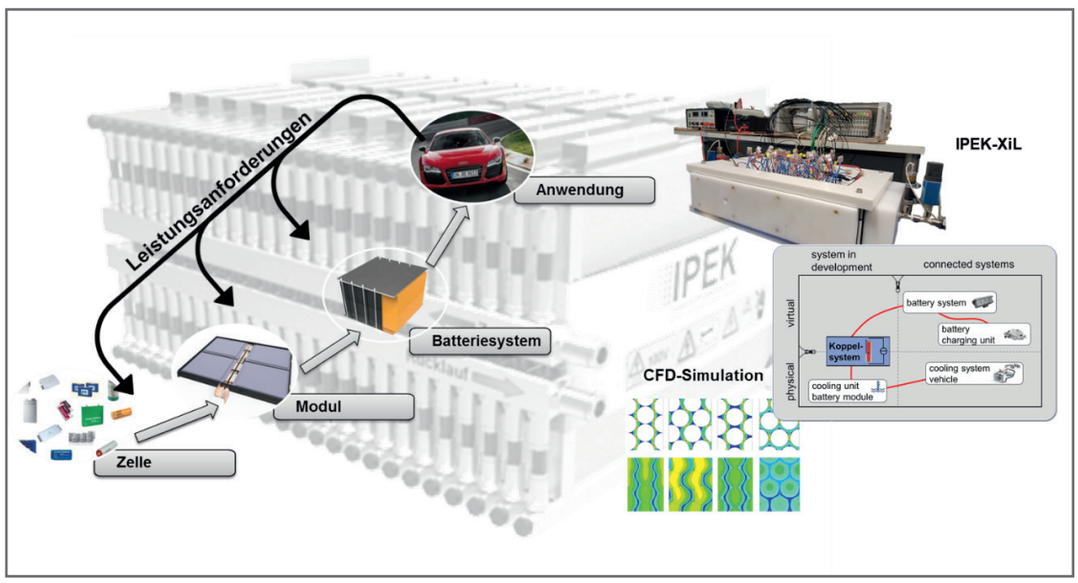


Schematische Darstellung der Testumgebung zur Validierung von Batteriesystemen in technischen Systemen

Um alternative Antriebe mit Batteriesystemen robust und sicher entwickeln zu können, müssen die Wechselwirkungen innerhalb des Antriebssystems und die Interaktion mit der Umwelt berücksichtigt werden. Hierzu sind virtuelle Modelle oder physische Prototypen von Batterien notwendig.
Der IPEK-X-in-the-Loop-Ansatz ermöglicht eine entwicklungsbegleitende Validierungskette unter Berücksichtigung der antriebssystemischen Wechselwirkungen und des Umwelteinflusses. Unter Einsatz unserer Antriebssystem- und Komponentenprüfstände validieren wir mit **echtzeitfähigen Batteriemodellen** das Antriebssystemverhalten in unterschiedlichen Leistungsklassen.
Zur Validierung des thermischen Verhaltens von Batteriesystemen in der frühen Entwicklungsphase entwickeln wir bedarfsgerechte virtuelle und physische Thermomodelle von Batteriezellen.
Gemäß des IPEK-X-in-the-Loop-Ansatzes wird durch einen experimentellen Abgleich zwischen dem virtuellen Modell und der physischen Batteriezelle eine Verifikation des Batteriemodells gewährleistet. Dadurch können Eigenschaften – wie zum Beispiel die relevanten Aspekte unterschiedlicher Batteriezellen – schnell, effektiv und effizient berücksichtigt und die Wechselwirkungen im Antriebssystem abgesichert werden.
Auf dieser Basis können wir Sie bei der Entwicklung und Optimierung von batteriebasierten Antriebssystemen, Batteriesystemen sowie thermischen Batteriemodellen unterstützen. Selbstverständlich sind wir auch Ihr Partner zu Fragen der Validierung und Absicherung batteriebasierter Antriebssysteme.

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371

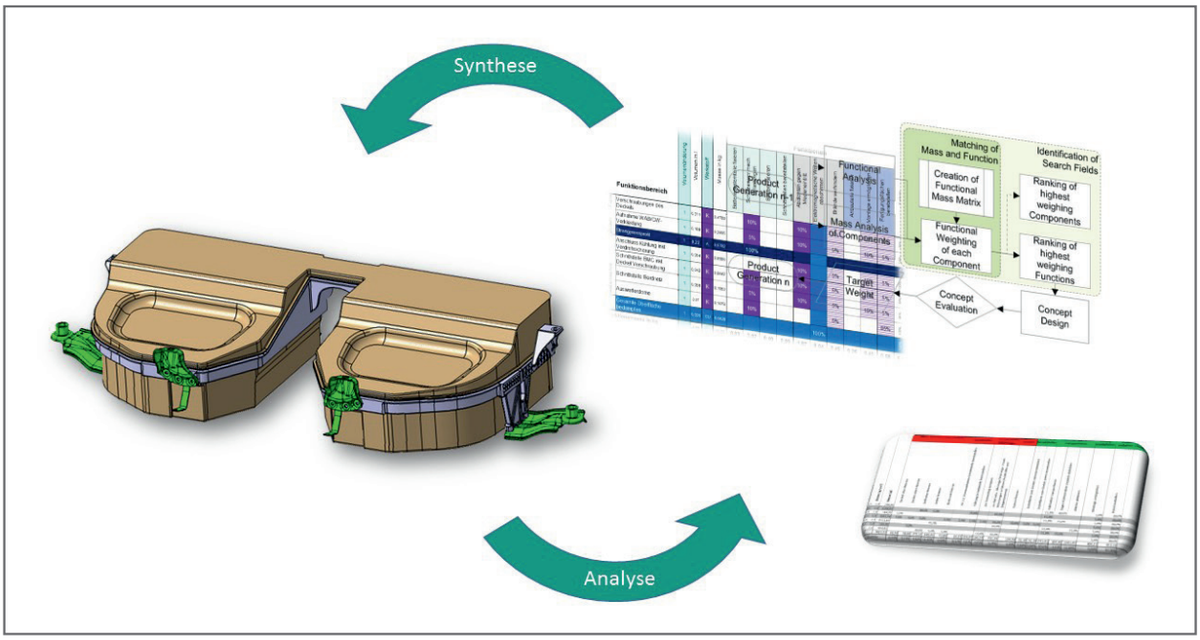
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Sven Matthiesen
Tel.: +49 721 608-47156



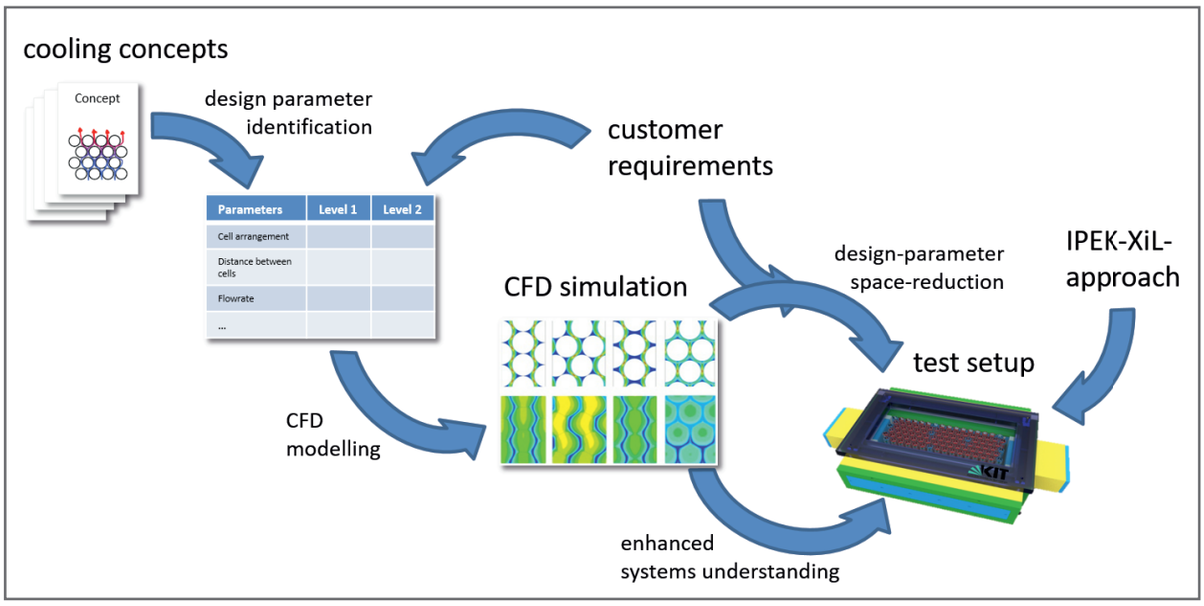
Leichtbau-Batterien für die Elektromobilität

Im Rahmen des Förderprogramms "Leichtbau Innovation Challenge" forscht das IPEK zusammen mit einem lokal ansässigen KMU an einem neuartigen Batteriesystem. Ziel ist, das **Leichtbaupotential eines Batteriesystems** auf Basis der aktuellen Entwicklungsgeneration unter Berücksichtigung weiterer Kriterien zu heben. Hierfür werden am IPEK entwickelte Methoden zur Erkennung und Hebung vorhandener Potentiale angewandt, um zusammen mit dem Unternehmen die nächste Entwicklungsgeneration zu designen.
Eine der eingesetzten Methoden ist der am IPEK entwickelte Target Weighing Ansatz (TWA). Dieser ermöglicht die strukturierte und gesamtheitliche Erarbeitung von Systemverständnis, sowie die Identifikation des existierenden Leichtbaupotentials auf Systemebene, welches sich über die Teilsysteme verteilt. Aufbauend auf dem gewonnenen Verständnis entwickeln wir zusammen mit dem Unternehmen neue Konzepte und arbeiten diese aus. Unter Betrachtung von Werkstoffen, Fertigungsverfahren und unter Einbezug relevanter Randbedingungen werden das Gesamtsystem und die einzelnen Komponenten hinsichtlich Masse und Kosten optimiert. Zum Einsatz kommen hierbei Optimierungs- und Simulationstools aus den Bereichen der Struktur- und Strömungsmechanik, sowie physische Tests zur Absicherung des Thermomanagements.
Durch Bündelung der Kompetenzen aus den Forschungsbereichen methodengestützte Produktentwicklung, Antriebsystemtechnik und CAE unterstützen wir unsere Kunden in der Entwicklung, Optimierung und Validierung neuer Antriebssystemelemente.

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371



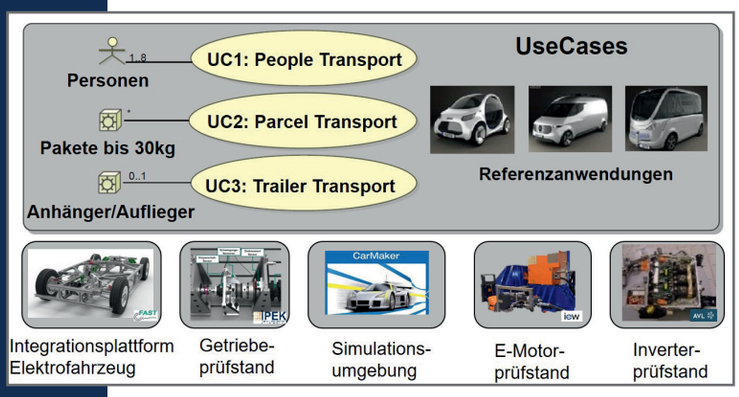
Darstellung des Target Weighing Approach als Werkzeug im Systemleichtbau



Validierungsprozess eines Batterie-Temperiersystems

Neue Methoden zur Zuverlässigkeitssteigerung von hochautomatisierten elektrischen Fahrzeugen (SmartLoad)

Hochautomatisierte Fahrzeuge stellen insbesondere die Validierung vor komplexe Aufgaben. Klassische Methoden beruhen im Kern auf der Absicherung der Bauteilsicherheit und einfach umzusetzenden Tests. Diese können insbesondere unter Berücksichtigung funktionaler Anforderungen aufgrund der hohen Systemkomplexität und den Wechselwirkungen von technischen Systemen und Umgebung nicht effizient genutzt werden. Durch die interdisziplinären Fragestellungen verändern sich im Zuge der Automatisierung die Anforderungen und Belastungen bereits im Bereich der Mechanik signifikant.

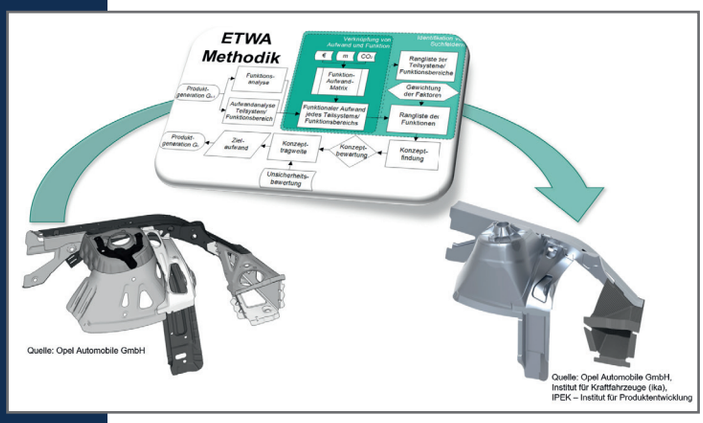


Anwendungsfälle und vernetze Prüfstandsumgebung im Projekt SmartLoad

Hierbei kann nicht mehr direkt auf Nutzungs- und Beanspruchungsprofile aus vergangenen Anwendungen zurückgegriffen werden. Ziel der Forschung am IPEK ist es daher neue Methoden zu untersuchen, um die Validierung der technischen Teilsysteme auch in Kombination mit den hochautomatisierten Fahrfunktionen frühzeitig und effizient zu ermöglichen. Diese Themen werden unter anderem im BMBFgeförderten Projekt SmartLoad in Zusammenarbeit mit Industriepartnern untersucht. Die modellbasierte Systementwicklung trägt wesentlich zur Identifikation und Nachvollziehbarkeit von Abhängigkeiten von bspw. Use Case und Validierungsziel bei. Kollektivbasiertes Testen wird durch szenarienbasiertes Testen erweitert. Mit dem Anspruch agiler Entwicklungsansätze sind dynamische Iterationen zu erwarten, denen durch Vernetzung verschiedener Validierungsumgebungen an unterschiedlichen Standorten Rechnung getragen wird. Am IPEK werden Getriebeuntersuchungen mit einem Demonstratorfahrzeug und einem Batterieprüfstand in Stuttgart gekoppelt. Dies ermöglicht eine flexibel nutzbare Validierungsumgebung, bei der die Kompetenzen und Infrastrukturen der Partner direkt genutzt werden können. So lassen sich frühzeitig Beanspruchungen, welche aus der automatisierten Nutzung von Fahrzeugen und damit verbundenen intra- und intersystemischen Wechselwirkungen resultieren, hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Teilsystem und Komponentenebene szenarienbasiert untersuchen. Wollen auch Sie ihre Kompetenz in der effizienten Validierung von hochautomatisierten Systemen ausbauen? Wollen Sie automatisierte Systeme effizient und durchgängig testen?
Dann sprechen Sie uns an.

Ansprechpartner:
Univ.Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 60842371

Erweiterter Target Weighing Ansatz – Ein Ansatz zum Systemleichtbau für neue Produktgenerationen



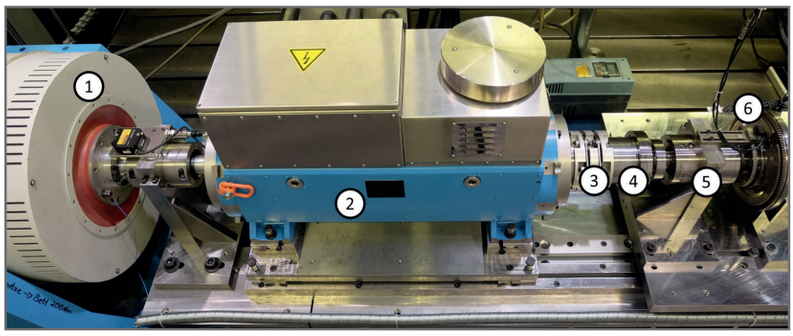
Leichtbaulösung eines Federbeindoms unter Einhaltung ökonomischer und ökologischer Entwicklungsziele

Bei batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) besteht ein Zielkonflikt von Batterieleistung und Fahrzeuggewicht. Eine der anspruchsvollsten Aufgaben für OEMs und deren Zulieferer ist hier, die Leichtbaulösungen bezahlbar zu gestalten. Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Dabei muss eine Betrachtung über den gesamten Produktlebenszyklus („from cradle to grave") stattfinden. Aus den genannten Gründen haben sich die 18 Partner (6 führende europäische OEMs, 4 Zulieferer und 8 Wissenspartner) des EUProjekts ALLIANCE zum Ziel gesetzt, ökonomische und ökologische Leichtbaulösungen zu entwickeln. Hierzu wird auch ein methodisches Vorgehen für zukünftige Entwicklungen benötigt. Das IPEK entwickelt hierzu den Erweiterten Target Weighing Ansatz zur Identifikation und Evaluation von Leichtbaupotentialen. Dieser konzentriert sich auf die Gewichtsreduzierung auf Basis einer Funktionsanalyse. Beruhend auf der Masse, den Kosten und den CO_2-Emissionen pro Funktion werden Suchfelder für Leichtbaupotentiale abgeleitet, die im Folgenden mit neuen Konzepten adressiert werden. Innerhalb des Projektes war es möglich, neue Konzepte für einen Federbeindom und einen Längsträger zu entwickeln, die die Projektziele von 22% Masseersparnis bei Mehrkosten von maximal 3€ pro eingespartem Kilogramm und gleichzeitiger Reduktion der CO_2-Emissionen um 6% erreichen. Leichtbau ist für Sie ebenfalls ein wichtiges Entwicklungsziel und Sie möchten sich diesem Thema über einen methodischen Systemleichtbauansatz nähern? Sprechen Sie uns an!

Ansprechpartner:
Univ.Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers

Validierungsumgebung zur gekoppelten axial/radialen Schwingungsanregung am PKW Antriebsstrang

Die Schwingungsphänomene in modernen Fahrzeugantriebsträngen werden zunehmend vielseitiger und ausgeprägter. Ursachen dafür sind steigende Ladedrücke, sinkende Zylinderanzahlen und komplexe Integrationen von Elektromotoren in Hybridanwendungen. Bisherige Validierungsumgebungen können diese Anregungen nur über reale Motorprüfstände abbilden. Dies ist kostenintensiv und eine unabhängige Einstellung der Anregungsarten kann nicht realisiert werden. Das IPEK hat eine neue Validierungsumgebung entwickelt und aufgebaut, die rotative und axiale Anregung überlagert und frei parametrierbar auf den Prüfling aufbringen kann. Diese neue Umgebung ermöglicht, verschiedenste Phänomene nachzubilden und so eine Teilsystemvalidierung anstatt im Gesamtfahrzeug bereits am Prüfstand durchzuführen. Diese Überlagerungen werden durch eine patentierte Motorbauart mit einem als Hohlwelle ausgeführten Rotor ermöglicht. In einer Machbarkeitsstudie wurde die Anregung von Kurbelwellenbiegeschwingungen auf eine ZMS

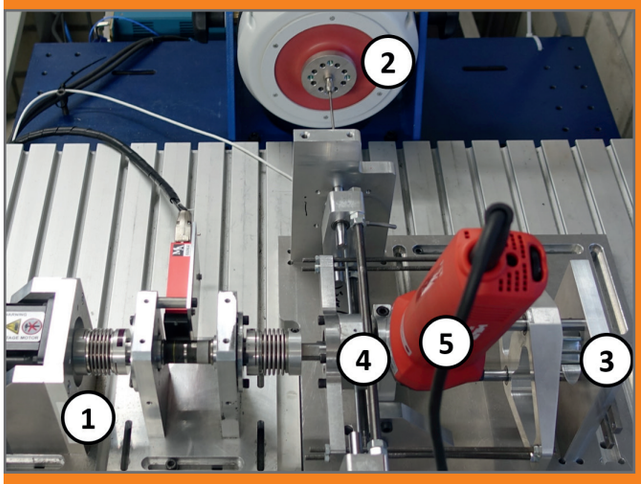


Primärschwungmasse im simulierten VKM-Betrieb untersucht. Oben ist der genutzte Aufbau mit der Primärschwungmasse (6) zu sehen. Links im Bild (1) ist ein Shaker, der die Axialkraft erzeugt, zu sehen. Diese Axialkraft wird mittels einer Vollwelle innerhalb des Synchronmotors (2) über spezielle Übertragungselemente (35), welche eine Überlagerung der Axialkräfte und der Rotation realisieren, an die Komponenten übertragen. Hiermit ist es möglich, die resultierenden Anregungen des Verbrenners abzubilden und realitätsnah aufzuprägen. Hierdurch konnten verschiedene Schwingungsformen der Primärschwungmasse nachgewiesen werden. Sie möchten die Auswirkungen hochfrequenter Rotorschwingungen auch in axialer Richtung analysieren? Sie möchten den in Deutschland einzigartigen Aufbau nutzen, um komplexe Anregungen in Ihrem technischen System zu untersuchen? Sie möchten beispielsweise Lamellentaumeln in Hochdrehzahlanwendungen analysieren? Melden Sie sich bei:

Ansprechpartner:
Univ.Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 60842371

Validierungsumgebung zur gekoppelten Schwingungsanregung am Power-Tool Antriebsstrang

Hochdynamische Kräfte und Momente, wie sie beispielsweise zwischen Werkstück und Schleifscheibe am Winkelschleifer entstehen, haben großen Einfluss auf die Dynamik, die Funktion und auf den Verschleiß im Antriebsstrang. Deshalb ist es bereits frühzeitig notwendig, die Schwingungsphänomene im Antriebsstrang zu untersuchen, um diese Dynamik entsprechend in der Konstruktion berücksichtigen zu können. Am IPEK wird im Rahmen eines IGF Vorhabens eine Validierungsumgebung entwickelt, die es ermöglicht, radiale, axiale und rotatorische Schwingungsanregungen aufzuprägen. Ziel der Validierungsumgebung ist die Abbildung der im realen Einsatz gemessenen hochdynamischen Interaktion am Antriebsstrang eines Winkelschleifers.



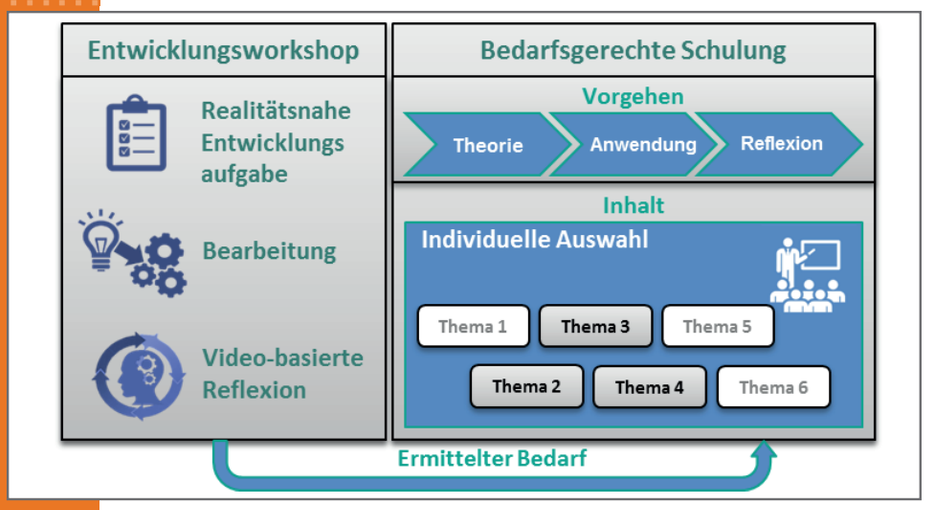
Links ist die Validierungsumgebung abgebildet: Über einen Servomotor (1) wird das Drehmoment und über zwei Shaker werden die Radialkraft (2) und die Axialkraft (3) über ein Übertragungselement (4) auf den Antriebsstrang des Winkelschleifers (5) aufgeprägt. Gleichzeitig sorgt die Konstruktion für eine Entkopplung der unterschiedlichen Kraftrichtungen. Die gezielte Einstellung verschiedener Anwendungen (Trennen, Schruppschleifen, ...), Schleifmittel (Keramik, Zirkonkorund, ...), Geräteunterschiede (BLDC oder Universalmotor, Drehzahlregelung, ...) und Betriebspunkte ermöglicht das Ermitteln der Zusammenhänge und Einflüsse auf die Schwingungsphänomene. Somit können bereits bei Prototypen und Vorserien im Produktentwicklungsprozess Erkenntnnisse zu Schwingungsphänomenen, die in unterschiedlichen Anwendungen auftreten, gewonnen werden.
Sie suchen nach einem Partner für die Entwicklung und Validierung technischer Systeme unter dem Einfluss mehrdimensionaler Anregung? Melden Sie sich bei:

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Sven Matthiesen
Tel: +49 721 608-47156

Individualisierte Schulungen im Entwicklungssimulator – Schulungsbedarfe erheben, erkennen und bedienen

Klassische Schulungen scheitern häufig daran, dass die Inhalte nicht individuell vermittelt werden, die Teilnehmer die Relevanz des Schulungsinhaltes dadurch nicht erkennen und so die Inhalte nicht im Alltag umgesetzt werden. Am IPEK haben wir deshalb einen interaktiven Ansatz entwickelt, der einen Entwicklungsprozess vom Produktprofil bis zum testbaren Prototyp verkürzt abbildet, um den individuellen Schulungsbedarf schnell zu identifizieren – den Entwicklungssimulator.

Gemeinsam mit der Firma LIEBHERR Aerospace wurden am IPEK Workshops mit den für die KonstrukteurInnen aus dem Unternehmen realitätsnahen Entwicklungsaufgaben durchgeführt. Durch Rapid-Prototyping werden dabei konstruktive Ideen direkt umgesetzt, was eine Überprüfung der Funktionserfüllung des entwickelten Produkts ermöglicht. Während die IngenieurInnen im Workshop den gesamten Prozess vom Produktprofil bis zur Inbetriebnahme des Produkts durchlaufen, erleben sie verschiedenste Problemsituationen. Eigene Probleme aus diesen Situationen zu erkennen ist schwierig, weshalb das Vorgehen der Teilnehmer parallel durch eine Videodokumentation festgehalten wird. Anhand dieser Dokumentation werden durch eine geführte Reflexion die Schulungsbedarfe mit den Teilnehmern erarbeitet. Diese adressieren wir anschließend passgenau durch eine Schulung von Methoden zur Entwicklung und Konstruktion, die in einem Praxisteil angewandt werden. Das interaktive Design des Entwicklungssimulators und die Reflexion des eigenen Vorgehens verbessern die Auswahl an Schulungsinhalten und erhöhen die Akzeptanz für die vermittelten Methoden und verankern diese dadurch nachhaltig im Kopf und im Alltag der Teilnehmer. Möchten Sie ihr Methoden-Repertoire zielgerichtet und nachhaltig erweitern? Sprechen Sie uns gerne an und nehmen an einem Entwicklungssimulator teil!

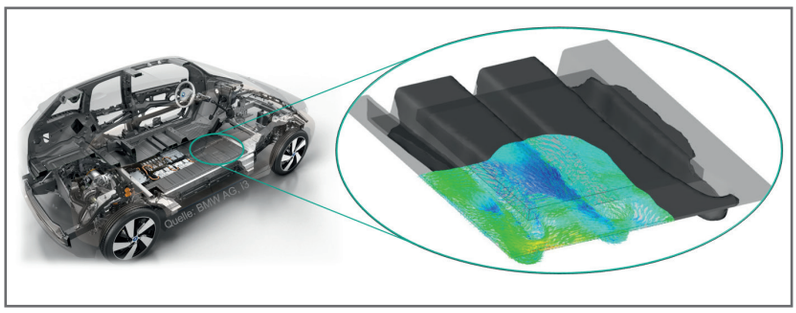


Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Sven Matthiesen
Tel: +49 721 608-47156

Sickenoptimierung langfaserverstärkter Kunststoffbauteile

Faserverstärkte Kunststoffe finden durch ihre hohen spezifischen Steifigkeiten und Festigkeiten häufig Anwendung in Leichtbaukonstruktionen. Im Flugzeugbau werden sie bereits standardmäßig eingesetzt, aber auch in anderen Industriezweigen wird zunehmend mehr darauf zurückgegriffen. Dabei wird das Ausnutzen der Faserorientierung und damit des anisotropen Materialverhaltens immer besser verstanden. Durch geometrische Versteifungen wie Sicken oder Rippen kann die Steifigkeit der Bauteile weiter erhöht werden.

Allerdings beeinflussen Rippen und Sicken die resultierenden Orientierungen der Fasern und damit die erreichbare Festigkeit und Steifigkeit.
Um die Materialklasse der lang- und endlosfaserverstärkten Kunststoffe zu erforschen, hat die DFG das Internationale Graduiertenkolleg GRK 2078 eingerichtet. Im Projekt forschen 14 Doktoranden aus sechs KIT-Instituten gemeinsam mit sechs führenden kanadischen Universitäten. Nach einer ersten Förderperiode wurden die im Projekt entstandenen Fortschritte erfolgreich evaluiert und das GRK für weitere 4,5 Jahre verlängert. So können wir auch zukünftig weiter auf diesem Gebiet forschen.
Die für die Konstruktion mit dieser Materialklasse notwendigen Methoden und Prozesse zur Verfügung zu stellen, ist ein wichtiges Forschungsziel am IPEK. Bereits heute können auf Basis von gekoppelten Simulationen Einflüsse aus der Herstellung (wie die Faserorientierungen) bei der automatisierten Gestaltfindung berücksichtigt und damit in der realen Produktentwicklung nutzbar gemacht werden.
Wenn auch Sie die Potentiale faserverstärkter Kunststoffe durch die Kopplung von Prozesssimulation und Gestaltoptimierung für Ihre Konstruktion voll ausnutzen möchten, dann sprechen Sie uns an!



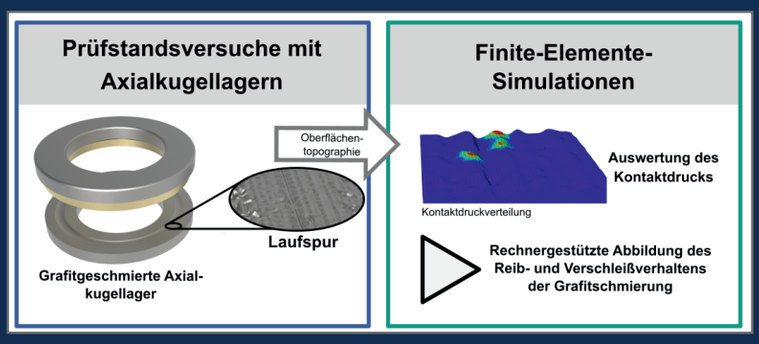
Anwendungsmöglichkeit der gekoppelten Prozess- und Struktursimulation für faserverstärkte Kunststoffe

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371

Mechanismen der Grafitschmierung in Wälzkontakten

Der Energieverlust in Antriebssystemen wird erheblich durch das Reibungsverhalten in den eingesetzten Lagern bestimmt. Das Reibungsverhalten wird in erster Linie von der Last und der Drehzahl beeinflusst, aber auch Randbedingungen, wie Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit oder das Schmiersystem haben teils starken Einfluss auf die Effizienz von Antriebssystemen. Festschmierstoffe können gegenüber herkömmlichen Fett- und Ölschmierungen in anspruchsvollen Betriebsbedingungen – wie z.B. bei hohen Temperaturen, hoher Luftfeuchtigkeit oder Notwendigkeit von geringem Schmierstoffverlust – niedrige Reibungszahlen und ein stabiles Reibverhalten in Antriebssystemen erreichen. Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 2074 „Fluidfreie Schmiersysteme mit hoher mechanischer Belastung“ werden am IPEK zusammen mit dem IAM – Institut für Angewandte Materialien (KIT, Karlsruhe) und dem IWM – Institut für Werkstoffmechanik (Fraunhofer, Freiburg) Mechanismen der Grafitschmierung in Wälzkontakten untersucht. Das IPEK erforscht in dem Verbundprojekt die Simulation, Analyse und Validierung von grafitgeschmierten Axialwälzlagern. Mithilfe der Finite-Elemente-Methode wird ein grafitgeschmierter Reibkontakt modelliert, mit dem der Reibwert und die Verschleißrate der Grafitschmierung rechnergestützt bestimmt werden können. Die Ergebnisse der Simulationen werden auf dem IPEK-eigenen Axialwälzlagerprüfstand validiert, um die Aussagestärke des Modells für die Gestaltung grafitgeschmierter Lager abhängig vom Anwendungsfall sicherzustellen. Die virtuelle modelbasierte Beschreibung komplexer tribologischer Kontakte ist für Ihre Produktentwicklung ein möglicher Innovationstreiber? Wir sind gerne Ihr Partner!

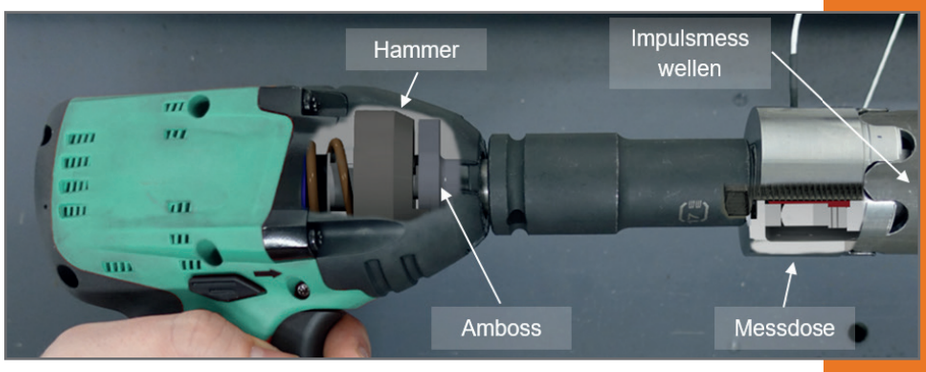
Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371



Prüfstandsversuch-basiertes Finite-Elemente-Modell

Reibmodelle zur Simulation und modellprädiktiven Regelung von impulsbasierten Schraubprozessen

Für die Entwicklung von Reibmodellen für die Simulation impulsbasierter Schraubprozesse ist die zeitgleiche Analyse von Schraubsystem, Schraubenverbindung und derer Wechselwirkungen notwendig. Basierend auf solchen Modellen können impulsbasierte Schraubsysteme besser ausgelegt und Schraubprozesse modellprädiktiv geregelt werden. Eine solche auf einem robusten Modell basierende Regelung ist für ein planmäßiges Vorspannen mit hoher Prozesssicherheit notwendig.
Die Abbildung der Reibung ist eine besondere Herausforderung. In systemspezifischen Reibmodellen müssen die Einflüsse und Randbedingungen von System und Umwelt berücksichtigt werden.
Für die Entwicklung solcher Modelle wird am IPEK der Schrauben-Tribologie-Prüfstand (STP) eingesetzt. Er ermöglicht die Untersuchung des kompletten Schraubsystems, bestehend aus Schraubverbindung, Power-Tool und Anwender. Die von uns installierte Winkelmesstechnik im Schlagschrauber-Antriebstrang aus optischer Sensorik und einem speziell entwickelten Auswertealgorithmus erfüllt die hohen Anforderungen an Dynamik, Genauigkeit und Robustheit.
Anhand der aufgezeichneten Messdaten kann sowohl das Verhalten des Schraubsystems und der Schraubenverbindung, als auch die Wechselwirkung zwischen diesen untersucht werden.
Basierend darauf kann ein systemspezifisches Reibmodell für die Schraubenverbindung entwickelt werden und das Schraubsystemmodell parametrisiert werden. Durch eine Kopplung dieser Modelle entsteht ein Gesamtmodell, welches zur Simulation und zu modellprädiktiven Regelungen genutzt werden kann.
Gerne unterstützen wir Sie bei der Modellbildung von Schraubsystemen. Sprechen Sie uns bitte an!



Schlagschrauber und Messdose des Schrauben Tribologie Prüfstands (STP) zur getrennten Messung von Unterkopf- und Gewindereibung

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Sven Matthiesen
Tel: +49 721 608-47156

Digitalisierung von Power-Tools – Intelligente Antriebssysteme durch Machine-Learning und Cloud-Anbindung

Die Entwicklung von intelligenteren Produkten wird nicht zuletzt durch immense Fortschritte in den Bereichen künstlicher Intelligenz und Sensorentwicklung vorangetrieben. Auch in der Power-Tool Branche werden Innovationen immer stärker durch die Digitalisierung getrieben. Intelligentere Power-Tools helfen zum Beispiel Anwendern komfortabler zu arbeiten, oder genormte Arbeitsschritte automatisiert zu dokumentieren. Andererseits ermöglichen sie Herstellern von Power-Tools mehr Wissen über die eigenen Produkte und deren Anwendung zu generieren, um damit neue Dienstleistungen sowie einen verbesserten Kundenservice anzubieten und auf der Basis geeignete Nachfolgegenerationen zu entwickeln.

Das IPEK – Institut für Produktentwicklung forscht an Methoden zur Entwicklung von intelligenten Regelungen für Power-Tools durch Machine-Learning-Algorithmen. Des Weiteren wird erforscht, wie die geeignete Speicherung und Aufbereitung der internen Gerätedaten in Cloudanwendungen erfolgen und den Herstellern der Zugang ermöglicht werden kann.

Im Zuge dieser Forschung ist im September 2019 ein BMBF-Verbundvorhaben mit zwei Forschungspartnern und vier Industriepartnern unter der Leitung des IPEK gestartet. Dieses hat das Ziel, Power-Tools zu intelligenten Assistenten weiterzuentwickeln. Die Integration von Power-Tools in ein digitales Ökosystem soll den Anwender vollumfassend unterstützen und vor Fehlbedienungen schützen. Hierzu wird der Anwender sowohl virtuell angeleitet, als auch bei der Handhabung des Power-Tools unterstützt. Das Power-Tool stellt seine Betriebsparameter automatisch auf die Vorgabe aus einer zentralen Cloud ein. Die in der Anwendung generierten Messdaten werden zurück an die Cloud gesendet und mit Machine-Learning-Algorithmen für die weitere Optimierung von Regelungsparametern genutzt.

Kommen Sie gerne auf uns zu, wenn Sie Interesse an Produktdigitalisierung haben. Gemeinsam mit Ihnen machen wir Ihre Systeme intelligenter.

Beispielhafte Darstellung einer Cloudauswertung des Bohrprozesses eines Akkuschraubers.

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Sven Matthiesen
Tel.: +49 721 608-47156

Standortverteilte Produktentwicklung – Zum Erfolg braucht es mehr als nur Technik

„Hallo? Können Sie mich hören?“ – ist nur ein Beispiel für einen nicht ungewöhnlichen Beginn eines standortverteilten Meetings. Die globale Wertschöpfung zahlreicher Unternehmen führt dazu, dass Entwicklungsteams vermehrt von unterschiedlichen Standorten aus zusammenarbeiten. Dieser organisationale Wandel bringt jedoch Herausforderungen mit sich, auf die viele Unternehmen zurzeit noch nicht reagieren: eine unzureichende Ausstattung virtueller Arbeitsumgebungen sowie fehlende situations- und bedarfsgerechte Entwicklungsmethoden sind nur zwei der vielen Verbesserungspotentiale.

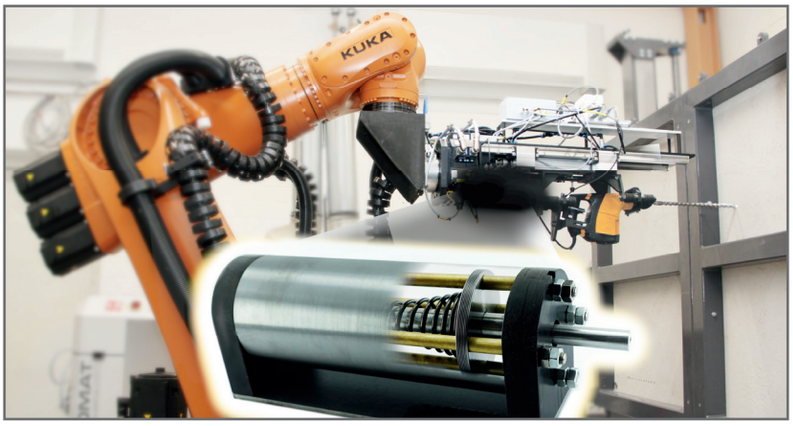
In Zusammenarbeit mit einem Partnerunternehmen hat das IPEK einen Ansatz entwickelt, um basierend auf den individuellen Arbeitsweisen im jeweiligen Unternehmen Verschwendungen in der standortverteilten Produktentwicklung zu reduzieren. Dazu werden systematisch Verbesserungspotentiale aufgedeckt, die mithilfe einer Verlustrechnung priorisiert werden. Zur Hebung der Potentiale werden gemeinsam Maßnahmen definiert und ausgewählt. Bei der Umsetzung richtet der entwickelte Ansatz den Fokus darauf, dass für eine erfolgreiche Implementierung der Maßnahmen jederzeit die Aspekte Technik, Organisation und Mensch adressiert werden müssen. So ist für die erfolgreiche Einführung neuer technischer Systeme stets die integrierte Betrachtung und Miteinbeziehung der Organisation und der einzelnen vom Wandel betroffenen Menschen, als Zentrum der Produktentstehung, notwendig.

Arbeitet auch Ihr Entwicklungsteam standortverteilt und möchten auch Sie Verschwendungen in der standortverteilten Produktentwicklung reduzieren? Sprechen Sie uns an!

Zitate zu Beginn standortverteilter Meetings (links) und Darstellung einer verbesserten standortverteilten Zusammenarbeit (rechts) (Quelle: https://solutions.hamburg/agilitaet-verteilung-mit-lego-erleben-gastbeitrag)

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Dr. h. c. Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371

Einstellbare Dämpfung und Steifigkeit für dynamische Validierung und Verifikation



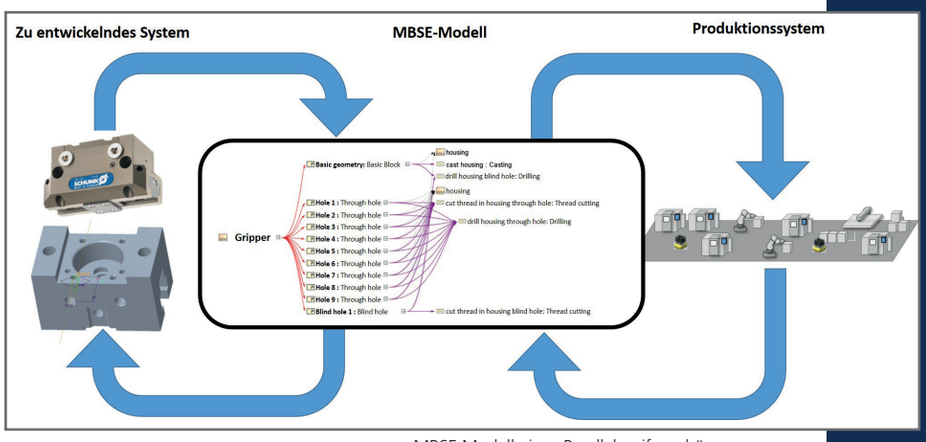
Prototyp eines anpassbaren Impedanzelements zur Abbildung der Schwingungseigenschaften des Menschen auf dem Prüfstandes

In der Validierung und Verifikation von Systemen auf dynamischen Prüfständen ist die anwendungsnahe Modellierung von funktionsrelevanten mechanischen Größen eine Herausforderung. Zu diesen Größen zählen beispielsweise die Anbindungssteifigkeit und Dämpfung des Systems.
In Kooperation mit der TU-Hamburg und ETH-Zürich erforschen wir zu diesem Zweck anpassbare mechanische Impedanzelemente für den Einsatz in XiL-Prüfständen. Anpassbare Impedanzelemente ermöglichen eine gezielte Abstimmung der Prüfstanddynamik im Betrieb und bestehen aus einstellbaren Steifigkeits- und Dämpfungsmechanismen. Die Elemente dienen als Koppelsystem zwischen Prüfstand und Prüfling und ermöglichen die Simulation variierender Einsatzbedingungen. Dies ist vor allem dann relevant, wenn aktive Regelungssysteme zu langsam oder kostenintensiv sind. Im Rahmen des Projektes wird dabei das Potential von anpassbaren Impedanzelementen in der dynamischen Validierung und Verifikation von Flugzeugkomponenten und der Hand-Arm Modellierung für die Validierung von Power-Tools untersucht. Beide Systeme zeichnen sich durch variierende Einsatzbedingungen aus, welche die Versuchstechnik vor Herausforderungen stellen. Zukünftig sollen Impedanzelemente jedoch nicht nur in der Prüftechnik, sondern auch im Produkt eingesetzt werden. Ein möglicher Einsatzbereich ist die adaptive Schwingungsentkopplung des Anwenders in Bohrhämmern.
Unabhängig davon, wie komplex und speziell Ihre Herausforderungen in der Modellierung und Anwendung von Koppelsystemen auf Prüfständen sind, unterstützen wir Sie gerne in der Entwicklung von technischen Systemen mit einstellbaren Dämpfungen und Steifigkeiten.

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Sven Matthiesen
Tel: +49 721 608-47156

(Model-Based) Systems Engineering (MBSE) für Industrie 4.0

Aktuell werden am IPEK im Projekt „I4TP – Deutsch-Chinesische Industrie 4.0 Fabrikautomatisierungsplattform“, modellbasierte Methoden erforscht, um die Entwicklung von Produkt und Produktionssystem stärker zu integrieren und gegenseitige Wechselwirkungen schneller und zuverlässiger zu identifizieren. In I4TP werden so beispielsweise die fertigungsrelevanten Bauteileigenschaften („Features“) des Gehäuses eines Parallelgreifers („Gripper“), modellbasiert beschrieben. Dieses Modell wird dann zu den ebenfalls modellbasierten Beschreibungen geeigneter Produktionsprozesse und Maschinen verknüpft. So können die zur Fertigung geeigneten Produktionssysteme und -prozesse identifiziert werden. Auf diese Weise kann die Planung eines geeigneten Produktionssystems bereits frühzeitig im Produktentstehungsprozess integriert werden. Es können Auswirkungen und Risiken von Änderungen und Lösungsalternativen abgeschätzt werden. Dies unterstützt ein agiles Vorgehen. Zusätzlich können mit Hilfe dieses Vorgehens die Zusammenhänge von Prozessdaten,



MBSE Modell eines Parallelgreifergehäuses

welche im Produktionsprozess durch Industrie 4.0 Technologien verfügbar gemacht werden, und spezifischen Bauteileigenschaften abgebildet und nachverfolgt werden. Daten aus der Produktion können so gezielt für die Entwicklung zukünftiger Produktgenerationen nutzbar gemacht werden. Das IPEK forscht zudem bereits aktiv im Bereich Advanced Systems Engineering (ASE). ASE nimmt den individuellen Entwickler mit seinen Bedarfen und Anforderungen noch stärker in den Fokus, um ihm in seinen Tätigkeiten im Produktentstehungsprozess zukünftiger (teil-)autonomer Systeme und Systems of Systems zu unterstützen.
Sie haben Interesse am Thema ASE, (MB)SE und modellbasiertem Arbeiten? Dann sprechen Sie uns an!

Ansprechpartner:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
Albert Albers
Tel.: +49 721 608-42371

Preise und Auszeichnungen

Abschlussarbeit von M.Sc. Jan Holoch und M.Sc. Sebastian Zimprich mit dem Dr.-Ing. Willy Höfler-Preis ausgezeichnet

Der Dr.-Ing. Willy Höfler-Preis für die besten Abschlussarbeiten 2018 in den Bereichen Produktentwicklung und Konstruktion wurde am 19.07.2019 im Rahmen des Fakultätsfestkolloquiums an Jan Holoch und Sebastian Zimprich verliehen. Ganz besonders freuen sich Professor Albers und Professor Matthiesen über die gleich zweifache Auszeichnung der, durch das IPEK – Institut für Produktentwicklung betreuten und dort angefertigten, Masterarbeiten.

Jan Holoch hat durch seine Abschlussarbeit die Forschungsarbeiten des IPEK im Bereich der Synthese von aus langfaserverstärkten Kunstoffen gefertigten Bauteilen vorangetrieben. Die Ergebnisse seiner Masterarbeit unterstützen den Produktentwickler in der frühen Phase des Produktdesigns durch den gezielten Einsatz simulativer Tools sowie deren Kopplung bei der Auslegung von im SMC-hergestellten Bauteilen, um deren erreichbare Materialeigenschaften bestmöglich auszunutzen

Sebastian Zimprich beschäftigte sich in seiner Masterarbeit mit der systematischen Bestimmung von bisher nicht messbaren Schleifkräften zwischen Werkzeug und Werkstück bei Winkelschleifern. In manuellen Handtests wurde die Belastung der Schleifscheibe hochfrequent erfasst, wodurch bisher nicht messbare Einflussparameter bezüglich des Scheibenverschleißes und der Vibrationsbelastung auf den Anwender quantitativ belegt und analysiert werden konnten.

Promotionen

- **Schmidt, Sebastian**
  Erweiterte Anwendungsfallmodellierung (e-AFM) – Ein Beitrag zur nutzerzentrierten Entwicklung von Power-Tools
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
- **Reuschlé, Thibault**
  Multi-objective optimization of plug-in hybrid powertrains / Multizieloptimierung von plug-in Hybridantriebssträngen
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
- **Koch, Christian**
  Eine Methode zur optischen Messung der Federbewegung in Torsionsdämpfersystemen
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
- **Gwosch, Thomas**
  Antriebsstrangprüfstände zur Ableitung von Konstruktionszielgrößen in der Produktentwicklung handgehaltener Power-Tools
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen

- **Schmid, Andreas**
  Beitrag zu rechnergestützten Methoden zur Leichtbaupotenzialerkennung in der Produktgenerationsentwicklung – Erkennung potenzieller Integral- und Differenzialbauweisen
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
- **Gladysz, Bartosz**
  Gestalt- und wirkzusammenhangbasierte Beschreibung von Fehlermechanismen für eine effektivere und effizientere Identifikation, Analyse sowie Nachvollziehbarkeit von Fehlerfolgen und -ursachen
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
- **Heitger, Nicolas**
  Methodische Unterstützung der initialen Zielsystembildung in der Automobilentwicklung im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
- **Butenko, Viktoriia**
  Approach to support knowledge transfer and decision making in product development with fibre-reinforced plastics through situation-specific design guidelines
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
- **Germann, René**
  Ein Beitrag zur störgrößenreduzierten Erfassung und Beurteilung der Anwendungseignung im Kontext der nutzerzentrierten Produktentwicklung von Power-Tools
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
- **Schille, Fabian**
  Methode zur generationsübergreifenden NVH-Optimierung des Wiederstartkomforts von Hybridfahrzeugen durch eine manöverbasierte Validierung auf dem Akustikrollenprüfstand
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
- **Reichert, Stefan**
  An approach to investigate surface roughness influence on the running-in behaviour of mixed-lubricated sliding contacts using the finite element method
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
- **Mangold, Sebastian**
  Erfassung heterogener passiver Anwendereigenschaften und deren Abbildung in einem einstellbaren Hand-Arm-Modell am Beispiel eines Impulsschraubers
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
- **Bruchmüller, Tim**
  Realitätsnahe und reproduzierbare Randbedingungen in der Vibrationsanalyse - Ein Ersatzuntergrund für elektropneumatische Bohrhämmer
  Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen

Sie haben Interesse an einem kostenlosen gedruckten Exemplar? Rufen Sie uns an.
Ansprechpartner:
Petra Müller (Sekretariat)
Tel: +49 721 608-42371

Veröffentlichungskennzahlen
■ 13 Journals ■ 78 Konferenzen (Peer-Review) ■ 8 sonstige Publikationen

Neu am IPEK

Sirui Chen
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
KtS
Januar 2019

Sebastian Helmstetter
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
GT
Mai 2019

Christoph Zimmerer
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
KM
September 2019

Yannik Weber
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
HVH/SV
Februar 2019

Sebastian Hünemeyer
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
EMM
Mai 2019

Nico Erbe
Auszubildender Industriemechaniker
Technische Dienste
September 2019

Leon Merkel
Auszubildender Elektroniker (EGS)
Technische Dienste
März 2019

Robert Renz
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
CAE/Optimierung
Juni 2019

Rüdiger Fehrenbacher
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
KtS
Oktober 2019

Claas Kürten
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
AST
April 2019

Sven Cortès
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
NVH
Juni 2019

Jürgen Wilwer
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
GT
November 2019

Marcel Nöller
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
AST
Mai 2019

Christoph Kempf
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
EMM
September 2019

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
Dipl.-Ing. S. Ott (Geschäftsführer)
Telefon: +49 721 608-42371
E-Mail: sekretariat@ipek.kit.edu
www.ipek.kit.edu

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

Herausgeber
Präsident Professor Dr.-Ing. Holger Hanselka
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
www.kit.edu
Karlsruhe © KIT 2019

Zertifikat seit 2010 audit familiengerechte hochschule

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier mit dem Gütesiegel „Der Blaue Engel"