



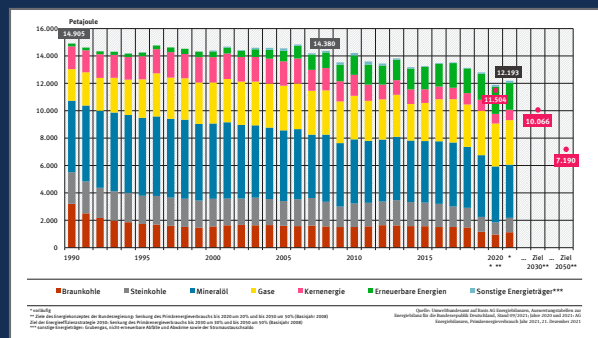
IPEK

Eine lebenswerte Zukunft braucht Forschung und Technik

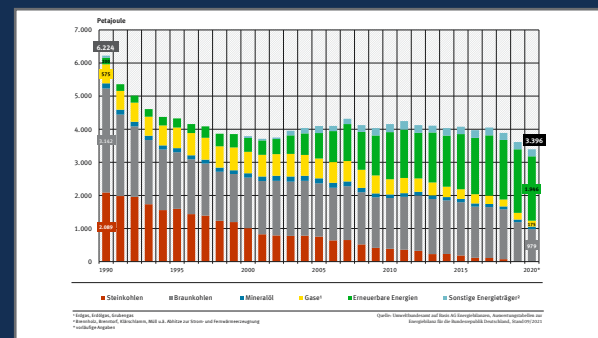


Liebe Leserinnen und Leser,

das Jahr 2022 hat uns sicherlich alle einen Schock versetzt. Etwas für mich – und sicherlich auch für Sie – Unvorstellbares ist geschehen: In Europa kommt es zu einem Krieg, in dem Menschen sterben und ganze Gebiete zerstört werden. Dies zeigt, wie letztendlich volatil und auch unvorhersagbar Zukunft ist. Wir Menschen müssen uns auf diese volatile Zukunft ausrichten und sie, aus meiner Sicht, aktiv gestalten. **Zur Gestaltung einer lebenswerten Zukunft braucht es zwingend Forschung und Technik.** Warum spreche ich dies an? Am 15. November 2022 haben die Statistiker uns mitgeteilt, dass unsere Erde nun von 8 Milliarden Menschen bewohnt ist. Im Jahre 2050 werden es 9,7 Milliarden sein. Von den 8 Milliarden Menschen leben sehr viele am Rande des Existenzminimums, ja, sie hungern. All diesen Menschen eine lebenswerte Zukunft zu geben, wird sicherlich bedeuten, dass wir in den wohlhabenden Regionen dieser Erde einen gewissen Verzicht realisieren müssen. Vor allem wird es aber notwendig sein, besonders durch **Forschung und Technik Lösungen** zu erarbeiten, um der ganzen Weltbevölkerung eine lebenswerte Zukunft zu gestalten und dabei gleichzeitig die Herausforderung anzunehmen, dies so zu tun, dass unsere Umwelt nicht weiter geschädigt wird. Ob das 1,5 °C-Ziel überhaupt noch erreichbar ist, kann ich nicht beurteilen. Dass wir aber alles tun müssen, um dieses Ziel anzustreben, ist unzweifelhaft. Wir müssen nachhaltige Lösungen schaffen, um Lebensqualität, zum Beispiel eine gesunde und ausreichende Ernährung, eine gute medizinische Versorgung, umfassende Bildung, eine gute Lebens- und Wohnsituation in den Städten und Regionen sowie nachhaltige Mobilität für jedermann zu realisieren. **Diese Herausforderung kann nur mit Forschung und Technik bestanden werden.** Wir sollten daher alle und überall in diese Richtung informieren und argumentieren.



<https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergieverbrauch#definition-und-einflussfaktoren>



<https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergiegewinnung-importe>

Warum ist das so wichtig? Wir beobachten in der jungen Generation, insbesondere hier in Deutschland, zum Teil eine Abwendung von Technik und Technologien. Beobachtbar ist dies durch den Rückgang der Studierendenzahlen in den MINT-Fächern und den fehlenden Auszubildenden in Handwerk und Industrie. Dies wird in den nächsten Jahren eine der großen Herausforderungen in unserer Gesellschaft und Wirtschaft sein, da wir möglicherweise **nicht mehr die richtig ausgebildeten jungen Menschen haben werden, um die Zukunftsfragen anzugehen.** Dass diese Zukunftsfragen eine große Herausforderung darstellen, möchte ich mit zwei Diagrammen des Umwelt-Bundesamtes klar machen. Sie sehen im linken Bild den Primärenergieverbrauch in Deutschland in seiner Entwicklung seit 1990 bis zum Jahre 2020. Man erkennt, dass wir in diesen 30 Jahren den Primärenergieverbrauch um etwa 14 % haben absenken können. Geplant ist von der Politik bis 2030 eine Reduktion um weitere 22 %. **Wie soll das gelingen ohne Technik?** Das rechte Diagramm zeigt die Primärenergieerzeugung in Deutschland. Trotz des beeindruckenden Ausbaus der erneuerbaren Energien ist der **Energie-Importanteil auf 73 %** (1990: 58 %) gestiegen. Dies kann nicht durch den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland überwunden werden. Das heißt, die Frage des Imports von Energie für unsere Volkswirtschaft ist von entscheidender Bedeutung. Dieser Energie-Import muss aus meiner Überzeugung durch den Import von Wasserstoff, oder daraus abgeleiteten Energieträgern aus den sonnen- und windreichen Regionen erfolgen. Was sagen uns diese Zahlen? Das Beispiel zeigt die riesigen technologischen Herausforderungen, für die nachhaltige Lösungen gestaltet werden müssen! Dies erfordert aber auch **die Menschen, die mit einer erstklassigen technischen Ausbildung diese Lösungen erdenken können.** Daher ist es so extrem wichtig, dass wir ganz besonders in Deutschland, nicht in einem Nihilismus versinken, der im Wesentlichen Technik ablehnt und von Zukunftsangst geprägt ist, sondern dass wir mit Optimismus diese Zukunft angehen. Dies gilt ganz besonders auch für die junge Generation. Das IPEK nimmt diese Herausforderungen in Forschung, Lehre und Innovation an. Durch unsere Aktivitäten im Bereich der agilen Produktentwicklung, der Batteriesystementwicklung, der E-Antriebsentwicklung, der Power-Tools, im Bereich der Brennstoffzellenforschung und des Leichtbaus wollen wir unseren Beitrag für eine gute Zukunft leisten! In dieser INSIDE finden Sie wie in jedem Jahr einen kleinen Ausschnitt unserer Arbeiten. Wenn Sie tieferes Interesse, Fragen oder auch zu lösende Probleme in Ihrer Produktentwicklung haben – sprechen Sie uns an, wir sind gerne Ihr Partner!

Albert Albers

Ihr Albert Albers

Prof. Dr.-Ing. Tobias Düser stellt sich vor

Validierung ist nicht nur die zentrale Aktivität der Produktentwicklung, sondern auch der kritische Pfad bei der Einführung von zukünftigen Produkten. Kern meines Forschungskonzeptes sind daher Methoden und Prozesse für die validierungsgetriebene Produktentwicklung. Dabei werde ich besonderen Fokus auf Herausforderungen und Chancen des Maschinenbaus bei der Entwicklung von softwaregetriebenen Produkten und Produktsystemen legen.

Nach meinem Studium am KIT und anschließender Promotion am IPEK hatte ich in der AVL Gruppe verschiedene Positionen im Bereich innovativer Entwicklungs- und Validierungsmethoden inne. Dabei arbeitete ich insbesondere an neuartigen Automatisierungs- und Simulationslösungen für Prüfstände. Seit 2015 war ich verantwortlich für das Advanced Solution Lab bei AVL und Leiter des Standortes Karlsruhe. 2020 übernahm ich zusätzlich die Verantwortung für den Bereich ADAS/AD Virtual Testing Solutions. Mit meinem

Team arbeitete ich an virtuellen und XiL-basierten Validierungsmethoden für das Absichern und Testen von Advanced Driver Assistant Systemen sowie für das Automatisierte Fahren. Darüber hinaus bin ich in verschiedenen Arbeitsgruppen wie z. B. der IAMTS oder der UNECE aktiv. Ich freue mich auf die kommende Zeit und die Zusammenarbeit mit dem gesamten IPEK-Team.



Transformation der Mobilität: Validierungsansätze neu denken

Die unterschiedlichen Bedürfnisse der Menschen nach nachhaltiger, ressourcenschonender und trotzdem individualisierter Mobilität, stellt die Entwicklung zukünftiger Lösungen innerhalb des Mobilitätssystems vor neue Herausforderungen. Das Mobilitätssystem ist dabei als System-of-Systems zu begreifen, in welchem Systeme miteinander interagieren, die nicht gezielt für die Interaktion und das Zusammenwirken entwickelt wurden. Das **Zusammenspiel technischer Lösungen** auf den Gebieten **Infrastruktur, Services** sowie der **Mobilitätsträger** und deren **Antriebssysteme** ist also systematisch und durch gezielte Innovationen voranzubringen. Gerade für die Entwicklung neuer Lösungen ist das Verständnis möglicher Zukünfte relevant. Neben **Mobilitäts-szenarien**, die dazu genutzt werden, Produktprofile abzuleiten, sind für die Produktentwickelnden auch **Nutzerszenarien** – vereinfacht gesprochen die Beschreibung, wie das Produkt vom Nutzenden über seine Lebenszeit eingesetzt wird – für die Gestaltung und Auslegung relevant. Durch die Nutzung neuer und zum Teil noch unreifer Technologien für Batterien, Brennstoffzellen und Traktionsantriebe entstehen aber auch Unsicherheiten und Herausforderungen. Dabei sind Kundenerwartungen an die technischen Lösungen noch nicht hinreichend bekannt und wandeln sich: Waren über Jahrzehnte die Antriebsleistung und das Beschleunigungsvermögen kaufentscheidende Faktoren, spielen diese aufgrund der

Leistungscharakteristik elektrischer Traktionsantriebe beim Kauf eines elektrischen Fahrzeugs kaum eine Rolle – Reichweite bzw. Batteriekapazität sowie Lademöglichkeiten rücken in den Fokus. Bedingt durch das Wegfallen des Verbrennungsmotors kommen zudem **neue Anforderung im Bereich Noise, Vibration und Harshness (NVH)** auf: Geräusche aus Nebenaggregaten und Komfortaktoren werden nicht mehr maskiert und daher in E-Fahrzeugen als störend wahrgenommen. Traktionsantrieb und Getriebe sind insgesamt zwar leiser, weisen allerdings deutlich mehr hochfrequente Anteile auf, die vom Menschen im Vergleich zur niederfrequenten Geräuschkulisse eines Verbrennungsmotors auch als störend empfunden werden. Die Unsicherheiten in Bezug auf Nutzerverhalten und -erwartung kommen insbesondere in der Validierung zum Tragen: So mangelt es für Fortbewegungsmittel wie Pedelecs oder E-Lastenräder an einer **Datenbasis aus dem Feld** zur Ableitung auslegungssowie erprobungsrelevanter Lastkollektive. Neben der Definition von Lastkollektiven beruhen auch weitere Zielgrößen für die Entwicklung auf Erfahrungswissen bzw. Felddaten. So spielt die Fahr- bzw. Betriebsstrategie eine wichtige Rolle bei der Auslegung elektrifizierter, aber auch hybridisierter Antriebssysteme unter Nutzung von Brennstoffzellen. Neben der für den Anwendungsfall geeigneten Antriebsstopologie ist auch die Festlegung des Hybridisierungsgrades relevant.

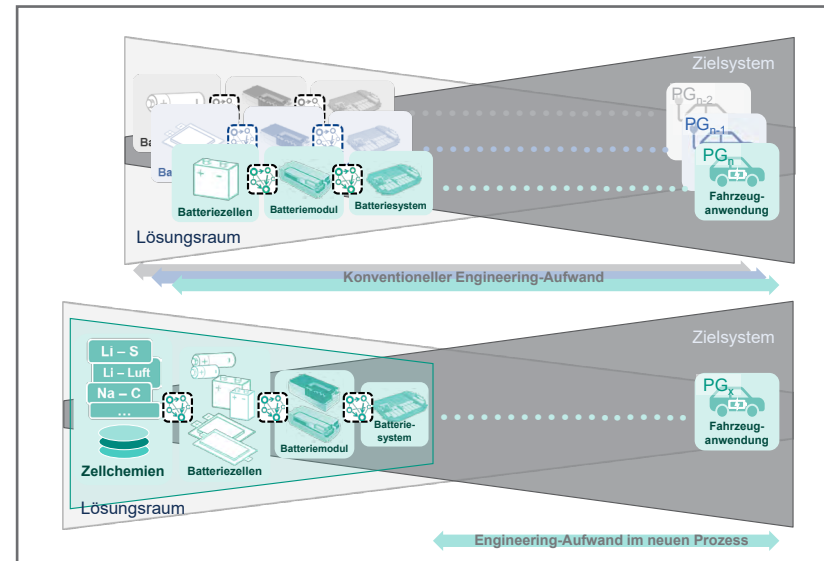
Aufgrund der stärkeren Kopplung der Kundenanforderungen an die Infrastruktur in Bezug auf Reichweite, Tank- und Ladedauern sind entsprechende Kollektive jedoch nicht ohne Felddaten valide festlegbar. Erschwert wird die realitätsnahe Erprobung dadurch, dass automatisierte Systeme durch Software- oder Hardware-Updates ihre Systemkonfiguration und -verhalten im Feld ändern. Die **zielgerichtete Validierung neuer Antriebssysteme** unter der Prämisse unklarer Kundenanforderungen sowie Nutzerverhaltens erfordert somit neue Ansätze. **Neue Technologien** bieten Chancen, Systeme neu zu gestalten und Systemeigenschaften zu verbessern. Zur Hebung dieser Potenziale sowie zur Beurteilung der Auswirkungen im Gesamtsystem bedarf es neuer Validierungsansätze. Deshalb forschen wir in dem skizzierten Spannungsfeld an Methoden und Werkzeugen, um die Validierung neuer Antriebssystemlösungen zu unterstützen – von der Simulation über das Prüffeld bis hin zu straßentauglichen Versuchsträgern im Konzept des IPEK XiL. Konkrete Beispiele stellen wir Ihnen im Folgenden vor und laden Sie gerne ein, das am IPEK bei uns zu erleben.

Frühzeitige Erkennung der Auswirkungen der Next-Generation-Batterietechnologien auf die Entwicklung elektrifizierter Antriebssysteme

Angetrieben durch die wachsenden Anforderungen an elektrifizierte Fahrzeuge, z. B. größere Reichweite oder niedrigere Nutzungskosten, werden Next-Generation-Batterietechnologien,

darunter sowohl Post-Lithium (Li) als auch Nicht-Li-basierte Lösungen, intensiv erforscht. Die Aufklärung der mit diesem Technologiefortschritt einhergehenden **Entwicklungschancen** und

-risiken erfordert jedoch meist **Expertise in verschiedensten Disziplinen**, die von klassischen Entwicklerteams im Unternehmen nicht bereitgestellt werden können. Das IPEK entwickelt **neue Methoden**, um die **Auswirkungen zukünftiger Batterietechnologien** auf das Batteriesystem **frühzeitig zu bewerten** und so die Konstruktion und Produktion neuer Lösungen zu unterstützen. Durch eine Nutzungsszenarienbasierte Anwendung der Methoden wird die Änderungsausbreitung aufgrund neuer Zellchemie auf die betrachtete Generation des Batteriesystems analysiert und das initiale Zielsystem für deren Design generiert. Hier werden gezielt diverse Technologien berücksichtigt so dass die **Methodik für eine Vielzahl an möglichen Zukunftsszenarien anwendbar** ist. Dies fördert einerseits eine nachvollziehbare Produktstrategiefindung und -entwicklung und bildet gleichzeitig die Basis für die Ableitung von Validierungszielen und zugehöriger zweckmäßigen Validierungsumgebungen.



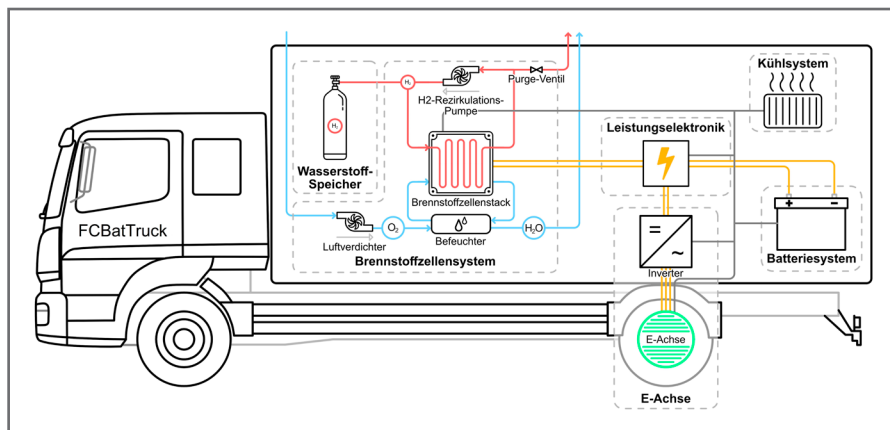
Auswirkungsanalyse der Next-Generation Batterietechnologien auf die Entwicklung elektrifizierter Antriebssysteme zur Lösungsraumeingrenzung und beschleunigten Generierung des initialen Zielsystems (Produktsteckbrief / Lastenheft / Anforderungen) für das interdisziplinäre Design von Batteriezellen, -modulen und -systemen

Validierung brennstoffzellenbasierter Antriebssysteme mit einem modularen LKW-Aufbau als fahrendes Labor – FCBatTruck

Eine Lösung für emissionsfreie Antriebe im Nutzfahrzeugbereich sind Brennstoffzellen-Batterie-Hybridsysteme. Dabei ist je nach Anwendungsfall eine unterschiedliche Dimensionierung von Brennstoffzelle und Batterie notwendig. Diese ist jedoch abhängig von der verfügbaren Infrastruktur von Wasserstoff-Tankstellen und Schnellladesäulen. Innerhalb des über den InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM) geförderten Projekts wird nun ein LKW <12 t mit einem **modularen Brennstoffzellen-Batterie-Hybridantriebssystem** umgerüstet – **FCBatTruck**. Der modulare Aufbau soll es ermöglichen, unterschiedliche **Konfigurationen von Brennstoffzellen-Batterie-Hybrid-systemen im realen Betrieb zu testen**. Dabei werden nicht nur die Schnittstellen der einzelnen Komponenten im

Brennstoffzellen- und Batteriesystem auf Basis des **IPEK-X-in-the-Loop-Ansatzes** so gestaltet, dass ein leichter Austausch möglich ist, sondern eine bewusst einfache und zugängliche Anordnung der Komponenten auf der Ladefläche, sowie in der Achse des LKW umgesetzt. Durch den realen

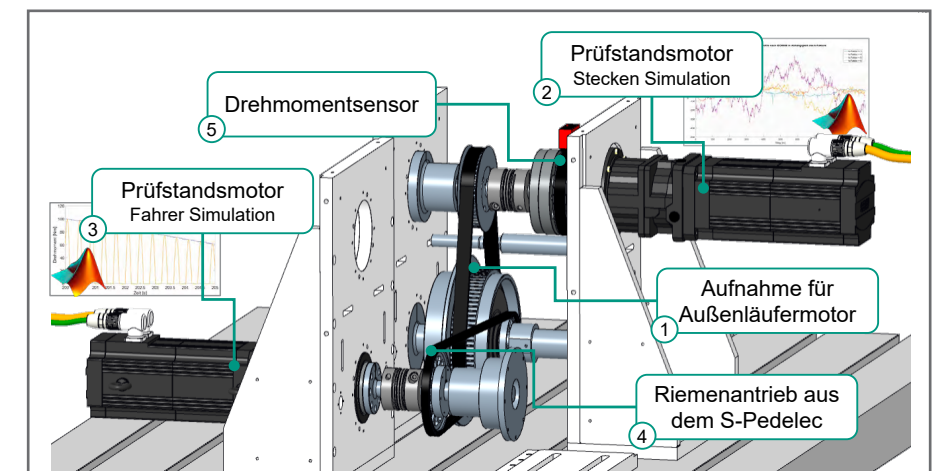
Fahreinsatz können schließlich zukünftige Antriebsstrangkonfigurationen für spezifische Anwendungsfälle abgeleitet werden und durch den modularen Aufbau neuartige Komponenten für LKWs mit Brennstoffzellen-Batterie-Antriebsstrang entwickelt und validiert werden.



FCBatTruck – LKW-Aufbau mit Brennstoffzellen-Batterie-Antriebsstrang als fahrendes Labor, welches durch den modularen Aufbau auf der Ladefläche einen einfachen Austausch und damit die Validierung der Komponenten im realen Fahrbetrieb ermöglicht

Neue Mobilitätskonzepte: Entwicklung und Validierung von Antrieben für die leichte E-Mobilität

Ein aktueller Trend im Themenfeld der Mobilität sind Speed Pedelecs (S-Pedelecs), welche eine Geschwindigkeit von bis zu 45 km/h erreichen können und ein weiteres Element in der zukünftigen Individualmobilität darstellen. Eine große Herausforderung ist die **Entwicklung** einer zugehörigen **Validierungsumgebung** ohne hinreichendes Wissen bezüglich der Validierungsziele. Ursache sind, wie zuvor beschrieben, die fehlenden Felddaten. Ohne diese kann nur bedingt ein Rückschluss auf die realen Belastungen des Systems gezogen werden und es fällt schwer, konkrete Validierungsziele oder Lastenhefte herzuleiten. Durch die Ermittlung von Nutzungsprofilen und deren Überführung in Testfälle können die Belastungen allerdings gut prädiert werden. Hier erarbeitet das IPEK **Validierungskonzepte** inklusive



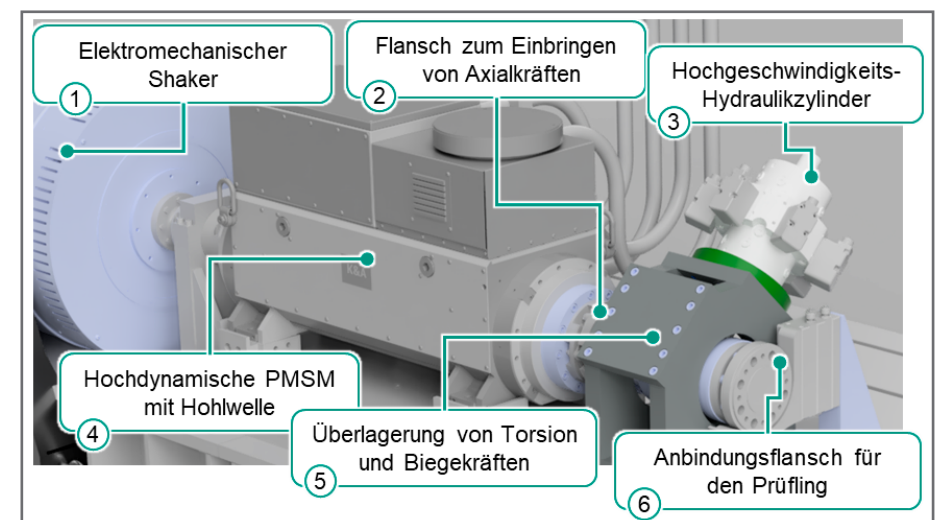
Validierungsumgebung IPEK-XiL für S-Pedelec Motoren (1). Bestehend aus einem Motor (2) zur Aufprägung der simulierten Belastungen der Strecke, einem Motor zur Abbildung des virtuellen Fahrers (3) inklusive des realen Riemenantriebes des Fahrrades (4) und verschiedener Sensoren (5).

zugehöriger Validierungsumgebung und Testfällen und konnte so durch die **virtuelle Abbildung** des S-Pedelecs inklusive Fahrer, unterschiedlicher Strecken sowie Umgebungsbedingungen eine **fundierte Vorhersage der Belastungen** bei unterschiedlichen

Anwendern und Anwendungsfällen treffen. Mithilfe eines entsprechend aufgebauten Prüfstandes können diese Belastungen auf Prüflinge aufgebracht werden und so die Eignung dieser untersucht werden.

Realitätsnahe Abbildung mehrdimensionaler Belastungen am Prüfstand

Neben den zuvor beschriebenen Herausforderungen bei der Ableitung von Validierungszielen neuer Systeme stellt die **Validierung am Prüfstand** eine zentrale und komplexe Aufgabe der Produktentwicklung dar. Ziel ist es, die zuvor identifizierten **Beanspruchungen reproduzierbar** auf das zu untersuchende System **aufzuprägen** und alle relevanten Systemgrößen und Zustände zu erfassen. Antriebssysteme unterliegen marktbedingt einer ständigen Steigerung der Leistungsdichte, die auch z. B. durch Leichtbau erreicht werden kann. Dies führt zu neuen Beanspruchungen, die in der Verifikation und Validierung untersucht und verstanden werden müssen. Nur so lassen sich **fundierte Aussagen über die Eignung der Bauteile, Komponenten und Systeme** treffen. Häufig reicht in solchen Fällen das Aufprägen einer eindimensionalen Belastung in



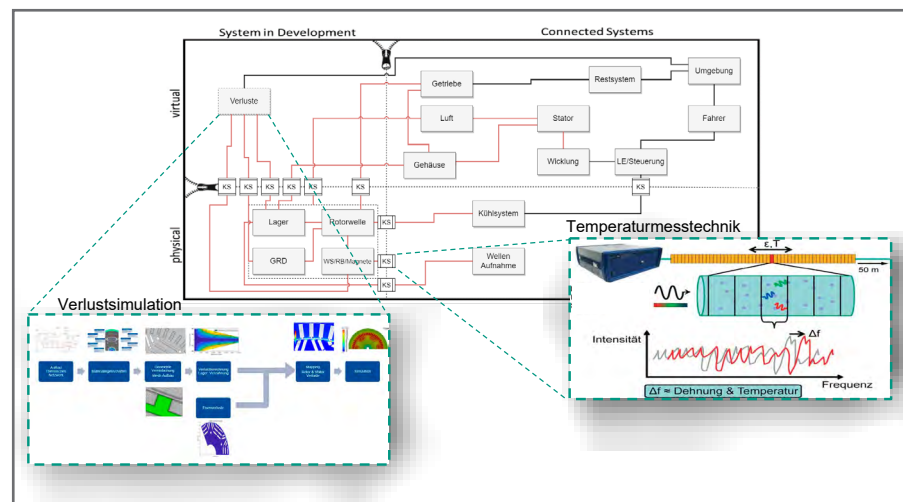
VEMDIX - Validation Environment for multi-dimensional eXcitation - Prüfstand zum Aufbringen mehrdimensionaler Belastungen auf einen Prüfling. Bestehend aus einem elektromechanischen Shaker (1) zum Aufbringen von Axialkräften, einem hochdynamischen Elektromotor mit Hohlwelle (4), sowie einem hochdynamischen Hydraulikzylinder (3) zum Aufbringen von Querkraften.

das System nicht mehr aus, da der Antriebsstrang nicht durch ein reines Torsionsmoment belastet ist. So unterliegen z. B. moderne **Transversalfussmaschinen** einer mehrdimensionalen Belastung. Erst die Betrachtung **mehrdimensionaler Beanspruchungen** durch z. B. eine Kombination aus Biegung und Torsion ermöglicht eine

realitätsnahe Validierung und damit verbunden eine bedarfsgerechte Auslegung von Systemen. Das IPEK greift hier auf jahrelange Erfahrung zurück und baut derzeit einen Prüfstand, der **erstmalig eine Überlagerung aus Drehmoment, Axialkraft und Biegung** ermöglicht.

Aktive Rotorinnenkühlung für Elektromaschinen

Elektrische Antriebseinheiten für den mobilen Einsatz im Fahrzeug müssen eine möglichst hohe Leistungsdichte sowie Effizienz aufweisen. Für eine hohe Dauerleistung ist eine effiziente Kühlung des Rotors wichtig. Ein mögliches Kühlkonzept ist ein **Durchströmen des Rotors mit Kühlmedium**. Mit der Umsetzung dieses Kühlverfahrens sind vielfältige Herausforderungen verbunden, beispielsweise müssen die Komponenten so gestaltet sein, dass ein hoher Wärme- fluss gewährleistet wird. Für eine hohe Effizienz müssen zusätzlich die Stellgrößen Volumenstrom und Druck des Kühlsystems auf den Betriebspunkt abgestimmt werden. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, entwickeln wir eine **IPEK-XiL Validierungsumgebung**, um neuartige Konzepte zur Kühlung des Rotors unter realitätsnahen

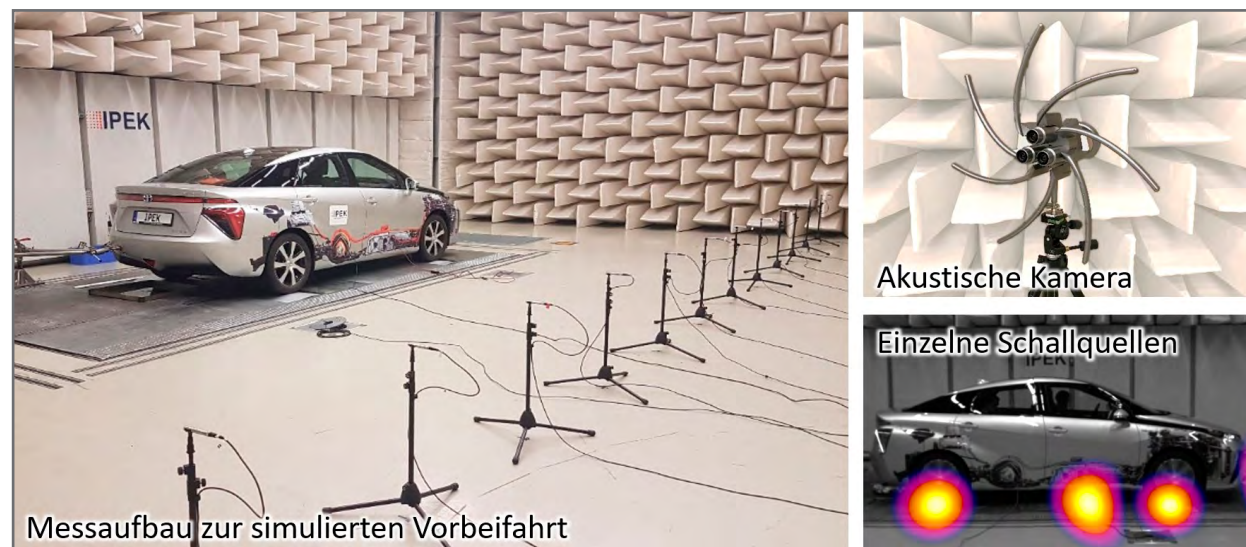


Validierungsumgebung zur Untersuchung von Rotorinnenkühlungen des Teilsystems Verlustsimulation und dem Koppelsystem Fasermess-technik zur Bestimmung der Temperatur

Randbedingungen zu untersuchen. Hierzu werden **thermische Koppelsysteme** verwendet, um die in der Verlustsimulation ermittelten Wärmeströme auf die Systemgrenze des physischen Motors aufzuprägen, und so realistische Betriebsbedingungen für Leistungstests einzustellen. Des

Weiteren ermöglicht eine Fasermess-technik, die Temperaturverteilung im Rotor ortsaufgelöst im statischen Versuch zu ermitteln. So kann ein tieferes Verständnis des thermischen Verhaltens des Rotors aufgebaut und eine Optimierung des Gesamtkühlsystems vorgenommen werden.

Simulierte Vorbeifahrt: IPEK-XiL effiziente Methoden für die Fahrzeugaußengeräusch-Entwicklung und -Homologation



Versuchsaufbau für die Außengeräusch-Untersuchung eines Brennstoffzellenfahrzeuges auf dem IPEK-Akustikrollenprüfstand mit Mikrofon-array (links), akustischer Kamera (rechts oben) sowie Software-Ausgabe der akustischen Kamera (rechts unten)

Das IPEK arbeitet im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projektes an effizienten Methoden zur NVH-gerechten Entwicklung neuer Antriebskomponenten im Gesamtfahrzeugkontext. Zum Einsatz kommt dabei eine **akustische Kamera**, mit deren Hilfe die **Einzel-Schallquellen des Fahrzeugs**, wie z. B. Reifen,

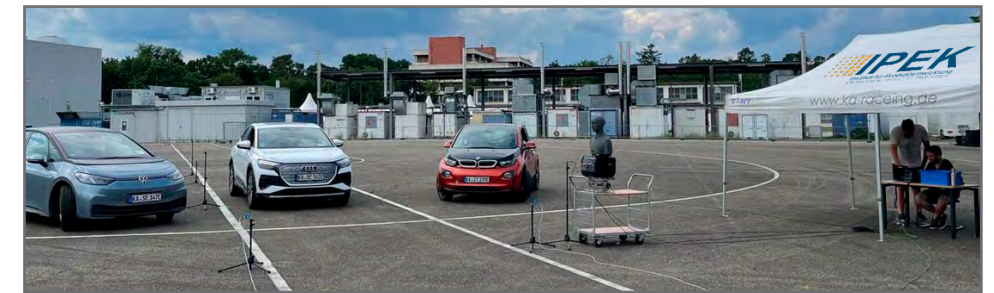
Elektromotor, Getriebe oder Brennstoffzellensystem identifiziert, lokalisiert und quantifiziert werden können. Im Verlauf des Projekts wurde eine Methode entwickelt, mit deren Hilfe die Schallquellen virtuell „ausgetauscht“ oder neue Schallquellen hinzugefügt werden können. Dadurch können **Änderungen an Komponenten**, bspw. im Rahmen einer

Produktgenerationsentwicklung, am physischen Restfahrzeug der vorherigen Generation **simuliert** und deren **akustische Auswirkung auf das Gesamtfahrzeuggeräusch** untersucht werden. So können schon frühzeitig im Produktentwicklungsprozess Vorhersagen über das Fahrzeugaußengeräusch getroffen werden, ohne auf Prototypen warten zu müssen.

SiLenS: Erhöhung der Verkehrssicherheit und Lärmeffizienz durch Sounddesign für hohe Wahrnehmbarkeit und geringe Lästigkeit elektrifizierter Fahrzeuge

In **niedrigen Geschwindigkeitsbereichen** sind elektrische Fahrzeuge für andere Verkehrsteilnehmer **nahezu geräuschlos**. Während dies insbesondere in Innenstädten den Verkehrslärm reduzieren kann, birgt ein geräuscharmer Verkehr erhöhte Sicherheitsrisiken. Seit 2021 sind daher bei elektrischen und hybriden

Fahrzeugen sogenannte **Mindestgeräusche verpflichtend**. Die entsprechende EU-Verordnung lässt bezüglich der Geräuschgestaltung aktuell aber noch großen Gestaltungsfreiraum, der Potentiale für innovatives Sounddesign ermöglicht. Die technischen Lösungen werden unter dem Begriff **AVAS – Acoustic Vehicle Alert Systems** zusammengefasst. Herausforderungen entstehen für das Sounddesign beispielsweise in Wohngebieten mit beruhigtem Verkehr, in denen **AVAS-Geräusche**



Versuchsaufbau für die AVAS-Geräuschuntersuchungen von ausgewählten elektrischen Versuchsfahrzeugen. Die Fahrzeugaußengeräusche werden für anschließende Analysen und Hörversuche mit Mikrofonen und einem binauralen Kunstkopf aufgenommen.

der verschiedenen Hersteller teilweise als störend empfunden werden. Eine Reduktion der störenden Geräuschteile könnte im Umkehrschluss jedoch dazu führen, dass die **Salienz** – also wie stark sich das Fahrzeuggeräusch in die vordergründige Wahrnehmung von Personen drängt – reduziert wird, und somit die **Warnwirkung verloren geht**. In Hinsicht auf zukünftig steigende Anteile an elektrischen Fahrzeugen stellt sich die Frage, wie die E-Mobilität klingen muss, um u. a. eine Kakophonie

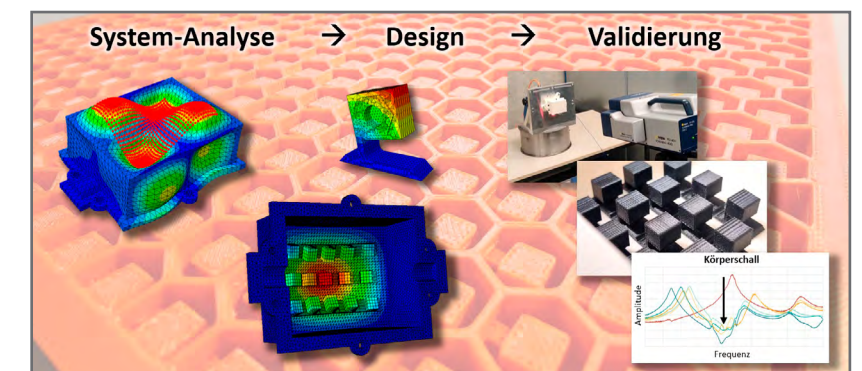
sehr unterschiedlich klingender Fahrzeuge auf der Straße zu vermeiden. Um diesen Herausforderungen entgegenzutreten, werden am IPEK neue, „lärmeffiziente“ AVAS-Systeme mit möglichst hoher Wahrnehmbarkeit bei gleichzeitig geringer Lästigkeit erforscht. Dabei sollen einerseits die Ausprägungen der Geräusche selbst optimiert und andererseits auch adaptive AVAS erforscht werden, die sich bspw. dynamisch an die akustischen Umgebungsbedingungen anpassen können.

Innovationspotential für NVH-Optimierung durch vibroakustische Metamaterialien durch gezielte Vorkonditionierung

Neben der aktiven Geräuschgestaltung wird außerdem an neuen Technologien zur akustischen Optimierung von Betriebsschwingungen geforscht. Im Rahmen eines von der Zeidler-Forschungs-Stiftung geförderten Projekts werden **vibroakustische Metamaterialien (VAMM)** und deren Einsatz in Gehäusestrukturen untersucht. Bei VAMM handelt es sich um periodische Strukturen, die durch Resonanzeffekte zur **Tilgung von Körper- und Luftschall** eingesetzt werden können. Die Resonatoren können auf eine **bestimmte Zielfrequenz abgestimmt** werden und führen dann zu sog. Stoppbändern, in denen eine **Wellenausbreitung** fast vollständig **unterbunden** wird. Die Lautstärke bzw. Körperschallamplituden können dabei je nach Anwendung um bis zu 40 dB reduziert werden. Im Rahmen des Forschungsprojekts wird insbesondere auf die **nachträgliche Anbringung** solcher Strukturen auf bestehende Bauteile fokussiert, wodurch

sich ein sehr **breites Anwendungsspektrum** ergibt. Das IPEK steht für **Validierungsansätze für Transformation der Mobilität** in diesem Bereich mit umfangreicher Expertise zu Verfügung, um die Herausforderung der modernen Antriebstechnik sowohl im Maschinenbau als auch im Fahrzeugbau durch Methode/Konzepte, aber auch die Definition von innovativen Lösungen und die

Begleitung von Entwicklungsprojekten zu unterstützen. Eine hochmoderne Forschungsinfrastruktur im Bereich der Simulation als auch der physischen Untersuchung durch die Kopplung mit entsprechenden Prüfeinrichtungen steht zur Verfügung. Das Thema interessiert Sie? Nehmen Sie gerne Kontakt mit uns auf. Wir sind Ihr Partner in der innovativen Produktentwicklung.



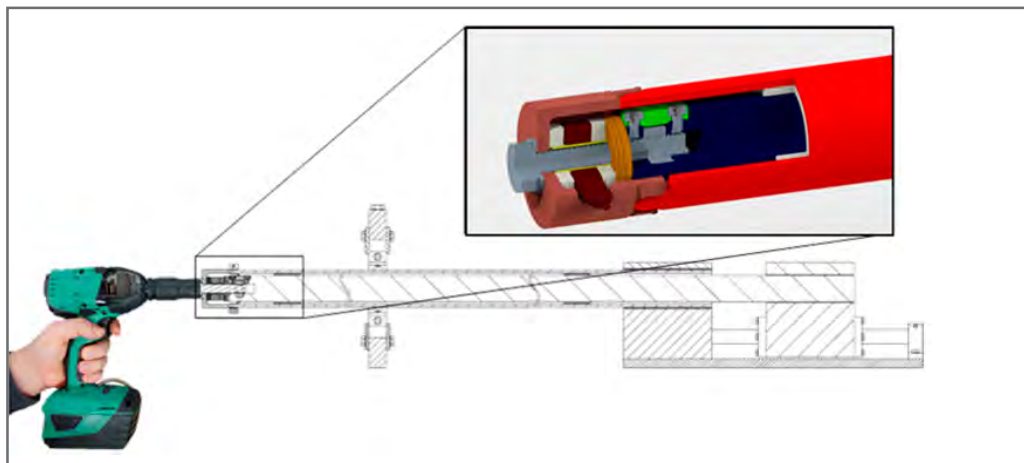
Vorgehen zur Auslegung vibroakustischer Metamaterialien: Das zu optimierende System wird analysiert, die Resonatoren werden ausgelegt und basierend auf den relevanten Modenformen platziert, abschließend findet eine Validierungsmessung statt.

Tribologie ist überall

Tribologische Systeme sind in technischen Produkten zur Funktionserfüllung notwendig, um Relativbewegungen zu realisieren oder um Kräfte und Momente zu übertragen. Reibung ist dabei einerseits für die Funktionserfüllung notwendig, kann andererseits aber auch das System stören. So ist in Kupplungen, Bremsen oder Schraubenverbindungen Reibung notwendig, um die jeweilige Funktion zu erfüllen – **Funktionsreibsysteme**. In Wälz-, Gleitlagern oder Linearführungen dagegen soll die Reibung minimiert werden, um Energieverluste im Gesamtsystem zu reduzieren – **Lagersysteme**. Das IPEK hat eine mehr als 40-jährige Tradition in der Erforschung tribologischer Systeme. Dabei ist sowohl die experimentelle Untersuchung als auch die Simulation und konstruktive Optimierung tribologischer Systeme in unserem Fokus. Im Folgenden werden zwei Beispiele aus der experimentellen Untersuchung vorgestellt.

Tribologie in Schraubverbindungen

Um für hochdynamisch angezogene Schraubverbindungen Montagevorspannkraftregelungen zu entwickeln, ist ein präzises Verständnis der Reibvorgänge in der Schraubenverbindung notwendig. Dabei unterliegen Reibvorgänge in der Kopfauflage und den Gewindengängen unterschiedlichen Effekten. Um die tribologischen Systeme zu modellieren, müssen diese Reibvorgänge getrennt vermessen werden. Der **IPEK STP – Schrauben-Tribologie-Prüfstand** ermöglicht die unabhängige Messung der Reibverläufe in der Unterkopfauflage und im Gewinde beim dynamischen Anziehen mit Tangentialschlagschraubern. Auf Basis der entstehenden tribologischen Modelle können sowohl die Schraube, der Schrauber und die Regelung optimiert werden.

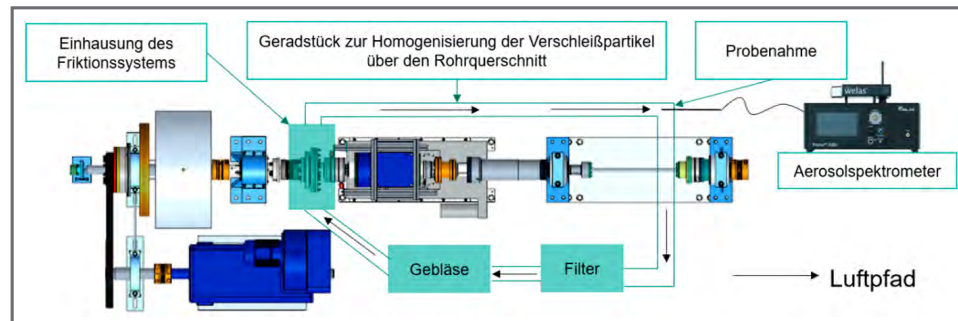


Der Schrauben-Tribologie-Prüfstand (STP) ist eine Versuchsumgebung, die die unabhängige Messung der Vorspannkraft, Gewinde- und Kopfmomentverläufe beim Anziehen von Schraubverbindungen mit unterschiedlichen Anziehverfahren ermöglicht.

Tribologie in Bremssystemen

Auch in Bremsen ist die Sicherstellung des Bremsmoments unter allen Kriterien der Anwendung von zentraler Bedeutung, da die Bremse auch eine Sicherheitsfunktion hat. In modernen Fahr-

Regelung sowie dem Nutzer zu berücksichtigen. Dies machen wir über unseren ganzheitlichen IPEK-XiL-Ansatz durch intelligente Kombination von physischer und virtueller Modellbildung. Ein wichtiger Aspekt ist bei mo-



Konzeptionelle Erweiterung des Trockenreibprüfstands zur Entnahme von Verschleißpartikeln

zeugen entwickelt sich die Bremse zu einem komplexen mechatronischen System, da die Bremsenerzeugung zum Teil mechanisch, aber auch ganz wesentlich elektrisch realisiert wird. Um geeignete Modelle des Tribosystems Bremse entwickeln zu können, ist es notwendig, Reibungsmomente in Abhängigkeit systemspezifischer Einflussgrößen zu vermessen. An unserem **IPEK TRP – Trockenreibprüfstand** kann ausgehend vom tribologischen Kontakt, über die Teilbaugruppen bis hin zum Bremsaggregat, das Reibungsverhalten gemessen werden, um es in tribologischen Modellen abzubilden. Damit kann bereits in der frühen Entwicklungsphase das Bremssystem so gestaltet werden, dass das gewünschte Systemverhalten realisiert wird.

Dabei ist die Wechselwirkung zwischen elektrischem Bremsen (Rekuperation), mechanischen Bremsen, der E-Maschine im Fahrzeug, der Leistungselektronik, der Batterie und der überlagerten

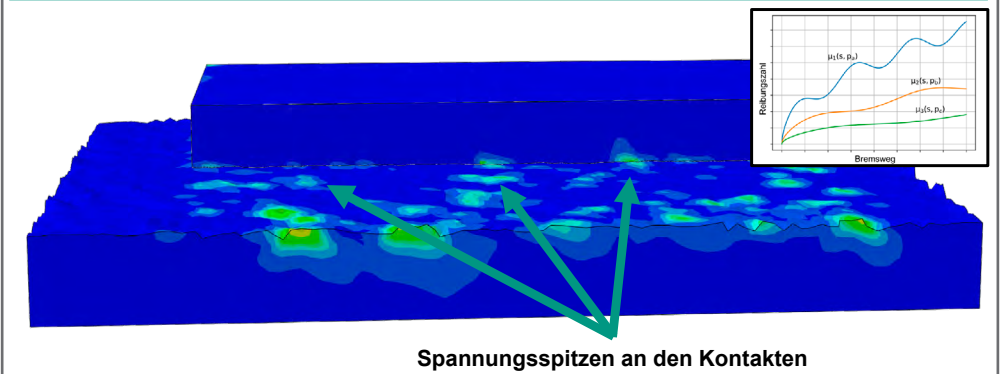
dernen Bremssystemen die Erzeugung von Partikeln. Hierzu führen wir am IPEK Untersuchungen von **Feinstaubemissionen technischer Systeme zur Analyse der Vorgänge in tribologischen Systemen** durch. Die Emissionsquellen von Feinstaub sind vielfältig und werden in Richtlinien und Normen immer strenger reguliert. Im Forschungsvorhaben FVA 955 I „Verschleißpartikelmessung im Trockenlauf“, wird unser **Kupplungs- und Bremsenprüfstand um ein Probeentnahmesystem** erweitert, sodass **Verschleißpartikel** untersucht werden können. Hauptziel ist der Erkenntnisgewinn über Vorgänge im Tribosystem durch die Untersuchung aus den **Verschleißpartikeln als Sensor**. Dafür werden neben der Messung der Partikelanzahl und -masse während eines Bremsvorgangs auch nachgelagerte chemische und optische Analysen durchgeführt.

Feinstaub ist auch beim Hammerbohren ein Thema, denn der Anwender ist dem Feinstaub unmittelbar ausgesetzt. Um das System Bohrhammer bezüglich der Feinstaubemissionen zielgerichtet optimieren zu können, ist es notwendig, die Feinstaubemission während des Hammerbohrens zu messen. Im IPEK-PTP (Power-Tool-Prüffeld) können Staubemissionen normgerecht mit geeigneter Messtechnik unter realistischen Bedingungen erfasst werden.

Tribologie in Lagersystemen

Die Minimierung der Reibungskräfte ist ein Ziel im Bereich der Entwicklung von Lagersystemen. Die klassischen Schmiermittel Fett und Öl können in einigen Anwendungen nicht eingesetzt werden. Eine mögliche Lösung ist dann die **Feststoffschmierung**. Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 2074 „Fluidfreie Schmier Systeme mit hoher mechanischer Belastung“ (Phase II) werden am IPEK zusammen mit dem IAM – Institut für Angewandte Materialien (KIT, Karlsruhe) und dem IWM – Institut für Werkstoffmechanik (Fraunhofer, Freiburg) Mechanismen der Graphitschmierung in Wälzkontakten simulativ und experimentell erforscht. Die zentralen Ziele des Forschungsvorhabens sind die Untersuchung der

Finite-Elemente-Simulation mit den realen Oberflächen einer Bremsscheibe und eines Bremsbelags



Finite-Elemente-Simulation unter Berücksichtigung der realen Oberflächen einer Bremsscheibe und eines Bremsbelags. Mithilfe der numerischen Berechnung kann der Verschleiß der Kontaktpaarung bei unterschiedlichen Beanspruchungskollektiven berechnet werden. Außerdem ist die Übertragung des Modells auf andere tribologische Systeme möglich.

Reib-, Verschleiß- und transferschichtbildenden Mechanismen in hoch belasteten tribologischen Kontakten mit dem Festschmierstoff Graphit und die Ableitung eines entsprechenden Erklärungsmodells. Um die Projektziele zu erreichen, wird der **IPEK RPR – Reibungs-Prüfstand-Rotatorisch** verwendet und mit einer umfangreichen Analytik und Simulationen auf unterschiedlichen Größenskalen kombiniert. Um die Verteilung und die Transportmechanismen von Graphit in den Lagern zu erfassen, werden **optische in-situ Untersuchungen** auf dem Prüfstand realisiert.

Tribologie der Hochdrehzahlanwendungen

Durch den Einsatz von **Leichtbau-Kunststoffzahnradern** in Antriebssystemen können Potenziale zur Einsparung von Gewicht und positive

Eigenschaften im NVH Bereich realisiert werden. Auf dem **IPEK PPP – Power-Pack-Prüfstand** werden bei bis zu 30.000 1/min geschmierte Leichtbau-Kunststoffzahnräder und weitere Hochdrehzahlanwendungen wie bspw. Hochdrehzahlkupplungen untersucht. Ziel ist die Entwicklung von Gestaltungsregeln auf Basis realisierter prototypischer Lösungen.

Wollen auch Sie die tribologischen Effekte in Ihren Produkten untersuchen und besser verstehen, dann unterstützen wir Sie gerne bei der Erprobung, Optimierung und Validierung Ihrer Systeme und Komponenten. Mit unseren modularen Prüfständen können wir auch Ihr tribologisches System analysieren und optimieren. Kommen Sie gerne auf uns zu!



Hochdrehzahlprüfstand zur Analyse von Hochdrehzahlanwendungen mit bis zu 30.000 1/min. Im mittleren Bereich der Prüfumgebung sind drei Getriebe für die Analyse der Leichtbau-Kunststoffzahnräder montiert.

Das IPEK im InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM)

Schneller von der Grundlagenforschung zur Innovation: Das ist der Anspruch des 2019 gemeinsam von **KIT und der Universität Stuttgart** initiierten und vom **Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Kultur Baden-Württemberg** geförderten ICM – eine gemeinsame Plattform, um schnell und flexibel neue Technologien auf den Gebieten der Antriebssysteme, Struktur- und Funktionsintegration, Energiebereitstellung und -speicherung sowie intelligenter

Sensorik und elektronischer Bauteile zu entwickeln und erproben. Exzellente Grundlagenforschung in den Bereichen Mobilität und Produktion sind so die Basis für Innovationen.

Als Mitglied des Forschungsdirektoriums sowie als Forschungskordinator gestalten und vernetzen wir die Forschungsthemen und -aktivitäten im ICM, aber auch in das KIT-Zentrum Mobilitätssysteme hinein. Zwei Nachwuchsgruppen erforschen die **Sensorintegration in Brennstoffzellen**

und **kreislaufgerechte Gestaltung von Batterie und Brennstoffzellen. Mechanische und thermomechanische Herausforderungen neuartiger Traktionsmaschinen und Leichtbauansätze** unter Nutzung **nachhaltiger Materialien** stehen im Fokus weiterer standortübergreifender Projekte.

Am ICM interessiert? Sprechen Sie uns an. www.icm.kit.edu

Entwicklung und Produktion Hand in Hand: Produkt-Produktions-CoDesign

Aktuell werden Produkte und Produktionssysteme häufig noch sequentiell nacheinander entwickelt und insbesondere das Produktionswissen erst spät in den PEP eingebunden. Dies führt oft zu spät erkannten Fertigungs- und Montageproblemen, die aufwendig in eine neue Produktgestalt umgesetzt werden müssen. Damit werden die Entwicklungs- und Produktkosten unnötig in die Höhe getrieben. Das **Produkt-Produktions-CoDesign** zielt darauf ab, die Produktentwicklung und die Produktion in Unternehmen näher zusammenzubringen und unnötige Iterationen zu vermeiden.

Dazu muss ein **gemeinsames Verständnis** der Mitarbeitenden der Konstruktion, Produktionssystementwicklung und Produktion geschaffen werden. Dazu nutzen wir am IPEK den **Contact & Channel-Ansatz (C&C²-Ansatz)** zur **Modellierung von Wechselwirkungen der Funktion und Gestalt** sowie den Wechselwirkungen mit dem Produktionssystem. Dabei werden Herstellbarkeit und Montierbarkeit bereits bei der Entwicklung berücksichtigt. Die Modellierung steigert zudem das Systemverständnis und verbessert die Vermittlung von erforderlichen Gestaltungsmerkmalen und den Austausch der beteiligten Abteilungen. Darüber hinaus werden mit dem C&C²-Ansatz Optimierungspotenziale identifiziert. Eingebettet werden diese und weitere Aktivitäten in ein Vorgehensmodell, das den Mitarbeitenden der Konstruktion, Produktionssystementwicklung und Produktion ermöglicht, selbstständig erforderliche Schritte, wie beispielsweise die Bewertung von

Montageabläufen, durchzuführen. Eine weitere Anwendung der Methodik unterstützt bei der Zusammenarbeit von Menschen und Robotern in der Automatisierung der Produktion. Zum Beispiel wird in einem konkreten Kooperationsprojekt mit drei KMUs aus Baden-Württemberg die **intelligente Roboterplattform iQSpan** entwickelt. Diese liefert einen Beitrag zur Realisierung im PPCD.

Die iQSpan soll den Menschen in der Produktion nicht ersetzen, sondern

übernimmt sich wiederholende Tätigkeiten, wie beispielsweise die Bestückung von Werkzeugmaschinen (WZM). Auch führt die iQSpan Qualitätskontrollen durch, indem Messungen am Werkstück direkt in der WZM durchgeführt werden. Das IPEK unterstützt die **Entwicklung** der Plattform durch den Einsatz numerischer Berechnungsmethoden und führt darüber hinaus die **Validierung der Roboterplattform** hinsichtlich der Messdatenauswertung durch.



Die intelligente Roboterplattform iQSpan ermöglicht neben der selbstständigen Bestückung und Entnahme von Bauteilen aus der Werkzeugmaschine auch die Qualitätssicherung. Durch Auswertung der gemessenen Qualitätsdaten können Rückschlüsse auf den Fertigungsprozess gezogen und dieser flexibel angepasst werden. Um dies zu erreichen, kann der Roboterarm selbstständig unterschiedliche Werkzeuge (z. B. Sensor und Greifer) aufnehmen und nutzen.

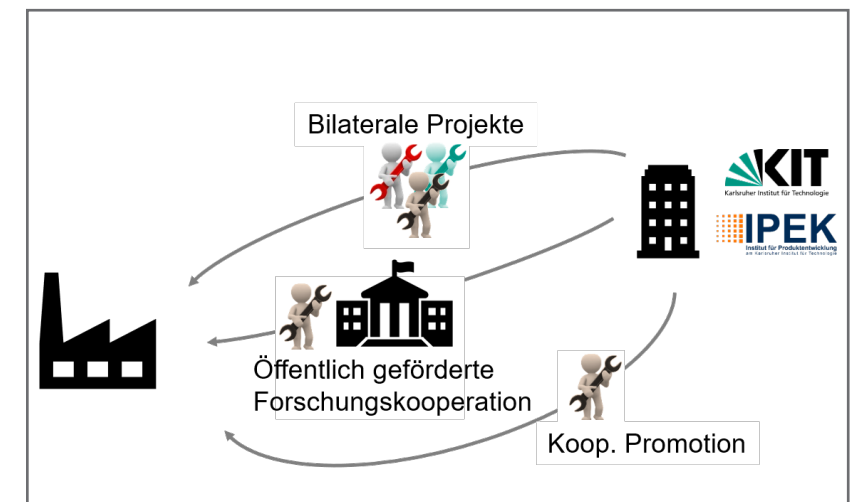
Schneller zur Innovation – Forschungsnahe Kooperationsmodelle für effektive Transferleistungen

Der **Technologie- und Wissenstransfer aus Forschung in die Wirtschaft** trägt wesentlich zum Erhalt und zur Stärkung des Wirtschaftsstandorts Deutschland bei. Forschungsergebnisse können Impulse, Katalysatoren und Basis für neue Lösungen in Unternehmen sein. Kooperationen sind aber keine informationelle Einbahnstraße: durch die Zusammenarbeit wird die Relevanz von Forschungsthemen deutlich, werden Forschungsfragen vor dem Hintergrund möglicher zukünftiger Anwendungen von Forschungsergebnissen geschärft und die Herausforderungen der Produktentwicklung in der Praxis für die Forschung zugänglich. Die **enge Zusammenarbeit fördert** sowohl das **Bewusstsein gesellschaftlicher Verantwortung** bei den Wissenschaftlern, erhöht die **Motivation** der an Produktsynthese forschenden Ingenieurinnen und Ingenieuren und die Innovationsfähigkeit der kooperierenden Unternehmen. **Erfolgreiche Zusammenarbeit** hängt hierbei nicht alleine von der Definition der Forschungs- und Entwicklungsaufgabe ab. Vielmehr sind **geeignete Zusammenarbeitsformate und Methoden**, welche an Aufgabe, Partner, Zielkunde, Ausgangssituation und weitere Faktoren angepasst werden müssen, zentral für die zuvor skizzierte „Win-Win-Situation“.

So ist das IPEK Partner für schnelle, kurzfristige aber durchaus komplexe „Troubleshooting“-Projekte mit einer Laufzeit von wenigen Tagen bis hin zu strategisch angelegten langjährigen Kooperationen. Die über die Jahre damit gewonnenen Erfahrungen hat das IPEK als Treiber und Mitgestalter erfolgreich in Kooperationsformate des KIT eingebracht.

Das IPEK als natürlicher Forschungspartner von innovativen Unternehmen unterschiedlicher Größe und Branchen entwickelt **erfolgreiche und etablierte Kooperationsmodelle** kontinuierlich weiter, um den veränderten Rand- und Rahmenbedingungen unserer Unternehmenspartner gerecht zu werden.

Durch die **Einbindung** unserer **Studierenden** in die Kooperationsformate mit den Unternehmen gelingt es uns, von Anfang an auch die Kompetenz zur Umsetzung des erworbenen



Unterschiedliche auf Partner und Aufgabe angepasste Kooperationsformate sind ein wesentlicher Service zur Sicherung des Erfolgs von Transfer und Unterstützung unternehmerischer Innovationsleistungen

theoretischen Wissens der Produktentwicklung unter den Randbedingungen der Praxis zu vermitteln. So gelingt es, unsere Studierende fundiert wissenschaftlich grundlagenorientiert und methodisch zu bilden und sie für ihre Tätigkeit im Unternehmen vorzubereiten. Wichtig ist uns dabei, die Fähigkeit die Methoden und Prozesse der Produktentwicklung (KaSPo) situativ und eigenständig auf die Probleme der Unternehmen zu adaptieren. Die erfolgreichen Kooperationsformate fußen auf inzwischen 25-jähriger Praxis am IPEK. Daraus ist ein großes Innovationsnetzwerk entstanden, das auch die Unternehmen unterstützt, das richtige Personal zu finden.

Kooperationsformate wie IP – Integrierte Produktentwicklung, ProViL und weitere erhöhen die **Transferleistung** des IPEK in besonders wirksamer Weise durch einen breiteren Transfer über kluge Köpfe, als dies mit konventionellen Ansätzen möglich wäre.

Doch Wissenstransfer bekommt gerade in Zeiten der Transformation eine noch größere Bedeutung. Lebenslanges Lernen und kontinuierliche, berufsbegleitende Weiterentwicklung werden zunehmend dringlicher. Das IPEK unterstützt in Zusammenarbeit mit Bildungsträgern wie der Hector-school, dem Bildungswerk Südwestmetall, der Weiterbildungsakademie der WiGeP – Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung, dem VDI aber auch durch IPEK-Veranstaltungen diese gesellschaftlich wichtige Aufgabe. So konnten in den letzten 5 Jahren mehr als 2.500 Ingenieurinnen

und Ingenieure unmittelbar von der technischen Expertise des IPEK in der Antriebssystemtechnik, der methodischen Expertise in der Produktentwicklung und neuen Lösungen der Produktvalidierung partizipieren.

Dies gelang vor allem auch durch die Nutzung geeigneter Online- und Hybridformate. Durch Zusammenarbeit mit der Fraunhofer Gesellschaft und eMobil-BW werden auch öffentliche Veranstaltungen zur Bedeutung der Transformation der Mobilität seitens des IPEK unterstützt. Dadurch wird der Transfer nicht exklusiv auf Unternehmen beschränkt, sondern auch eine breite Öffentlichkeit erreicht.

Im Transfer geht das Serviceangebot des IPEK über klassische Seminar- und Schulungsangebote hinaus:

Durch die Kombination von Wissenstransfer, Weiterbildung und Beratung können an die jeweilige **Zielgruppe angepasste Formate** angeboten werden.

Kern dieser neuartigen Konzepte sind:

- Präzise und spezifische **Situationsanalyse vor Ort** zur Identifikation von Weiterbildungs- und **Kooperationspotentialen**
- Weiterentwicklung **existierender Prozesse** im Unternehmen
- **Überführung bestehender technologischer Kompetenzen des Unternehmens in eine nachhaltige, zukunftsrobuste Wertschöpfung**
- Einsatz von IPEK-Mitarbeitenden in den Entwicklungsteams des Unternehmens vor Ort

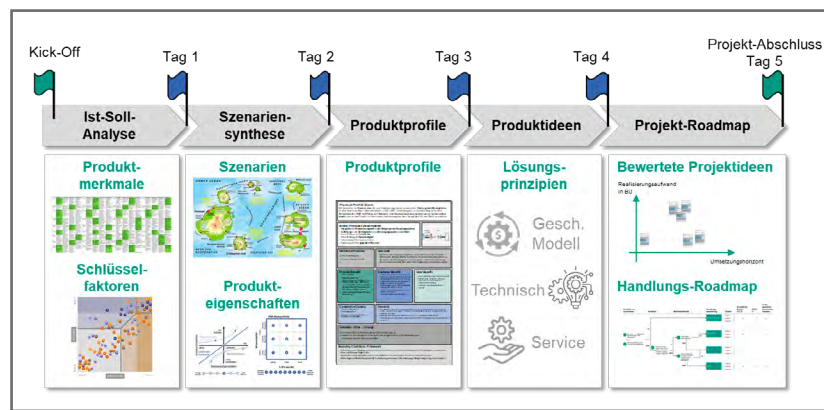
Partizipieren Sie an den vielfältigen Erfahrungen und den Mehrwerten für Ihre Innovations- und Transformationsaufgaben durch Ausbau der **Transferschnittstellen zwischen Forschung, Lehre und Ihrer Innovationsleistung**. Wir finden nicht nur Ihre Problemlösung, sondern helfen Ihnen auch, ein passendes Kooperationsformat zu finden und entwickeln dieses ggf. gleich mit Ihnen neu. Nachstehend finden Sie ausgewählte Beispiele des letzten Jahres.

IPEK@Company

In einem neuartigen Kooperationsmodell zwischen dem IPEK, der KIT Campus Transfer GmbH und beteiligten Unternehmen werden standortübergreifend verschiedene Forschungs- und Innovationsprojekte gemeinsam durchgeführt. Hierbei sind wir regelmäßig bei unseren Kooperationspartnern vor Ort und unterstützen im Technologietransfer durch unsere Expertise in verschiedenen Bereichen wie Forschung, Entwicklung, Versuchsplanung und modernster Prüftechnik. Der enge Austausch führt zu pragmatischen Out-of-the-box-Lösungen und transferiert unser Wissen direkt in die Köpfe Ihrer Mitarbeitenden mit dem Ziel, Innovationszyklen zu verkürzen.

INNO 5 – In 5 Tagen zur Innovation 5 Teilnehmende aus einem Unternehmen + 5 Teilnehmende des IPEK + 5 Tage = Inno 5

Die enge Verzahnung aus Methodenkompetenz und Systemverständnis in verschiedenen Bereichen, ermöglicht es uns einen passenden Workshop für Problemstellungen aus verschiedensten Branchen zu konzipieren.



Systematisch zur Innovation in 5 Tagen – Inno5 war in 2021 und 2022 eines der am häufigsten nachgefragten Kooperationsformate

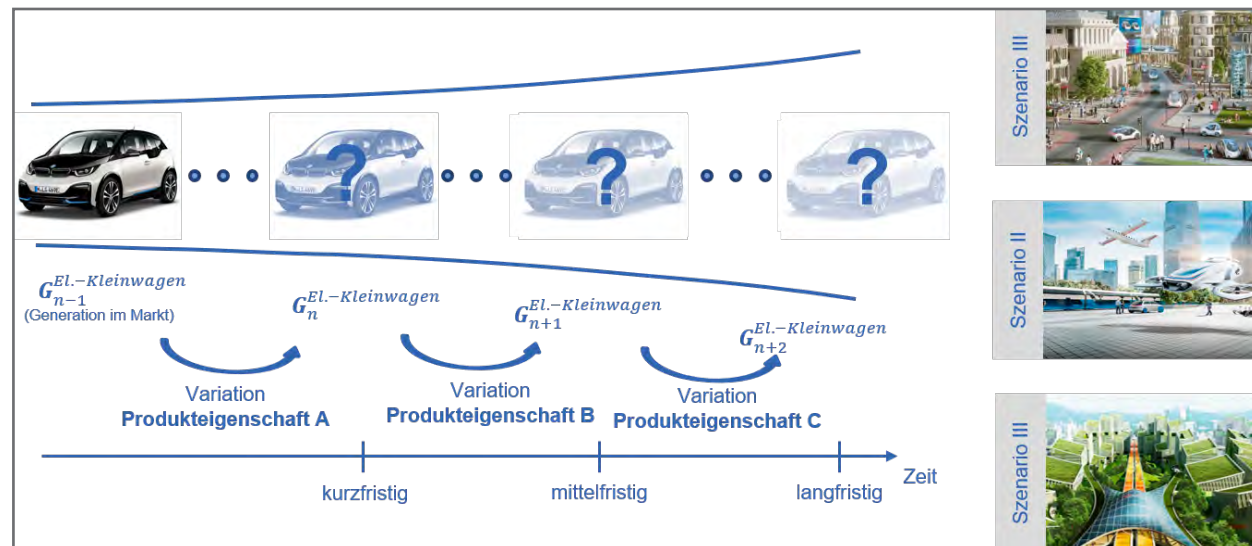
Nachstehende Abbildung zeigt exemplarisch einen erfolgreich durchgeführten Inno5. Die Teilergebnisse der einzelnen Workshop Tage können über den Workshop hinaus verwendet werden. In speziell ausgelegten Räumlichkeiten bieten wir abseits des Arbeitsalltags die Möglichkeit, auch auf Teilschritte des Vorgehens tiefer einzugehen. Bspw. um mit Analysemethoden wie dem C&C2-Ansatz einer Problemstellung auf den Grund zu gehen und mithilfe von Kreativitätsmethoden neue Lösungen zu entwickeln. Unser Ziel ist hierbei nicht nur, dass das Partnerunternehmen mit neuen Lösungen mit hohem Innovationspotential nach Hause geht, sondern auch neue Methoden und Arbeitsweisen kennenlernt.

– Beeindruckt hat vor allem der systematische Ansatz, mit dem wir zu kreativen neuen Lösungen geführt wurden – Inno5-Teilnehmer 2022
Sie wollen innerhalb von 5 Tagen Lösungen mit hohem Innovationspotential entwickeln?

Gerne planen wir mit Ihnen einen Inno5 um das zu erreichen. INNO5 wird, in Zeiten des Umbruchs zu einem wesentlichen Erfolgsfaktor bei der strategischen Weichenstellung.

Generationsübergreifende Produktentwicklung

Kurze Technologiezyklen, Individualisierung, Digitalisierung wirken sich als volatiles Marktumfeld stark auf die Weiterentwicklung von Produkten aus. Resultat sind stark vernetzte und hochkomplexe Produkte und Systeme. Dies hat zur Folge, dass zukünftige Umfeld-Entwicklungen früh in der Produktentwicklung berücksichtigt werden müssen. Bereits seit mehreren Jahren entwickelt das IPEK Ansätze, um diese volatilen Einflüsse beherrschbar zu machen. Aufbauend auf ersten Erkenntnissen in der generationsübergreifenden Produktentwicklung werden in unterschiedlichen Projekten neueste Erkenntnisse umgesetzt: Im Rahmen des von der DFG – Deutsche-Forschungs-Gemeinschaft finanzierten Projektes „Zukunftsrobuste



Zunehmende Volatilität des Marktumfelds und die resultierende Komplexität von Systemen erfordert eine generationsübergreifende Planung von Produkten mit hohem Innovationspotential

Produktentwicklung“ werden gemeinsam mit dem Heinz-Nixdorf-Institut aus Paderborn Methoden und Modelle zur zukunftsrobusten Weiterentwicklung von Produktportfolios erarbeitet.

Auf einer Interviewstudie basierend werden Planungsmuster analysiert und anschließend Normstrategien erarbeitet, welche eine unternehmensspezifische Unterstützung in der Weiterentwicklung des Produktportfolios bieten sollen.

Um die Komplexität der Produktportfolios zu reduzieren, kann mittels vorausschauender Methoden deren interne Vielfalt reduziert werden. Durch die Erhebung zukunftsorientierter Entscheidungsgrundlagen kann durch Gestaltung der modularen Produktarchitektur die Auswirkung externer Einflüsse minimiert werden. Im **Projekt AgiloDrive** wurde hierzu ein Vorgehen entwickelt, welches langfristig feste und flexible Anforderungen in Produktstrukturen identifiziert und eine mögliche Anpassung dieser ermöglicht.

Diese flexiblen Anforderungen können sich während der Lebensdauer eines Produkts ändern, wodurch eine Veränderungsfähigkeit am Markt wünschenswert ist. Mittels Aktualisierungen von Software, bspw. durch Updates over-the-air, können neue Funktionen im mechatronischen Produkt implementiert werden. Dieser Aspekt wird im Forschungsvorhaben Software Defined Car adressiert. Diese Software-Aktualisierungen wirken sich insbesondere auf die verwendete Hardware aus. Die Planung und Implementierung der resultierenden

Hardware-Upgrades wird im Projekt „SofDMobi2 - SWUpCar“ des Innovationscampus Mobilität der Zukunft untersucht.

Unsere Methoden zur zukünftigen Ausrichtung werden nicht nur in Forschungsprojekten angewandt, sondern auch in unseren Innovationsformaten mit Industriepartnern „Inno5 – In 5 Tagen zur Innovation“ und „IP – Integrierte Produktentwicklung“ eingesetzt. Dabei werden Szenarien und die zukünftigen Produkteigenschaften im engen Austausch mit den Industriepartnern in Workshops über mehrere Tage oder Wochen erstellt und beschrieben.

Sie haben Bedarf und Interesse, die Komplexität Ihrer Produkte durch eine zukunftsrobuste Ausrichtung dieser zu reduzieren? Dann sprechen Sie uns gerne an!

IP-Integrierte Produktentwicklung – 25 Jahre Forschung- Lehre-Innovation

Um neugewonnene Erkenntnisse für die Entwicklung von Produktlösungen mit hohem Innovationspotential zu nutzen, startete in Karlsruhe im Oktober 2022 zum 25. Mal die Lehrveranstaltung IP – Integrierte Produktentwicklung.

42 Studierende der Fachrichtungen Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen entwickeln unter der fachlichen Leitung der Adolf Würth GmbH & Co. KG und methodisch,

strukturierter Leitung des IPEKs mit „Anwender*innenorientierte Lösungen für das Gewerk des Dachstuhls im Zeithorizont 2028“.

ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor – Projektbeschreibung und Zusammenfassung des zurückliegenden Projekts im Sommersemester 2022

Im Rahmen der virtuellen Zusammenarbeit zwischen einem Industriepartner und Studierenden des KIT und der Hochschule Karlsruhe (HKA) werden innerhalb eines Zeitraums von drei Monaten innovative Produktideen entwickelt und ausgearbeitet. Entlang des gesamten Projektverlaufs, der sich dabei in vier verschiedene Phasen gliedert, findet eine enge Zusammenarbeit mit dem Projektpartner statt, um damit zielführenden Mehrwert für alle Beteiligten zu schaffen.



In diesem Sommersemester fand ProVIL in Zusammenarbeit mit der Protektorwerk Florenz Maisch GmbH & Co. KG, einem Familienunternehmen mit Hauptsitz in Gaggenau, tätig in der Baubranche, statt.

Nach einer sehr gelungenen Auftaktveranstaltung bei Protektor widmeten sich die Studierenden der Aufgabenstellung, die „Baukörper der Zukunft“ zu identifizieren und mit passenden Produktideen näher auszugestalten. Angefangen bei der Multifunktionalität von Räumen, über die Optimierung von Produktionsverfahren in der Baubranche, bis hin zur Verringerung des ökologischen Fußabdrucks, waren der Fantasie dabei keine Grenzen gesetzt. Aus diesem Grund konnten die Studierenden den Vertretern von Protektor an der Abschlussveranstaltung fünf sehr unterschiedliche, und dennoch mit gleichermaßen hohem Innovationspotential versehene, ausgearbeitete Produktideen samt zugehörigen Prototypen übergeben.



Erfolgreicher zweitägiger Kick-Off der Lehrveranstaltung IP im neubauten Innovationszentrum CUR!O in Gaisbach, Künzelsau

Mensch Maschine Symbiose – Die höchste Form der Mensch-Maschine-Interaktion

„Im Zeitalter von Industrie 4.0 entstehen durch Digitalisierung und Künstliche Intelligenz Tätigkeiten, bei denen Menschen und Maschinen zu „Kollegen“ werden, die zusammenarbeiten.“ Hierbei können Maschinen viele Aufgaben mit höherer Geschwindigkeit und Genauigkeit durchführen, wohingegen der Mensch gegenüber der Maschine seine Stärken in der Kreativität und Intuition besitzt. Bei **reicher Abstimmung zwischen Menschen und Maschine** zur Vereinigung

der Stärken beider, kann sich eine **echte Kollaboration** entwickeln. So beschreibt das Bundesministerium für Bildung und Forschung die zukünftige Rolle des Menschen in der Wertschöpfung im Rahmen der Hightech-Strategie 2025. [1]

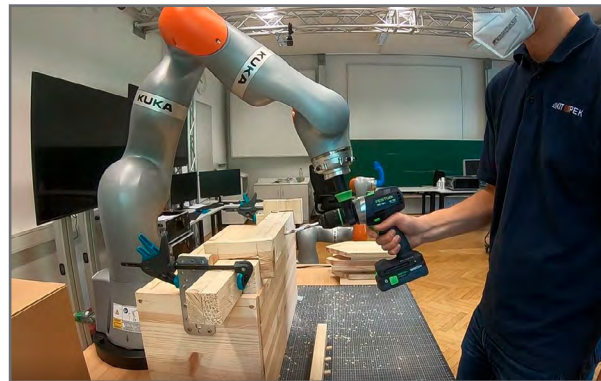
Der Entwurf der Europäischen Kommission zur Industrie 5.0 stellt nun zusätzlich das Wohlergehen der Arbeitnehmer in den Mittelpunkt des Produktionsprozesses und zielt darauf ab, die Mensch-Maschine-Interaktion

individueller auf beide Akteure abzustimmen.

Um einen forschungsseitigen Beitrag zum Leitbild „Industrie 5.0“ der Europäischen Kommission zu leisten, forscht das IPEK im **Future Fields**

„Mensch-Maschine Symbiose“ in interdisziplinärer Kooperation mit

weiteren Instituten (IRS - Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme, KIT; Institut für Psychologie, Uni Freiburg; IAR - Institut für Anthropomatik und Robotik, KIT) an einer **symbiotischen Interaktion zwischen Mensch und Maschine**. Mensch-Maschine-Symbiose beschreibt dabei eine neue Entwicklungsstufe der physischen Mensch-Maschine-Interaktion, in welcher beide Akteure gemeinsam und sich ergänzend eine Aufgabe ausführen. Mensch und Maschine sind in der Lage, die nächsten Handlungsschritte des anderen zu prädictieren und bekommen Feedback zu dessen Wahrnehmung. Sie stellen sich aufeinander ein und können sich somit in ihren **Stärken ergänzen**. Der dadurch entstehende Symbiose-Zustand zeichnet sich durch eine **erhöhte Gesamtperformanz** aus und wird vom Anwender als eine gemeinsame Zielerreichung und als ideal wahrgenommen. [2] Im Folgenden werden drei Aktivitäten des IPEK vorgestellt, mit welchen wir unseren Beitrag zur Gestaltung einer symbiotischen Mensch-Maschine-Interaktion leisten.



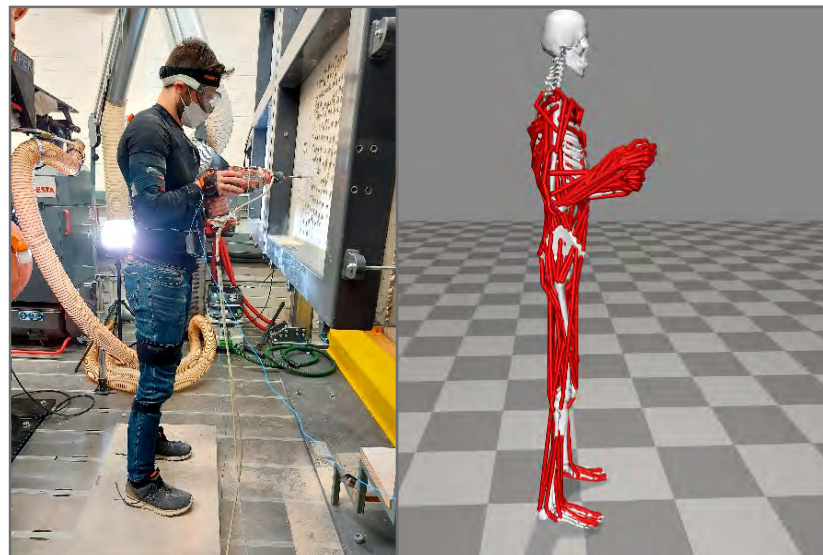
Physische Kopplung eines manuellen Akkuschaubers mit einem Leichtbauroboter bei Montageprozessen im Holzbau zur symbiotischen Verbindung der Flexibilität des Menschen mit der Präzision des Roboters am IRS.

Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion zur Reduzierung körperlicher Beanspruchungen des Menschen

Technische Unterstützungssysteme haben das Potential, den Menschen nicht nur **leistungsfähiger** zu machen, sondern bei geeigneter Gestaltung auch für eine **Reduzierung**

der **Beanspruchung** zu sorgen. Eine falsche Auslegung der Mensch-Maschine-Interaktion kann jedoch auch zu einer ungewollten zusätzlichen Belastung der Anwender führen. Um

dies bei der Entwicklung der Unterstützungssysteme zu vermeiden, können **physische oder simulative Validierungsumgebungen** helfen. Das IPEK forscht schon seit vielen Jahren mit **selbstentwickelten Messmethoden** und der **Integration muskuloskeletaler Menschensimulationssoftware** im IPEK-XiL-Konzept an der Analyse der physischen Mensch-Maschine-Interaktion bei manuellen Tätigkeiten. Das Ziel ist die **passgenaue Entwicklung von Unterstützungssystemen**. Ein großer Vorteil der Integration von virtuellen und physischen Analysemethoden im **IPEK-XiL** ist die schnelle und einfache Variation einzelner Gestaltungsparameter und deren Einfluss auf Gelenkmomenten und Muskelaktivitäten des Menschen. In experimentellen Probandenstudien werden am IPEK, die als Input für die Simulationen notwendigen, Bewegungen und Interaktionskräfte des Menschen in der Anwendung aufgezeichnet. Das IPEK entwickelt im



Überführung der Vermessung von Mensch-Maschine-Interaktion aus experimentellen Probandenstudien in Simulationssoftware

[1] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bmbf.de, "Zukunft der Wertschöpfung - Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit," [Online].

Available: https://www.zukunft-der-wertschoepfung.de/files/BMBF_Broschue_Zukunft_Wertschoepfung_n-Vorwort.pdf

[2] J. Inga et al., "Human-Machine Symbiosis: A Multivariate Perspective for Physically Coupled Human-Machine Systems," International Journal of Human-Computer Studies, p. 102926, 2022, doi: 10.1016/j.ijhcs.2022.102926.

durch die Carl-Zeiss-Stiftung geförderten Projekt „JuBot – Jung bleiben mit Robotern“ ein **generisches Simulationsmodell des Menschen in OpenSim**. Durch einen neuen Ansatz zur Skalierung des Menschmodells können

bisher bestehende Bewegungsdaten, wie sie z. B. in Bewegungsdatenbanken für unterschiedliche Anwendungen bereits vorhanden sind, für die Entwicklung von personalisierten und auf spezifische Nutzergruppen

abgestimmte Produkte genutzt werden. Dies ermöglicht die Nutzung der muskuloskelettalen Simulation, auch ohne die Durchführung aufwändiger experimenteller Laborstudien.

Entwicklung smarter Power-Tools zur Unterstützung des Anwenders durch automatisierte Prozessüberwachung und vernetzte Datenauswertung

Prozesssicherheit im Handwerk hängt von individuellen Erfahrungen und Kompetenzen des Handwerkers ab. Durch die **Nutzung von Sensorik im Power-Tool** und der **digitalen Vernetzung** mit Arbeitsplänen kann die **Prozesssicherheit** und das **Arbeitsergebnis** verbessert werden. Der Nutzer wird durch das Power-Tool durch den Prozess geführt und Fehler werden verhindert.

Im durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt „CoPoT – Connected Power-Tools“ wurde zusammen mit vier Unternehmenspartnern und zwei weiteren Forschungseinrichtungen ein System, bestehend aus einem intelligenten Akkuschauber, einem Werkzeugkoffer als zentrale Recheneinheit und einem Cloudsystem entwickelt. Dieses System ermöglicht durch die Integration von Sensorik und geeigneter Kommunikationstechnologien die **Analyse des Nutzerverhaltens** und die **Erkennung**

des Anwendungsfalls. Situationsbedingt und an die Bedürfnisse des Nutzers angepasst, wird die **passende Unterstützung** bereitgestellt. Die Unterstützung findet beispielsweise zum Erreichen eines gewünschten Arbeitsergebnisses für Bohr- und Schraubvorgänge oder anhand einer interaktiven Aufbauanleitung statt. Zudem lassen sich durch die zentrale Datenauswertung mit modernen KI-Algorithmen Fehler und Abweichungen früh erkennen und eine entsprechende Korrektur veranlassen. Die Kommunikationstechnologie des Edge-Computings wurde inklusive aller relevanter Schnittstellen in eine Power-Tool Applikation integriert und validiert. Durch die Analyse der Daten kann der Nutzungskontext identifiziert und somit Arbeitsschritfolgen sowie das jeweils **erreichte Arbeitsergebnis** dokumentiert werden, ohne Nutzer in ihrer Arbeit einzuschränken. Neben der technischen Umsetzung und Validierung von Unterstützungsfunktionen wird am IPEK

untersucht, wie der **Anwender die Unterstützung wahrnimmt** und wie Mensch sowie Maschine auf **informativischer Ebene** interagieren. Dies zielt darauf ab, weitere Anforderungen für die Mensch-Maschinen-Symbiose zu definieren.

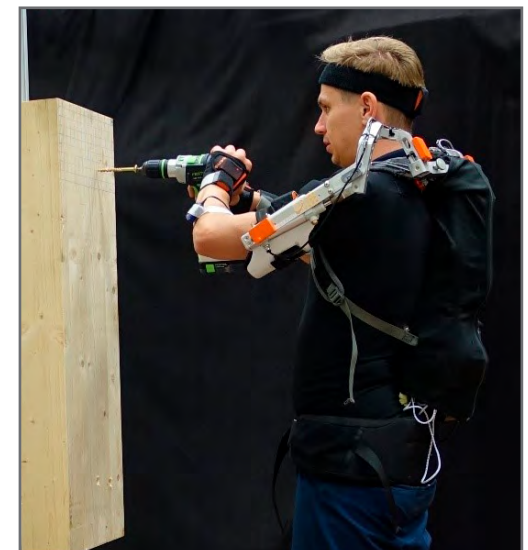


Der im Projekt CoPoT entstandene, smarte Akkuschauber und die Vernetzung mit einem digitalen Werkzeugkasten unterstützen Handwerker beim Erzielen des perfekten Arbeitsergebnisses.

Auslegung von Exoskeletten auf die optimale Unterstützungskraft für den Anwender

Im Baugewerbe und industriellen Montageprozessen können erhebliche Belastungen auf den Menschen entstehen. Die zunehmende kommerzielle Verfügbarkeit von **Exoskeletten** bietet eine zusätzliche **Möglichkeit der physischen Anwenderunterstützung**. Bisher werden die Systeme vom Anwender oft nicht akzeptiert, da die Unterstützung nicht positiv wahrgenommen wird. Zum Beispiel ist die **Unterstützungskraft wesentlich für die Wahrnehmung** des Unterstützungssystems durch den Menschen und damit auch für die **Akzeptanz**. Bei zu geringer Unterstützungskraft findet keine ausreichende Entlastung des Anwenders statt. Gleichzeitig darf beim Anwender aber auch nicht das Gefühl auftreten, die Kontrolle über die Aufgabe zu

verlieren. In einem gemeinsamen DFG-Projekt mit Prof. Wartzack von der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und Prof. Weidner von der Helmut-Schmid-Universität Hamburg wird daran geforscht, **wie Unterstützungssysteme gestaltet sein müssen, um wirksam zu entlasten und akzeptiert zu werden**. Mensch-Maschine-Interaktion ist ein Thema in Ihrer Produktentwicklung. Sie wollen die Innovationspotentiale einer Mensch Maschine Symbiose in Ihren Produkten nutzen? Dann sprechen Sie uns an.



Unterstützung des Anwenders beim Verschrauben von Holzbalken durch vom Exoskelett bereitgestellte Unterstützungskraft im DFG-Projekt.

ASE – Advanced Systems Engineering am IPEK

Megatrends wie Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Individualisierung sind Treiber heutiger und zukünftiger Marktentwicklungen. Unternehmen bleiben nur erfolgreich, wenn sich ihre Produkte in diesem dynamischen Umfeld behaupten können. Dies führt nicht nur zur Steigerung der Komplexität der Produkte, sondern fordert auch die Weiterentwicklung der Wertschöpfungsnetzwerke, in denen der Mensch die zentrale Rolle einnimmt. Unter dem Leitbild „**ASE – Advanced Systems Engineering**“ wird diesen Herausforderungen durch die Forschung des IPEK an **menschzentrierten Methoden, Prozessen und IT-Werkzeugen** für die **Weiterentwicklung von Produkten mit hohem Innovationspotenzial** und den dazugehörigen **Entwicklungsprozessen** begegnet. Ein durchgängiges

wird. Hervorzuheben sind hier die folgenden Kernbausteine: der Szenario-Baukasten zur Exploration alternativer Zukünfte, die IPEK-Methodik für bedarfsgerechte Schulung und Einführung von Model-Based Systems Engineering (MBSE) sowie modellbasiertes Änderungsmanagement im Unternehmen. Der Szenarien-Baukasten am IPEK bietet die Möglichkeit, alternative Zukünfte in Form von Umfeld-, Kunden- oder Produktszenarien zu beschreiben. Auf Basis dieser Zukünfte können wiederum zukunftsrobuste Produktprofile mit kundenrelevanten und kundenerlebbaren Produkteigenschaften abgeleitet werden. Diese Produktprofile bilden den Ausgangspunkt um geeignete Lösungen für zukünftige Systemgenerationen zu entwickeln.

Der Umfang der Nutzung der IPEK-MBSE-Methodik ist je nach Fokus und Anwendungsfall beliebig anpassbar und skalierbar. Der „Advanced Engineering Change Impact Approach – AECIA“, der als Teil der IPEK-MBSE-Methodik das modellbasierte Änderungsmanagement unterstützt, nutzt iterativ aufrufbare Aktivitäten für die Analyse der Ausbreitung und Auswirkungen von (technischen) Änderungen im Produktentstehungsprozess. Hierdurch können potenzielle Risiken der Änderungen frühzeitig erkannt und diesen entsprechend begegnet werden. Zudem wird eine agile Dokumentation und Kommunikation von Änderungsinformationen inkludiert. **Vision** der ASE-Forschung am IPEK ist es, den **Unternehmensherausforderung der Produktentwicklung** im 21. Jahrhundert durch **neue Konzepte** auf Basis des Systems-Engineering zu begegnen. Dies wird durch das **integrierte und skalierbare IPEK-ASE-Framework** ermöglicht, welches kontinuierlich erweitert wird, und Forschungsergebnisse bedarfsgerecht und zielorientiert zur Unterstützung der Produktentstehung in den Unternehmen nutzbar macht. Auf Basis des IPEK-ASE-Frameworks können die entwickelten Methoden, Prozesse und (IT-) Werkzeuge gesammelt, sowie die Schnittstellen für neue Forschungsarbeiten klar definiert werden. Darauf aufbauend können **bedarfs- und situationsgerechte, ganzheitliche Lösungen** für konkrete Anwendungsfälle in **Forschung, Lehre und Innovation** abgeleitet und implementiert werden. Durch die Verbindung zum IPEK-ASE-Framework wird die Konsistenz zwischen den Anwendungen gewährleistet, was eine einfache Erweiterung bzw. Anpassung verwendeter Lösungen ermöglicht. Eine zentrale Forschungsumgebung zur (Weiter-) Entwicklung des IPEK-ASE-Frameworks bietet das Projekt **MoSys – Menschorientierte Gestaltung komplexer System of Systems**. Seit 2020 forscht das IPEK in MoSys in einem Konsortium aus 18 Partnern aus Industrie und Forschung hier an Methoden, Prozessen und IT-Werkzeugen zur Unterstützung von ASE (vgl. QR-Code in der

Abbildung). Durch die intensive Zusammenarbeit im Konsortium können Ergebnisse wie die IPEK-MBSE-Methodik praxisnah evaluiert und (weiter-)entwickelt werden.

Mit dem IPEK-ASE-Framework können wir auch Ihr Unternehmen in gemeinsamen Projekten dabei unterstützen, die heutigen und zukünftigen Herausforderungen der Produktentstehung zu



Erfahren Sie mehr zu **MoSys** (S. 10)



Erfahren Sie mehr über die **IPEK-MBSE-METHODIK**



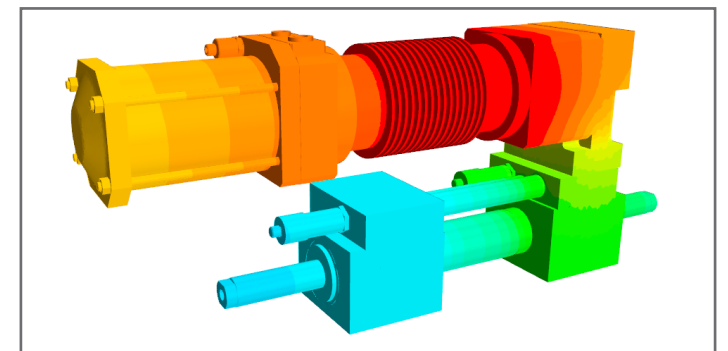
IPEK-MBSE-Methodik als situations- und bedarfsgerechter Ansatz zur ganzheitlichen Modellierung von hochkomplexen Modellen

bewältigen, Ihre Prozesse neu zu denken und Ihre Aufbau- und Ablauforganisation den Anforderungen der Produktentwicklung im 21. Jahrhundert anzupassen. Sprechen Sie uns an.

Temperaturverteilung gestalten – Design-for-Thermomechanik

Die thermisch-mechanische Beanspruchung stellt Entwickelnde von hoch belasteten Bauteilen vor große Herausforderungen. Deshalb erarbeiten wir am IPEK Methoden und Modelle zur **Unterstützung des Design-for-Thermomechanik** von verschiedenen Produkten wie Batteriesystemen, Wasserstoffsystemen, Kupplungen, Getrieben oder Power-Tools. Die Analyse der Gestalt des Produkts erfolgt von Systemebene bis hin zum Wirkflächenpaar. Zu diesem Zweck verwenden wir **Simulationen** wie die **Conjugate-Heat-Transfer-Simulation** (CHT-Simulation). Unsere umfangreiche Messtechnik, wie z. B. faseroptische Messtechnik, Temperaturtelemetrie, Infrarot-Temperatur Sensoren oder Infrarot-Kameras, ermöglicht es uns, den Wärmehaushalt auf unseren Prüfständen im Betrieb reproduzierbar zu ermitteln. Verschiedene CAE-Tools unterstützen die Synthese, um die Anforderungen nach Design-for-Homogeneous-Temperature und einer gleichmäßigen

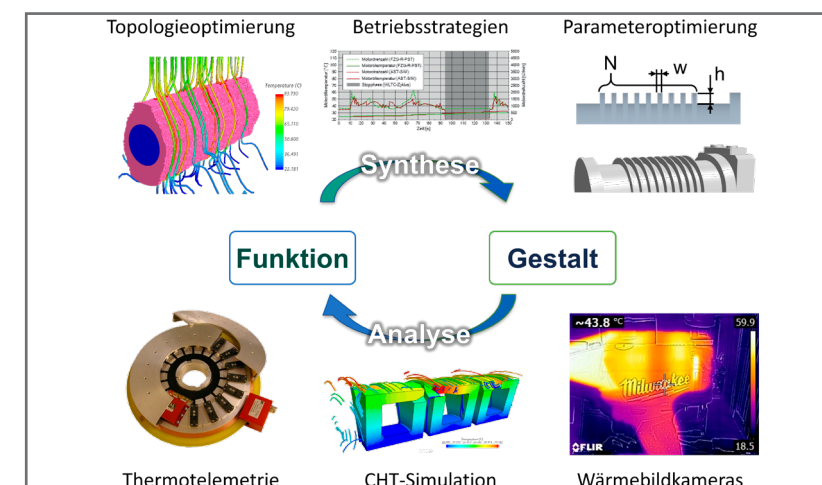
Wärmeabfuhr optimal zu erfüllen. Zusätzlich forschen wir an der Implementierung von verschiedenen Betriebsstrategien, insbesondere für neue Antriebssysteme, wie dem kürzlich am IPEK entwickelten Wasserstoff-Akkuschauber. **Design-for-Thermomechanik von Aktuatoren der primäre Flugsteuerung**, die zu Regelung der Fluglage eingesetzt werden, ist eine besondere Herausforderung, da in Flughöhen von bis zu 12 km extreme thermische Umgebungsbedingungen herrschen. Daher arbeitet das IPEK mit sieben weiteren Partnern aus der Luft- und Raumfahrtindustrie und der universitären Forschung im Luftfahrtforschungsprogramm LuFo VI-2 am thermisch-mechanischen Design und



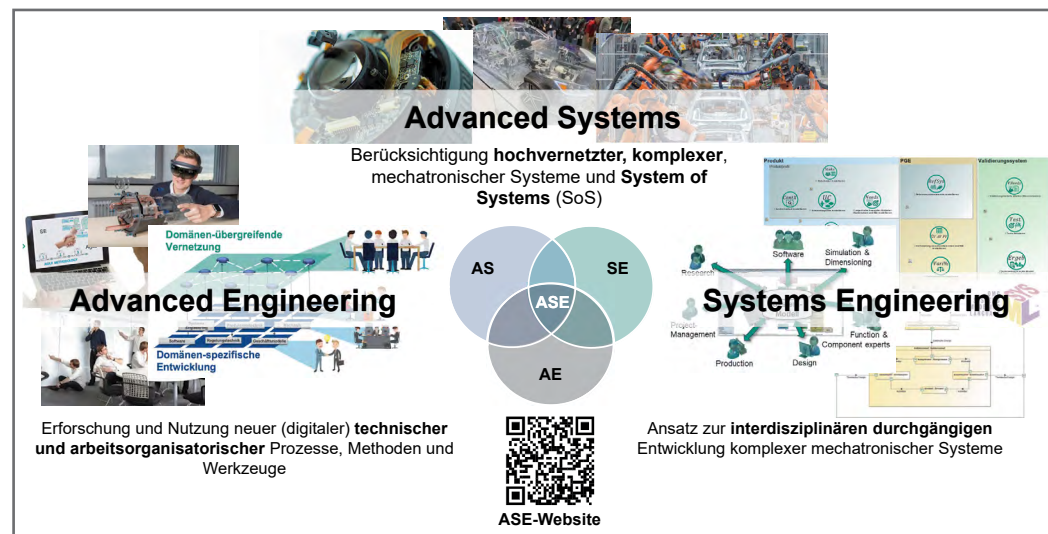
Design-for-Homogenous Temperature am Beispiel eines Aktuators: Die Temperaturverteilung des Ausgangsmodells (links) wurde durch zusätzliche Wärmebrücken stark homogenisiert (rechts).

der Erprobung von Aktuatoren der primäre Flugsteuerung. Ein Ansatz zum effizienten thermisch-mechanischen Design ist die **automatisierte Optimierung** auf Basis von **CHT-Simulationen**. Hierbei werden neue Designs synthetisiert, welche durch Wärmebrücken den Temperatureausgleich im System verbessern. Auf unserem **XiL-Prüfstand** kann der Flugzeugaktuator simulativ in ein Flugzeug integriert und hinsichtlich der Wärmeentwicklung getestet werden. Durch Einsatz thermischer Koppelsysteme können so thermische Wechselwirkungen, welche zwischen der Umgebung, dem Flugzeug und dem Aktuator auftreten, auch am Prüfstand abgebildet werden. Mit diesen realitätsnahen Tests lässt sich bereits früh die Zuverlässigkeit thermisch-mechanisch beanspruchter Systeme bewerten.

Sie möchten die Wärmekapazität von Bauteilen gleichmäßig und vollständig nutzen? Sie möchten Temperaturspitzen durch ungünstige Designlösungen vermeiden? Sprechen Sie uns an!



Optimales thermisch-mechanisches Design durch Methoden und Modelle des IPEK



Leitbild ASE - Advanced Systems Engineering: integrierte Betrachtung der drei Handlungsfelder Advanced Systems, Systems Engineering und Advanced Engineering

Ziel ist die ganzheitliche Konsolidierung von Forschungsergebnissen und die Integration des Leitbilds ASE in Innovation, Forschung und Lehre. Leitbild ASE - Advanced Systems Engineering: integrierte Betrachtung der drei Handlungsfelder **Advanced Systems, Systems Engineering und Advanced Engineering**. Durch strukturierte und agile Ansätze des ASE können Unternehmen bei der menschenorientierten Entwicklung von hochkomplexen Produkten mit hohem Innovationspotenzial unterstützt werden. Diese Ansätze sind Bestandteile eines integrierten ASE-Frameworks, welches durch das IPEK in unterschiedlichsten Forschungs- und Entwicklungsprojekten angewendet, stetig evaluiert und weiterentwickelt

Mit der **IPEK-MBSE-Methodik** wird ein **Rahmenwerk** zur konsistenten und bedarfsgerechten **Einführung und Umsetzung von MBSE in Unternehmen** bereitgestellt. Die IPEK-MBSE-Methodik integriert Methoden, Modellierungssprachen, Rahmenwerke und (Software-) Tool-Templates, die für die unternehmensspezifische Einführung von MBSE bedarfsgerecht kombiniert werden. Hierdurch kann die Akzeptanz der Anwendung von MBSE in der Praxis der Unternehmen unterstützt und gesteigert werden. Ein Fokus liegt auf der Menschenorientierung der Methodik. Forschungen am IPEK zeigen, dass MBSE-unerfahrene Personen mit der IPEK-MBSE-Methodik in wenigen Tagen konsistente Systemmodelle erstellen und nutzen können.

ganzheitliche Lösungen für konkrete Anwendungsfälle in **Forschung, Lehre und Innovation** abgeleitet und implementiert werden. Durch die Verbindung zum IPEK-ASE-Framework wird die Konsistenz zwischen den Anwendungen gewährleistet, was eine einfache Erweiterung bzw. Anpassung verwendeter Lösungen ermöglicht. Eine zentrale Forschungsumgebung zur (Weiter-) Entwicklung des IPEK-ASE-Frameworks bietet das Projekt **MoSys – Menschorientierte Gestaltung komplexer System of Systems**. Seit 2020 forscht das IPEK in MoSys in einem Konsortium aus 18 Partnern aus Industrie und Forschung hier an Methoden, Prozessen und IT-Werkzeugen zur Unterstützung von ASE (vgl. QR-Code in der

Datengetriebene Konstruktionsforschung

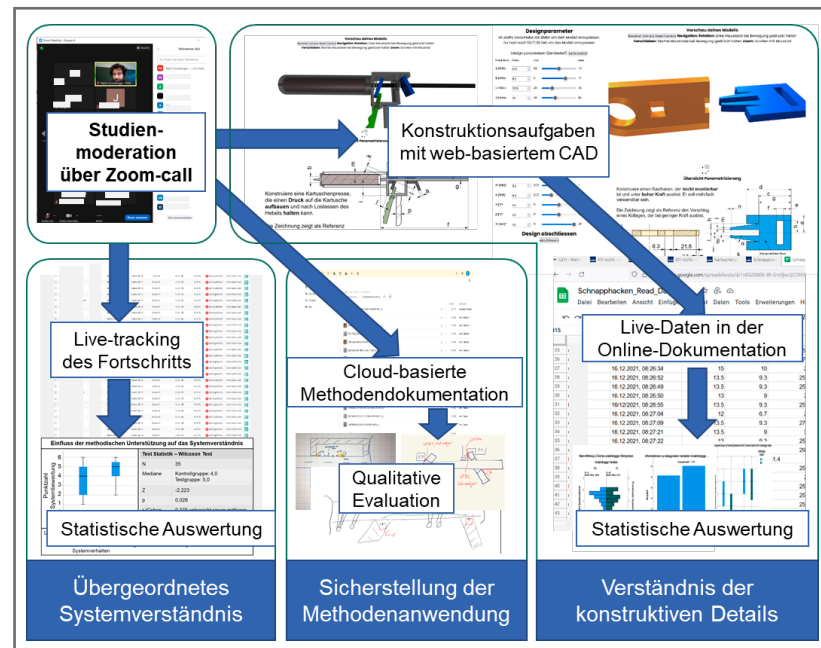
Eine **große Herausforderung** in der **Konstruktionsforschung** ist die Überprüfung, ob eine entwickelte Methode auch die gewünschte **Wirksamkeit** hat. Etablierte Studiendesigns, wie die klinischen Studien für die Arzneimittelzulassung in der Medizinforschung, mit denen die Wirksamkeit untersucht werden kann, finden sich in der Konstruktionsforschung aus verschiedenen Gründen kaum. Zum einen sind die Aufgabenstellungen häufig sehr umfangreich und nicht reproduzierbar, zum anderen fehlen geeignete Studiendesigns, um neue Methoden auf den Prüfstand stellen zu können.

Um die notwendige Anzahl an Probanden für belastbare Aussagen zu erreichen, werden Studien in der Konstruktionsforschung deshalb oft anhand von abstrahierter Aufgabenstellung durchgeführt. Dagegen sind Studien mit realitätsnahen Aufgabenstellungen meist auf wenige ProbandInnen begrenzt. Am **IPEK** wurde nun ein **Studiendesign** entwickelt, mit dem es möglich wird, **realitätsnahe Aufgabenstellungen** mit vielen Studienteilnehmenden **statistisch abgesichert** (large-scale Studien), zu untersuchen.

Die Fokussierung auf den Kern der Konstruktion – das Identifizieren und Festlegen von funktionsrelevanten Gestaltungsmerkmalen in einem zuvor gewählten Konzept – ermöglicht, Konstruktionsaufgaben ohne längere Einarbeitung der TeilnehmerInnen durchzuführen. In Kooperation mit dem pdjz der ETH Zürich und mit Nutzung von CAD-Umgebungen wurden web-basierte Konstruktionsaufgaben für large-scale Studien entwickelt.

Etwa 400 TeilnehmerInnen nahmen bisher an der Methodenschulung teil, in der eine Aufgabenstellung mit CAD-Nutzung durch web-basierte CAD Modelle simuliert wurde. In Kombination mit einem bereits etablierten Studiendesign konnte dieser Ansatz der datengetriebenen Konstruktionsforschung genutzt werden, um bislang nicht erforschbare Erkenntnisse zu gewinnen. Hierbei wird zunächst die **Konstruktion** als Aktivität zeitlich gerafft abgebildet.

Da der **iterative Erkenntnisgewinn** durch das **Testing** ein Kern der Konstruktion



Übersicht der Konstruktionsaktivitäten mit den Möglichkeiten zur datengetriebenen Forschung

ist, wurde das Studiendesign nach erfolgreicher Durchführung um Testing-Aktivitäten erweitert. Diese müssen ebenfalls zeitlich gerafft werden, um sie im Rahmen von Methodenschulungen abbilden zu können. Es wurde eine Schnittstelle zur **Rapid-Prototyping Fertigung** implementiert, mit dem die durchgeführten konstruktiven Änderungen direkt im Testing überprüft werden können. Dies ist sowohl in Echtzeit (Fertigungszeit 17s pro Iteration) als auch standortverteilt möglich. Damit wird es für die Probanden nun möglich, in kürzester Zeit Feedback zu ihrer

Konstruktion zu erhalten und daraus **iterativ lernen** zu können. Ein erster Probelauf mit Prof. em. Dr.-Ing. Klaus Ehrlenspiel und Prof. Dr.-Ing. Herbert Birkhofer zeigte das Potential dieser Erweiterung.

Die erweiterte Konstruktionsstudie kann durch die Möglichkeiten, verschiedene Strategien des Testing zum Aufbau von Konstruktionswissen selbst erleben zu können, auch zur **Weiterbildung in Unternehmen** genutzt werden. Am Aufbau von large-scale Studien interessierte Forschungsstellen unterstützten wir ebenfalls gerne.



Testing

Optimierung der Konstruktion aus dem erarbeiteten Konstruktionswissen

Sensorintegrierende Schrauben zur mehrachsigen Kraftmessung

Für die Zukunftsthemen im Maschinenbau wie Digitalisierung, Industrie 4.0 etc., sind die in Maschinen und Anlagen erhobenen Daten Grundlage. Doch wie können diese überhaupt flächendeckend und in geeigneter Qualität erhoben werden? Zur Erforschung der dafür notwendigen Grundlagen wurde das Schwerpunktprogramm **„Sensorintegrierende Maschinenelemente als Wegbereiter flächendeckender Digitalisierung“** (SPP 2305) von der DFG eingerichtet,

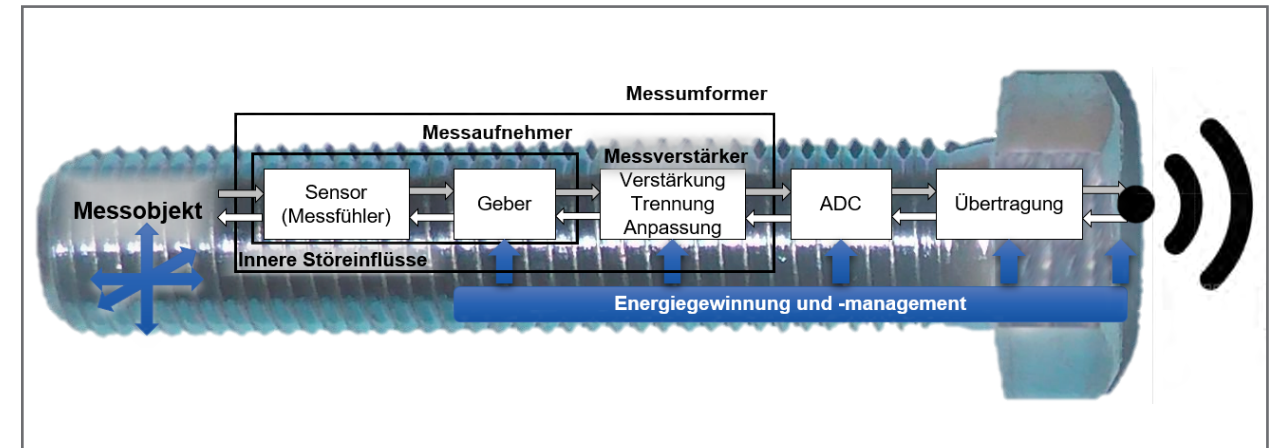
in dem in 10 Teilprojekten sensorintegrierende Maschinenelemente erforscht werden. Am IPEK wird zusammen mit Kollegen der TU-Darmstadt an **sensorintegrierenden Schrauben** geforscht.

Das Hauptziel liegt in der Erforschung, Konzeption und Entwicklung einer sensorintegrierenden Schraube mit mehrachsiger Kraftmessung, die weiterhin die Haltefunktion erfüllt und gleichzeitig sensorische Daten zur Betriebsbeanspruchung zur Verfügung

stellt. Dazu ist eine energieautarke Lösung notwendig, die aus einem hermetisch abgeschlossenen Raum Daten übertragen kann.

Zusätzlich wird im Rahmen des Gesamt-SPPs durch eine intensive Zusammenarbeit der beteiligten Teilprojekte eine **Entwurfsmethodik** für die **Mechatronisierung von Maschinenelementen** abgeleitet.

Wenn bei Ihnen Datenerhebung in der Maschine während des Betriebes ein Thema ist, sprechen Sie uns an.



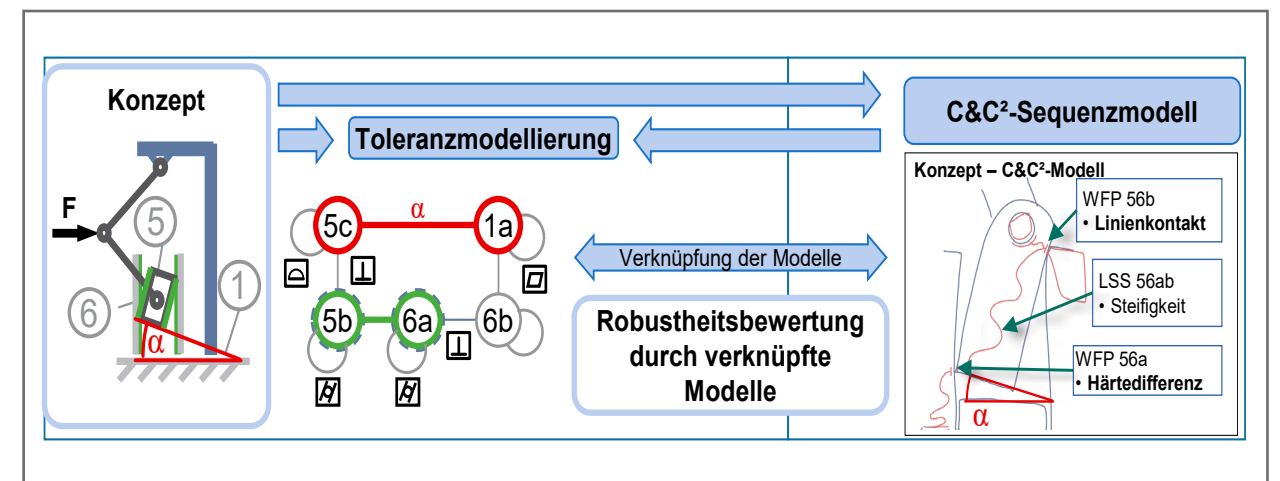
Bauraumneutrale, sensorintegrierende Schraube zur mehrachsigen Kraftmessung mit drahtloser Datenübertrag und interner Energieversorgung.

Ein modellbasierter Ansatz zur frühen Robustheitsbewertung

Die frühe Umsetzung von **Robust Design im Entwicklungsprozess** bietet großes Potential zur Steigerung der Effizienz der Produktentwicklung, da Änderungskosten im Entwicklungsverlauf exponentiell zunehmen. Bislang können Aspekte des Robust Design jedoch erst spät in der Gestaltung berücksichtigt werden, da für sie detaillierte Gestaltungsdaten notwendig sind.

Bestehende Modelle in der Gestaltungs- als auch der Toleranzdomäne eignen sich nur anteilig für die ganzheitliche Robustheitsbewertung. Um die Brücke zwischen den Domänen zu schlagen, wird im Rahmen eines DFG-Projekts in einer Kooperation des IPEK mit dem Lehrstuhl für Konstruktionstechnik in Erlangen erforscht, wie C&C²-Modelle mit Toleranzgraphen in ein **gemeinsames Modell** überführt werden können.

Ziel des Forschungsvorhabens ist ein **Ansatz für eine ganzheitliche Robustheitsbewertung**, der sich bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung mechanischer Produkte anwenden lässt. Wenn Sie Ihre Produkte bereits früh robust auslegen möchten und das Risiko eines späteren Konzeptwechsels verringern wollen, kommen Sie gerne auf uns zu.



Verknüpfung von Toleranzgraph und C&C²-Modell

Führungskompetenzen in Zeiten von New Work – Kompetenzen neu gedacht

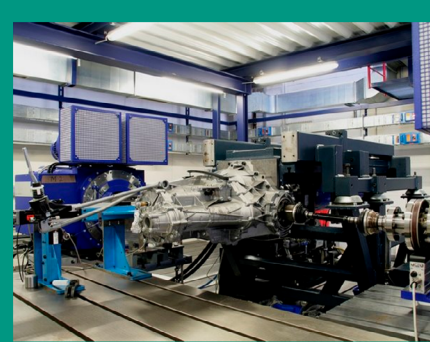
Entwicklungen wie Digitalisierung, demografischer Wandel und individuelle Bedürfnisse der Mitarbeitenden veranlassen Unternehmen dazu, Arbeit grundsätzlich anders zu denken. Aus dem neuen Verständnis des **New Work** ergibt sich die Frage, ob Teams in Zukunft anders geführt werden müssen und wenn ja, welche Kompetenzen von Führungskräften gefordert werden.

Im Rahmen einer Studie am IPEK wurden Kompetenzen zukünftiger Führungskräfte durch Experteninterviews und eine abschließende Relevanzbewertung erarbeitet. Die **wichtigste Erkenntnis der Studie**: Einige Kompetenzen, wie bspw. **Kommunikationsfähigkeit**, werden

weiterhin von großer Bedeutung sein. Die **Systemkompetenz** gewinnt aufgrund der steigenden Vernetzung von Advanced Systems an Relevanz. Die Kompetenz, den Menschen und dessen Bedürfnisse in den Mittelpunkt der Produktentwicklung zu setzen, ist für **zukünftige Führungskräfte zentral**.

Das IPEK versteht sich auch als „**Testumgebung**“ für **New Work Konzepte** und vermittelt die benötigten Kompetenzen in der alltäglichen Arbeit. Dadurch trägt das IPEK entscheidend zur Ausbildung zukünftiger Führungskräfte bei. Gerne unterstützen wir Sie bei der Entwicklung individueller Weiterbildungsconzepte

und begleiten Sie auf Ihrem Weg zu New Work.



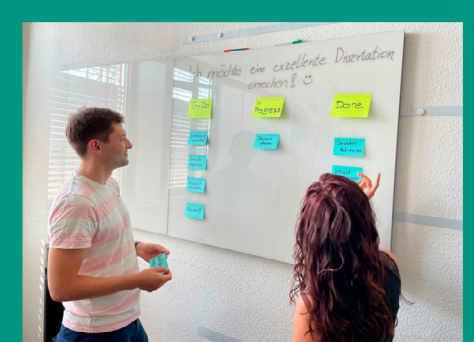
Fachkompetenzen



Sozialkompetenzen



Methodenkompetenzen



Selbstkompetenzen

Das IPEK agiert als „Testumgebung“ für neue Methoden, Prozesse und Tools im New Work und trägt damit entscheidend zur Vermittlung der benötigten Kompetenzen zukünftiger Führungskräfte in den Bereichen der Fach-, Methoden-, Sozial- und Selbstkompetenzen bei.

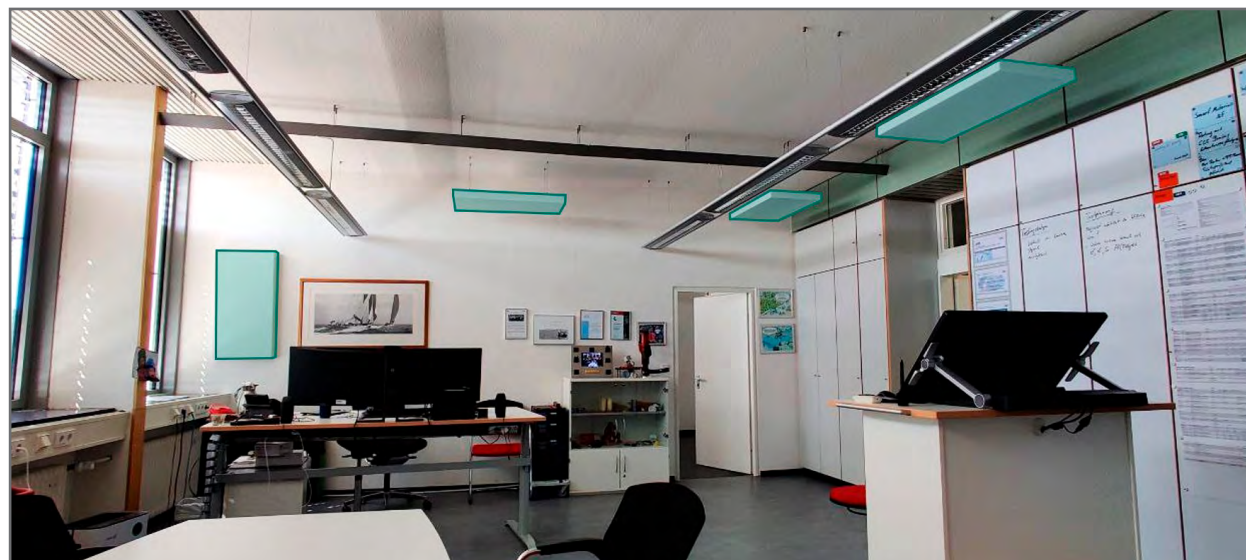
New Work am IPEK – Gestaltung der Arbeitswelt von morgen mit den IPEK-Kompetenzen

New Work umfasst die **Gestaltung neuer Arbeitsformen**, die auf ein großes Maß an **Selbstbestimmung, agile Zusammenarbeit** und **neue Führungskompetenzen** setzen, ergänzt um die zu den Mitarbeitenden und den Aufgaben passende Ausgestaltung von **Arbeitsort, -technologie und -organisation**. New Work ist als Leitprojekt zur Erprobung neuer Ansätze für die Arbeitswelt von morgen Teil der Dachstrategie KIT 2025.

Als eins von fünf ausgewählten Pilotprojekten testet und analysiert das IPEK Potenziale von New Work durch:

- Neue Raumnutzungsszenarien zur individuellen Gestaltung des Arbeitsorts
- Verbesserung der Raumakustik als Grundlage der hybriden Zusammenarbeit
- Agiles Projektmanagement für Forschung und Unternehmen

Dabei werden Kompetenzen aus **allen Forschungsgruppen** des IPEK miteinbezogen, um die Herausforderungen für die Gestaltung der Arbeitswelt von morgen zu lösen. Nur so lassen sich optimale Arbeitsformen finden, die den Menschen als Individuum in den Mittelpunkt stellen. Die gesammelten Erkenntnisse ermöglichen es uns, Sie auf Ihrem **Transformationsprozess** ins New Work zu begleiten und gemeinsam Ihren individuellen Weg zu finden. Sprechen Sie uns an!



Erfolgreiche akustische Raumoptimierung als Beispiel für die Einbindung der NVH-Kompetenz des IPEK: Basierend auf Messungen von Sprachverständlichkeitsindex und Nachhallzeit konnte durch gezielte Optimierung der Raumakustik mit dämpfenden Akustik-Panels, eine starke Verbesserung auch für hybride Meetings bewirkt werden.

10 Jahre Modellbibliothek am IPEK – Technik verstehen durch (Be)greifen

Die Forschung zeigt, dass die **rechte Gehirnhälfte des Menschen primär zuständig ist für die Verarbeitung von Bildern, Musik und räumlichem Denken**. Die kreative, intuitive Lösungsfindung für technische Probleme wird ganz wesentlich von der Leistungsfähigkeit dieses Denkens beeinflusst. Wie kann dieses Denken stimuliert werden? Wesentlicher Hebel ist das „gesehen, angefasst und verstanden haben von realen Lösungselementen“. Dies Studierenden möglich zu machen war die Idee von Prof. Albers mit dem **Konzept der IPEK-Modellbibliothek**, die nach einigen Vorarbeiten vor nun 10 Jahren Realität geworden ist. Ziel war es, physische Artefakte in Form von Modellen zur Verfügung zu stellen, die den Studierenden **wie Bücher in einer Bibliothek an die Hand gegeben werden**

können. Der erste Schritt zur Realisierung war die Suche nach einem geeigneten Raum. Im Keller eines Vorlesungsgebäudes wurde ein geeigneter Platz gefunden und zu einem hellen und ansprechenden Raum umgebaut. Unternehmen, Privatpersonen und Studierende wurden angesprochen mit der Bitte, Modelle zur Verfügung zu stellen. Dem Aufruf folgten ein großes Echo und viele Modelle. Auch Prof. Albers und Prof. Matthiesen trugen Modelle aus ihrer Unternehmenstätigkeiten bei. Mittlerweile umfasst die Modellbibliothek über 2.500 physische Modelle. Kontinuierlich wird der Bestand durch neue Modelle ergänzt. Um den Informationsgehalt weiter zu steigern, stehen auf einer Internetseite detaillierte Beschreibungen, 22.000 Bilder, 3.500 Videos sowie Links zu den bereitstellenden Unternehmen

zur Verfügung. Die Modelle dienen wissenschaftlichen Mitarbeitenden und Studierenden als Referenzen. Durch die Einbindung vieler Modelle in die Lehre, werden in den Vorlesungen und Übungen die Konzepte zur Gestaltung und Dimensionierung direkt an den realen technischen Lösungen erklärt.

Nach der Fertigstellung des LAZ - Lern- und Anwendungszentrums Mechatronik zieht die Modellbibliothek in das Foyer des Maschinenbauhochhauses um, wo sie noch präsenter sein wird. Wenn Sie Ihre Produkte als aufbereitetes Modell als Referenzen für unsere wissenschaftlichen Mitarbeitenden und Studierenden zur Verfügung stellen wollen, dann melden Sie sich gerne bei uns.



Vor 10 Jahren startete der Umbau eines dunklen Lagers zu einer hellen lichtdurchfluteten Modellbibliothek am IPEK mit über 2.500 kategorisierten Modellen inklusive umfassender Online-Datenbank.



Wie Produkte nachhaltig und kreislauffähig gestalten?

Die Knappheit zentraler Rohstoffe, verbunden mit dem rasanten Anstieg der Weltbevölkerung, macht Nachhaltigkeit zu einem der aktuellsten Themen in Gesellschaft, Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Die umfassende Betrachtung in der Produktentstehung stellt Unternehmen vor komplexe Herausforderungen, denen wir am IPEK aus unserer Forschung mit neuen Ansätzen begegnen wollen. Dabei sehen wir **Nachhaltigkeit** nicht nur als Randbedingung, sondern **als Chance der Produktdifferenzierung** am Markt und als wichtige Größe **zukünftiger innovativer Produktlösungen**.

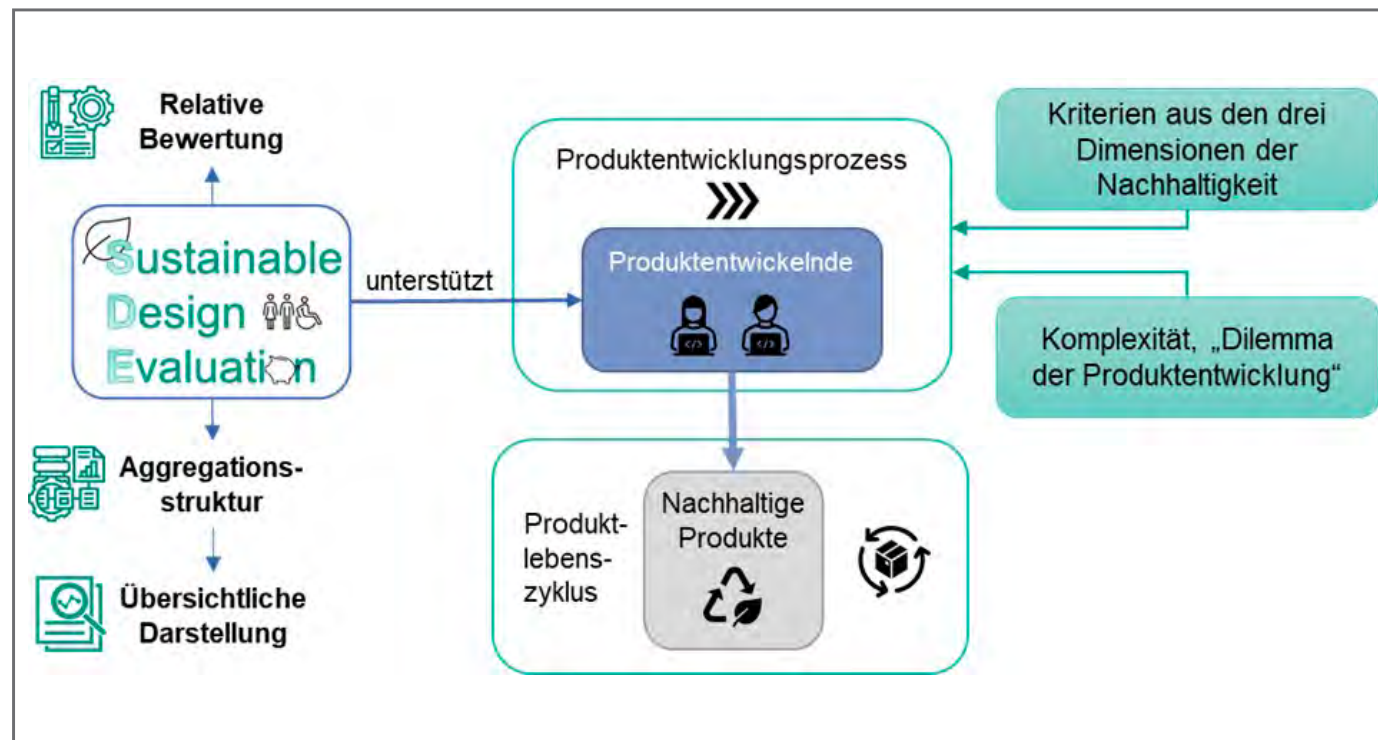
Produktentwickelnden kommt eine zentrale Rolle zu, da sie im Syntheseprozess bei der Ausgestaltung des Produkts hohen Einfluss auf die umweltspezifischen Auswirkungen besitzen. Der am IPEK entwickelte Ansatz „Sustainable Design Evaluation“

Quantifizierung ökologischer, ökonomischer und sozialer Kriterien vornehmen zu können. Ebenso ist eine **enge Verknüpfung der Produkt- und Produktionssystementwicklung – Produkt-Produktions-Codesign** notwendig, um bspw. das Potential der Kreislaufwirtschaft zu erschließen. Aktuell wird ein Ansatz erforscht, wie auf zirkuläre Prozesse zugeschnittene Produkte entwickelt werden können, in dem Wechselwirkungen mit dem Produktionssystem in die Produktplanung integriert werden. Hier sind vor allem eine **langfristige Produktportfolio-Planung** und eine **zukunftsrobuste Produktarchitekturgestaltung** relevant.

In Kooperation mit der KIT Academy for Responsible Research, Teaching, and Innovation (ARRTI) thematisieren wir darüber hinaus **Verantwortung und Ethik in der Produktentwicklung**. Den Studierenden wird eine

Am IPEK haben wir durch unsere Aktivitäten umfassende Kompetenzen hinsichtlich der Identifikation von Nachhaltigkeitspotenzialen, Metriken zur Bewertung der Nachhaltigkeit innerhalb der Produktentstehung, Erarbeitung von Lösungskonzepten für Architektur und Komponenten sowie der Unterstützung bei der Auskonstruktion und Prototypendefinition aufbauen können.

Gerne bringen wir diese Kompetenzen in Ihre Entwicklung innovativer nachhaltiger Produktlösungen ein.

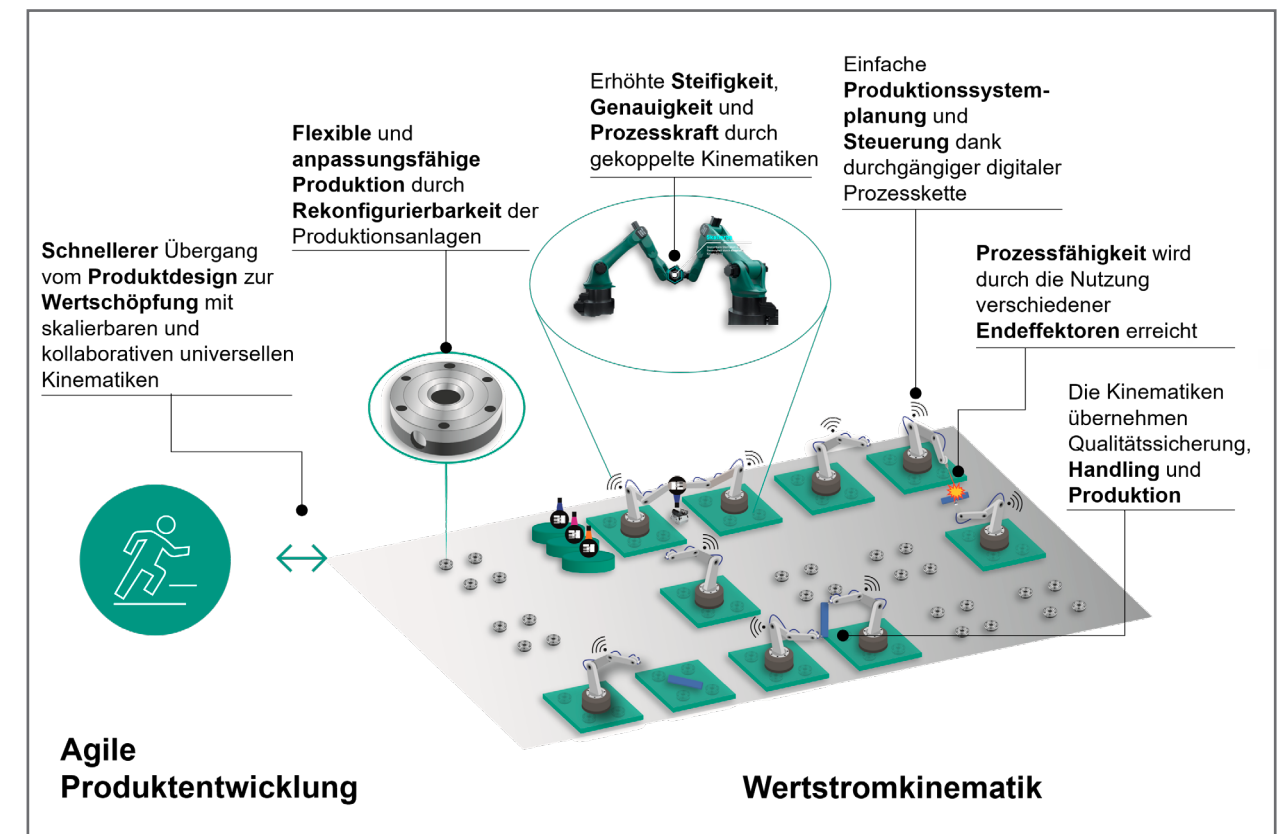


Sustainable Design Evaluation - Ein Ansatz zur Integration der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit in den Produktentwicklungsprozess

unterstützt Produktentwickelnde, die Auswirkungen ihrer Entscheidungen in allen Phasen des Produktentstehungsprozesses hinsichtlich nachhaltiger Aspekte zu bewerten. Dafür wird ein zweistufiges Bewertungsverfahren verwendet, um eine vergleichbare

Grundkompetenz zum Umgang mit Verantwortungsfragen in der Berufspraxis vermittelt. Diese Kompetenz wird in unsere Lehrformate integriert und mit wissenschaftlichen Mitarbeitenden am IPEK reflektiert.

Potentiale flexibler Produktionssysteme für die agile Produktentstehung am Beispiel der Wertstromkinematik



Steigende Kundenanforderungen, kürzere Produktlebenszyklen, eine höhere Volatilität des Marktumsfelds und immer strengere gesetzliche Vorgaben führen zu einer zunehmenden Komplexität und Dynamik des gesamten Produktentstehungsprozesses. Agilität im Sinne des am IPEK entwickelten Ansatzes des **ASD – Agile Systems Design** ist ein zentrales Instrument, um auf dynamische Einflüsse adäquat reagieren zu können und Innovationsfähigkeit sicherzustellen. Agile Methoden sind in der Softwareentwicklung bereits weit verbreitet und angesichts der erwarteten Vorteile ihrer Anwendung in der Produktentwicklung mechatronischer Produkte daher zunehmend im Fokus von Unternehmen.

Starre Produktionssysteme können jedoch den Anforderungen an moderne, agile Produktentwicklungsprozesse nicht mehr vollumfänglich gerecht werden.

Am IPEK entwickeln wir im Rahmen unserer Forschung daher gemeinsam mit Unternehmens- und akademischen Partnern Ansätze, wie **flexible Produktionssysteme**, die in der Lage sind auf produktionsystembezogene Anforderungen des jeweiligen Produkts flexibel zu reagieren, bereits in der frühen Produktentwicklung verankert werden können. Als Grundlage dient dem IPEK hierbei der Ansatz des **Produkt-Produktions-CoDesign**. In enger Verzahnung mit Unternehmen wurden in einem gemeinsamen Forschungsprojekt am IPEK daher spezifische Potentiale flexibler Produktionssysteme zur Auflösung von Agilitätsbarrieren im Produktentwicklungsprozess identifiziert. Als Grundlage hierfür diente dabei das flexible Produktionssystem „**Wertstromkinematik**“, das gemeinsam mit unseren Partnern unter der Federführung des wbk – Institut für Produktionstechnik am KIT entwickelt wurde

(siehe hierzu auch <http://www.wertstromkinematik.de/>). Dieses neuartige Produktionskonzept sieht vor, ganze Produktionen durch die Verkettung zahlreicher identischer, roboterähnlicher Kinematiken zu gestalten. Das so geschaffene Produktionssystem besitzt eine Wandlungsfähigkeit, die es ermöglicht, das volle Potenzial von Industrie 4.0 auszuschöpfen und so zur Erhaltung und Anpassung globaler Wertschöpfungsketten beizutragen. Unsere Untersuchungen zeigen, dass ein Großteil der Agilitätsbarrieren an der Schnittstelle von Produktionssystem und Produktentwicklung durch die dynamische Erweiterbarkeit und Anpassungsfähigkeit eines flexiblen Produktionssystems wie der Wertstromkinematik aufgelöst werden können. 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, kommen Sie gerne auf uns zu!

Neue Lehrveranstaltung: Re:Invent – Revolutionäre Geschäftsmodelle als Basis für Produktinnovationen

In Re:Invent vermitteln wir Studierenden am IPEK, wie sie ihre Kenntnisse in der Produktentwicklung in **innovative Geschäftsmodelle** einbetten. Durch dieses neue Format lernen die Studierenden, den bevorstehenden **Wandel** hin zu **nutzerorientierten Produkt-Service-Systemen** aktiv zu gestalten.

Um diese Thematik mit Praxisbezug zu vermitteln, konnte die Fakultät für Maschinenbau Herrn Dr. Tom Schneider, Geschäftsführer Entwicklung bei TRUMPF Werkzeugmaschinen, als Dozent gewinnen. Durch die Vermittlung der Lehrinhalte sind die Studierenden in der Lage, die **Zusammenhänge von Geschäftsmodellen und den heutigen Herausforderungen** wie globaler Wettbewerbsdruck, Dekarbonisierung und Datensouveränität zu beschreiben und mit Produktinnovationen zu verknüpfen. Begleitet

wird die Lehrveranstaltung von mehreren **Workshops**, in denen praxisorientiert die Produkteinführung in die europäischen Märkte erarbeitet wird. Am Beispiel von TRUMPF Werkzeugmaschinen wird das erste industrielle Pay-per-Part Geschäftsmodell diskutiert und weitere Ideen in studentischer Teamarbeit exploriert. Durch die Interaktion mit den Studierenden wird wertvoller und neuer Input für die kooperierenden Unternehmen generiert und transportiert.

Ist eines Ihrer Produkte an ein neues Geschäftsmodell angepasst worden und damit zur Produktinnovation geworden? Gerne können wir dies als Teil einer spannenden Case-Study in unsere Workshops integrieren. Profitieren Sie von weiteren neuen Ideen durch den Austausch mit den Studierenden. Kommen Sie dazu gerne auf uns zu!



Impressionen der Lehrveranstaltung Re:Invent bei der Exkursion in Achern bei der Fischer Group



Preise und Auszeichnungen

■ Felix Leitenberger mit dem Dr.-Ing. W. Höfler Preis ausgezeichnet

Im Rahmen des Maschinenbautags am 15.07.2022 wurde Herr Felix Leitenberger mit dem Dr.-Ing. W. Höfler Preis ausgezeichnet. Der Preis wird jährlich am KIT unter anderem für die beste Masterarbeit im Gebiet der Produktentwicklung und Konstruktion verliehen. Herr Leitenberger hat durch seine Abschlussarbeit die Forschungsarbeiten des IPEK im Bereich der

Systemzuverlässigkeit vorangetrieben. Sein Forschungsziel war die Modellierung und Simulation thermischer Wechselwirkungen für den Einsatz in XiL-Prüfständen zur Koppelung eines Digitalen Zwilling. Damit wird eine frühe Absicherung von Produkteigenschaften und eine Beschleunigung des Produktentwicklungsprozesses bei gleichzeitiger Verringerung des Entwicklungsrisikos und der Kosten ermöglicht.

■ Design 2022 – IPEK-Team mit dem Reviewers' Favourite Award ausgezeichnet

Im Rahmen der „INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE – DESIGN 2022“ wurde das Autorenteam um Herr Kempf, Herr Sanke, Herr Heimicke, Herr Rapp und Herr Prof. Albers für ihren Beitrag „Identifying Factors Influencing the Design of a Suitable Knowledge Base in Product Engineering Projects“ mit dem Reviewers' Favourite Award ausgezeichnet. Die von der Design



Bekanntgabe

Society ausgerichtete DESIGN stellt eine der größten und bekanntesten Konferenzen im Forschungsbereich der Produktentwicklung dar. In der Veröffentlichung werden Einflussfaktoren aus den Bereichen Markt, Unternehmen, Projekt und Team / Mensch auf das Referenzsystem beschrieben. Das Referenzsystem ist ein zentrales Element des am IPEK – Institut für Produktentwicklung entwickelten Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung, mit dessen Hilfe die Entwicklung eines jeden Produktes auf Basis seiner Referenzen beschrieben werden kann.

Die Veröffentlichung können Sie über diesen QR-Code einsehen:



■ **Dr.-Ing. Nikola Bursac**, ehemaliger Promovend bei Prof. Albers und Oberingenieur am IPEK, hat den Ruf an die TU Hamburg auf die Professur für Smarte Entwicklung und Maschinenelemente angenommen. Das IPEK-Team gratuliert und freut sich auf die weitere Zusammenarbeit. Prof. Bursac ist der 12. ehemalige Doktorand von Prof. Albers, der auf eine Professur berufen wurde.



Weitere Neuigkeiten können Sie über diesen QR-Code einsehen:





Das IPEK Team bei den Think Days - endlich wieder in Präsenz.

Promotionen

■ Martin Bochterle

Methodenbausteine für die empirische Modellierung des Verhaltens technischer Systeme im Rahmen der Produktentwicklung auf Basis linearer Regression

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

■ Frank Bremer

Ermittlung von Erfolgsfaktoren für die Bildung quantitativer Gestalt-Funktion-Zusammenhang-Modelle in der Gestaltung anhand einer Fallstudie zu Sichelmessern

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen

■ Matthias Eisenmann

Validierungs-Navigator – ein Referenzprozess für Validierungsstudien zur Wirkung von Konstruktionsmethoden

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen

■ Joshua Fahl

Produktportfolio-übergreifendes Spezifizieren von Produktfunktionen der Sportwagenentwicklung im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung

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

■ Jannick Fischer

Methode zur Belastungsprognose von PKW- Triebsträngen in frühen Phasen der Entwicklung

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

■ Patric Grauberger

EnhanCE Modelling - Methodenschulung zur Vermittlung und Erforschung von qualitativer Modellbildung mit dem Contact and Channel Approach

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen

■ Thomas Klotz

Ein Beitrag zur experimentellen Untersuchung trockenlaufender Friktionspaarungen im Hinblick auf deren Schädigungs- und Erholungsverhalten während und nach kurzzeitig stark erhöhter Beanspruchung

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

■ David Landes

Ein Beitrag zur effizienten und frühzeitigen Prognose des Einflusses von Subsystemen auf das Außengeräusch von Fahrzeugen

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

■ Sven Revfi

An optimization method for the design of beads in long fiber reinforced polymer structures including the manufacturing process as an approach to realize methodically identified lightweight potentials

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

■ Michael Steck

Frühe funktionale Absicherung in der Antriebstrangentwicklung – Ein Ansatz zur Einbindung von skalierten Teilsystemen durch physisch-virtuelle Leistungsskalierung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen

■ Carolin Sturm

Untersuchungsumgebung und Vorgehen zur Analyse der Zusammenhänge zwischen Gestaltparametern und Radialschwingungen in Polymergehäusen gelagerter Antriebsstränge

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen

■ Michael Uhl

Analyse des Einflusses von Querkraften beim Hammerbohren auf die Arbeitsproduktivität und die Schwingungseinwirkung auf den Menschen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen

■ Jan-Michael Veith

Prädiktion der Belastungskenngrößen von Bauteilen eines Fahrzeugantriebstrangs in Kurzzeitfestigkeitstests auf der Basis von Referenzmessdaten

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

■ Miriam Wilmsen

Ansatz zur Entwicklung von SOLL-Prozess Baukästen für die Instanziierung und Konfiguration von SOLL-Prozess Vorschlägen in der automobilen Vorentwicklung

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

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

Veröffentlichungskennzahlen

- 31 Journals
- 53 Konferenzen (Peer-Review)
- 56 Online-Seminare
- 19 Weiterbildungsveranstaltungen
- 28 sonstige Publikationen



Annika Bastian
Wissenschaftliche
Mitarbeiterin
EMM
November 22



Oskar Jenner
Azubi Werkstatt
Techn. Dienste
Juli 22



Lukas Pähler
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
KM
Juni 22



Arash Beyrami
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
ICM H2
Januar 22



Jamil Kharrat
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
ICM H2
Juni 22



Moritz Seidler
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
EMM
Januar 22



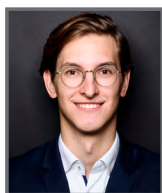
Maximilian Fischer
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
ASE
Februar 22



Sven Lenhardt
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
CAE
Juni 22



Susanne Sutschet
Wissenschaftlicher
Mitarbeiterin
MMS
Oktober 22



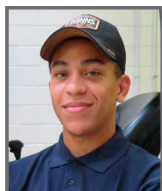
Jonas Freyer
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
AST
Februar 22



Jiahang Li
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
KM
April 22



Leonard Tusch
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
EMM
Oktober 22



Benny Herzog
Azubi Werkstatt
Techn. Dienste
September 22



Johannes Müller
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
EMM
Mai 22



Michael Jäckle
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
EMM
März 22



Oussama Oualha
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
AST
Juni 22

Kontakt



YouTube-Kanal des IPEK



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

Präsident Professor Dr.-Ing. Holger Hanselka
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
www.kit.edu
Karlsruhe © KIT 2022

