



WiGeP

Wissenschaftliche Gesellschaft  
für Produktentwicklung

# NEWS

Mitteilungen der WiGeP  
Ausgabe 2/2024

Liebe WiGeP-Mitglieder,

In dieser besinnlichen Jahreszeit wird die zweite Ausgabe unserer WiGeP-News auch im Jahr 2024 wieder zur Weihnachtspost.

Mit den Veranstaltungen bei Stadler in St. Gallen und der Herbsttagung in Hannover liegen zwei ausgezeichnete Tagungen hinter uns. Auf diesen haben wir neben unseren laufenden SPP's und vielem anderen über die sehr aktuellen Themen SPP-Vorhaben, auch zusammen mit Kollegen der CIRP und des VDMA, diskutiert.

Euer Beitrag für die Produktentwicklung und eure aktive Beteiligung an unserer Vereinigung sind die Kernelemente, die uns zu dem machen, welche wir und damit die WiGeP verkörpern wollen. Hingabe und eure Bereitschaft, den Verein voranzubringen, sind dabei wie immer zu spüren gewesen. Deshalb freuen wir uns darauf, auch im kommenden Jahr gemeinsam die Wissenschaft in der Produktentwicklung weiter anzutreiben.

Möge diese Weihnachtszeit uns allen Ruhe, Frohmut und Zeit geben. Wir wünschen allen ein besinnliches Weihnachtsfest und einen gelungenen Start ins neue Jahr 2025.

Für die Geschäftsstelle,  
Roland Lachmayer, Kevin Herrmann und Max Leo Wawer



# WiGeP Herbstjahrestagung 2024 in Hannover

#zuhausebeifreunden

Vom 25. bis 27. September 2024 fand die diesjährige Herbsttagung der WiGeP in Hannover statt. Die Veranstaltung bot wie gewohnt ein abwechslungsreiches Programm, das fachliche Tiefe mit kulturellen Highlights und geselligem Austausch verband. Ein herzlicher Dank geht an Geschäftsführer Prof. Roland Lachmayer für die Einladung der Gesellschaft und die gelungene Veranstaltung.

Zu dem eigentlichen Programm der Herbsttagung, fand für interessierte Teilnehmende am Vortag der Workshop „Innovative Product Development by Additive Manufacturing (IPDAM)“ ausgerichtet von dem Institut für Produktentwicklung und Gerätebau (IPeG) und dem Laser Zentrum Hannover (LZH) statt. Dieser bot einen spannenden Einblick in die neuesten Entwicklungen und Anwendungen der additiven Fertigung. Der Tag wurde dann mit einem gemeinsamen Abendessen in der Hannoveraner Innenstadt abgerundet, das einen entspannten Rahmen für erste Gespräche und den fachlichen Austausch bot.

Am 25. September startete die Tagung offiziell mit einem Workshop für die weitere Definition und Initiierung der Schwerpunktprogramme im königlichen Pferdestall



Bild 1: Willkommensrede des Universitätspräsidenten Herrn Dr. Epping, hier im Bild mit Prof. Lachmayer, Geschäftsführer der WiGeP

der Leibniz Universität Hannover. Im Fokus stand die Ideenausgestaltung zukünftiger Forschungsprojekte. Der Abend wurde von einem geselligen Get-Together begleitet, dass im Anschluss an dem Workshop in einem italienischen Restaurant in der Nähe der Hannoveraner Oper stattfand.

Am 26. September fand die ordentliche Mitgliederversammlung im Leibnizhaus statt, einem historischen Gebäude, das einst die Hofbibliothek und das Wohnhaus

des Universitätsnamensgebers Gottfried Wilhelm Leibniz beherbergte. Höhepunkt der Versammlung war die Verleihung der WiGeP-Medaille an die diesjährigen Preisträger Prof. Abramovici und Prof. Albers. Beide wurden für ihr herausragendes Engagement und ihre Schlüsselrolle beim Zusammenschluss des Berliner Kreises und der WGMK geehrt. Die Laudationen hielten ihre langjährigen Wegbegleiter Prof. Höhn und Prof. F. L. Krause.



Bild 2: Gruppenfoto in den Herrenhäuser Gärten





Bild 3: Laudatoren und Preisträger der diesjährigen WiGeP-Medaille, zusammen mit Prof. D. Krause

Der Abend führte die Teilnehmer zu den Herrenhäuser Gärten, wo eine Führung durch die historischen Gärten und ein festliches Gala-Dinner den Tag abrundeten.

Am letzten Tag der Tagung fand ein Technik-Meet-up auf dem neuen Maschinenbaucampus in Garbsen statt. Die Teilnehmer erhielten eine Führung durch den neuen Forschungsbau SCALE, der sich mit skalierbaren Produktionssystemen und interdiszi-

plinären Forschungsansätzen befasst. Nach einer anschließenden Fachgruppensitzung endete die Herbsttagung am Nachmittag.

Für diejenigen, die ihren Heimweg noch nicht direkt antraten, bot ein entspanntes Abendessen in einem griechischen Restaurant die Möglichkeit, die Tagung in lockerer Atmosphäre ausklingen zu lassen.

Der Vorstand dankt allen, die an der Organisation der Tagung mitgewirkt haben und freut sich auf die kommende Frühjahrstagung in Darmstadt.

Für die WiGeP  
Max Leo Wawer, M. Sc.

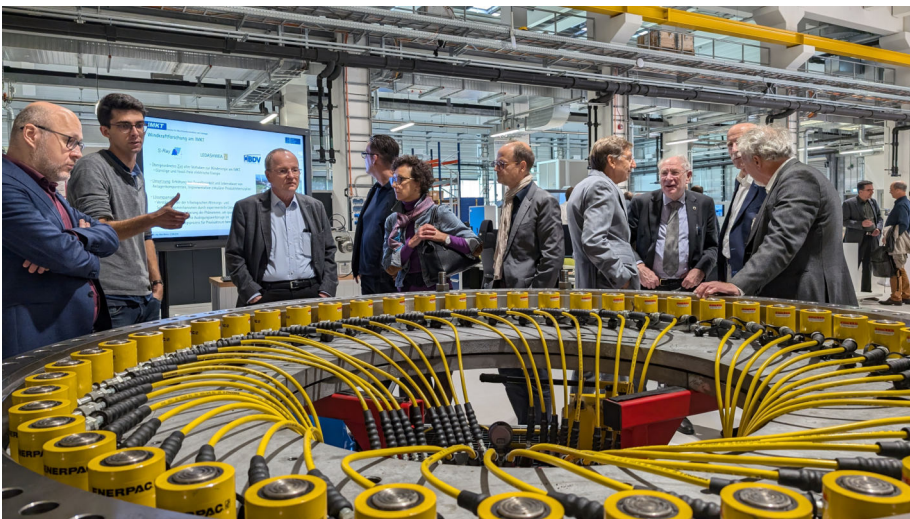


Bild 4: Technik-Meet-up in dem neuen Forschungsbau SCALE

# Schwerpunktprogramm SPP 2305 „Sensorintegrierende Maschinenelemente“ der DFG

Abschluss der ersten Förderperiode des SPP 2305: Bericht zum 1. SiME-Kongress am 19./20. September 2024 in Garching

Das Schwerpunktprogramm „Sensorintegrierende Maschinenelemente als Wegbereiter flächendeckender Digitalisierung“ (SPP 2305) wurde zur Erforschung der wissenschaftlichen Grundlagen für sensorintegrierende Maschinenelemente (SiME) und deren methodisch gestützte Konzeptionierung und Systemintegration vom Senat der DFG im Mai 2020 beschlossen. Zehn Verbundvorhaben wurden genehmigt und widmen sich der Erforschung der Grundlagen zur Integration von Sensorsystemen in standardisierte Maschinenelemente wie Schrauben, Lager und Zahnräder. Die erste Förderperiode ist inzwischen fast abgeschlossen, in diesem Rahmen fanden einige Veranstaltungen statt.

## SIME-KONGRESS ZUM ABSCHLUSS DER ERSTEN FÖRDERPERIODE

Begleitet von einer zweitägigen Summerschool für Studierende und wissenschaftliche Mitarbeitende der beteiligten Universitäten fand im September 2024 der erste „SiME-Kongress“ an der TU München in Kooperation mit der FVA GmbH statt. Der erste Tag am 19. September stand im Zeichen des Rückblicks auf die erste Förderphase des Schwerpunktprogramms 2305 „Sensorintegrierende Maschinenelemente“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), das von Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl (TU München) und Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kirchner (TU Darmstadt) geleitet wird.

## RÜCKBLICK AUF DREI JAHRE GRUNDLAGENFORSCHUNG

Im Rahmen der ersten Phase wurden drei interne Kolloquien veranstaltet und in den drei Arbeitskreisen je drei Treffen der Wissenschaftler organisiert, Bild 1. Dadurch konnten sich Doktoranden wie Professoren über die aktuellen Themen und Fragestellungen im Bereich der Sensorintegration in Maschinenelemente austauschen. Durch die enge Kooperation entstanden über 70 Veröffentlichungen, der Großteil davon mit standortübergreifenden Autorentams. Zudem sind die Ergebnisse des SPP 2305 in Form eines englischsprachigen Wikis dokumentiert und unter [1] öffentlich abrufbar.



Bild 1: Schematische Darstellung der Ereignisse in der ersten Förderphase

Ein sehr schöner Erfolg für die WiGeP als Gesellschaft, aus deren Mitgliederkreis die Idee zum Programm wesentlich erarbeitet wurde, ist die die Beteiligung der WiGeP-Professoren an allen Projekten des Schwerpunktprogramms. Bild 3 zeigt einen Teil der WiGeP-Kollegen, die am Kongress teilnahmen.

## PROTOTYPEN ZUM ANFASSEN

Während des SiME-Kongresses präsentierten Vertreter aller zehn Teilprojekte des Programms ihre Ergebnisse zu den verschiedenen Maschinenelementen, vgl. Bild 2. Neben den spannenden Vorträgen wurden die in der ersten Förderperiode erreichten, praktischen Ergebnisse im Rahmen von Demonstratorenpräsentationen dem Publikum live vorgeführt.

## HERAUSFORDERUNGEN FÜR DIE ZWEITE FÖRDERPERIODE

Am zweiten Tag des Kongresses wurden Vorträge aus der Industrie zu Themen der

Sensorintegrierenden Maschinenelemente gehalten. Dabei standen die aktuellen Trends der industriellen Anwendung ebenso wie die Herausforderung zukünftiger Entwicklungen im Fokus. Den Abschluss des Kongresses bildete ein Ausblick auf die Inhalte und Ziele der zweiten Förderphase, die Ende des Jahres starten wird. Auf Basis der in der ersten Förderperiode entwickelten SiME, die bisher größtenteils über eine kabelgebundene Energie- und Datenübermittlung verfügen, werden in der zweiten Förderperiode autarke Systeme entwickelt, die unabhängig von externer Energieversorgung in der Lage sein werden, qualitativ hochwertige Daten aus technischen Systemen zu gewinnen.

## WEITERBILDUNG, VERNETZUNG UND BEGEISTERUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN NACHWUCHSES

An den beiden Tagen vor dem SiME-Kongress, 17./18. September 2024, fanden sich

Projekttitle (teilweise gekürzt)	Projektleitende
Sensorintegrierendes <b>Zahnrad</b>	<b>TU München:</b> Stahl, Vogel-Heuser, Brederlow
Integrierte Sensorik für intelligente <b>Großwälzlager</b>	<b>Uni Hannover:</b> Pape, Poll, Wurz
Auto-informative <b>Gleitlager</b>	<b>RWTH Aachen:</b> Gemmeke, Jacobs
<b>Gasfolienlager</b> zur Zustands- und Betriebsüberwachung	<b>TU Berlin:</b> Gühmann, Liebich
Sensorintegrierende <b>Passfedern</b>	<b>TU Chemnitz:</b> Drossel, Hasse
Lastsensitive <b>Zahnwelle</b> mit sensorischem Werkstoff	<b>TU Clausthal:</b> Lohrengel <b>Uni Hannover:</b> Maier
<b>Kupplungen</b> mit dielektrischen Elastomersensoren	<b>TU Dresden:</b> Henke, Schlecht, Wallmersperger
Sensorintegrierende <b>Schrauben</b>	<b>TU Darmstadt:</b> Hofmann, Kupnik <b>KIT:</b> Matthiesen
Mikroelektronischer <b>Modulbaukasten / Schraube</b>	<b>TU Hamburg:</b> Krause, Trieu <b>TU Darmstadt:</b> Kirchner
<b>Radialwellendichtring</b> zur Überwachung von Betriebszustand	<b>TU Kaiserslautern:</b> Seewig, Thielen, Wehn

Bild 2: Projektübersicht der ersten Förderperiode und Projektleitende





Bild 3: Beteiligung der WiGeP am SiME-Kongress

zahlreiche wissenschaftliche Mitarbeiter und begeisterte Studierende zur Summer School in Garching ein, s. Bild 4. Aus dem Kreis der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des SPP 2305 wurden spannende Einblicke in die Forschung der Sensorintegration im Rahmen des SPP 2305 gegeben. Thematische Vortragsblöcke wechselten sich mit Gelegenheiten zum persönlichen Austausch und der Vernetzung unter den Forschenden ab. Durch Beiträge von Industrievertretern konnte dabei die Brücke zur industriellen Anwendung von SiME geschlagen werden. Ein weiteres Highlight der Summer School stellte die Prototypenpräsentation der drei Gewinnerteams des Studierendenwettbewerbs dar. Im Wettbewerb entwickelten die Studierendenteams verschiedener Hochschulen ein Prototyp einer sensorintegrierenden, 3D-gedruckten Kugel für verschiedene Messaufgaben. Das Finale fand bereits im Mai 2024 in Dresden statt: Den

ersten Platz erreichten die Studierenden der TU Darmstadt, gefolgt von der RPTU Kaiserslautern (2.) und der TU München (3.).

#### DANKSAGUNG

Das Schwerpunktprogramm 2305 „Sensorintegrierende Maschinenelemente als Wegbereiter flächendeckender Digitalisierung“ (Projektnummer 441853410) wird seit 2021 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

#### LITERATUR

[1] <https://www.spp2305.de/w/>

#### AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl  
 Marius Fürst, M. Sc.  
 Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebesysteme (FZG)  
 Technische Universität München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kirchner  
 Richard Breimann, M. Sc.  
 Institut für Produktentwicklung und Maschinenelemente  
 Technische Universität Darmstadt



Bild 4: Die Summer School des SPP 2305 in Garching

# Entwicklung einer Drehanode für Hochintensitäts-Röntgenstrahlen zur Krebsheilung

**MOTIVATION KREBSTHERAPIE**  
 Rund 50 % der Krebspatienten weltweit werden mit Strahlentherapie behandelt. Aber selbst dann erliegen bis zu 80 % der Patienten einigen Krebsarten. Daher ist es wichtig, eine Strahlentherapie zu entwickeln, die den Krebs zerstört, ohne den Patienten zu beeinträchtigen. Die Mikro-Strahlentherapie ist eine revolutionäre Krebstherapie, die derzeit präklinisch erforscht wird. Es handelt sich um eine vielversprechende Technik zur Verringerung der Toxizität der Strahlentherapie ohne Beeinträchtigung der Wirksamkeit. Sie beinhaltet die Erzeugung hochintensiver, räumlich fraktionierter Röntgenstrahlen aus einer Röntgenröhre. Der Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau der Technischen Universität München entwickelte eine sog. Drehanode für die Röntgenröhre und verantwortete die Fertigung durch die Firma Plansee.

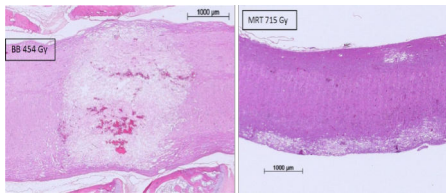


Abbildung 1: Geringere Toxizität in den mit der Mikrostrahltherapie (rechts) behandelten Geweben im Vergleich zur konventionellen Strahlentherapie (links)

## ENTWICKLUNGSPHASE

Die Entwicklung der Röntgenanode war mit mehreren technischen Herausforderungen verbunden, die mit der hohen Intensität der Röntgenstrahlen mit einer Gesamtleistung von 90kW zusammenhängen. Die LPL-Forscher entwarfen und simulierten die Anode systematisch, um sicherzustellen, dass sie den Betriebsbelastungen standhalten kann. Das Projekt begann mit der Ideenfindungsphase zur Konzepterstellung und entwickelte das Konzeptdesign mit Hilfe des Entwicklungsansatzes Solution Spaces Engineering. Herausfordernd waren dabei die thermo-mechanischen Betriebsbedingungen verursacht durch Drehfrequenzen von bis zu 200 Hz und Temperaturen von bis zu 1500°C.

Für die Entwicklung der Anode waren vier dimensionierende Versagensmechanismen relevant: Schmelzen des Trägerrades, plastisches Fließen im Trägerrad, Schmelzen der Brennbahn und Versagen bzw. Degradation der Brennbahn aufgrund extrem hoher durch Temperaturgradienten verursachten Spannungen.

Die dazugehörigen Reservefaktoren wurden als Funktion der Konstruktionsvariablen, einschließlich der geometrischen Variablen und der Variablen für die Materialeigenschaften, bewertet, wie über den sog. attribute dependency graph in Abbildung 2 dargestellt. Einer der wichtigsten Zielkonflikte, die bei der Entwicklung auftraten, war der zwischen den thermischen und mechanischen Reservefaktoren, die die Anforderungen erfüllen. Er wurde durch sorgfältig ausgeführte Spannungsentlastungsmerkmale und die Annahme eines Bi-Material-Designs mit Wolfram- und Wolfram-Legierung überwunden. Nach Abschluss des Konzepts wurden detaillierte numerische Simulationen durchgeführt, um zu überprüfen, ob das Design den thermo-mechanischen Belastungen standhalten kann. Der detaillierte Entwurf des Konzepts wurde gemeinsam mit unseren Fertigungspartnern durchgeführt. Es wurde ein Prototyp einer Anode aus einer Wolfram- und Molybdänlegierung entwickelt.

Im darauf folgenden Montageprozess wurde die Anode mit den anderen Komponenten des Rotationskörpers verbunden. Spezielle Befestigungselemente wurden vom LPL für diesen Zweck entworfen und hergestellt, wobei die Hochtemperatur-Betriebsbedingungen und die thermische Ausdehnung an der Verbindungsstelle berücksichtigt wurden. Die Baugruppe wurde vor der Montage in einem Hochgeschwindigkeitstest auf Festigkeit geprüft. Die montierte Anode wurde ebenfalls auf Massenungleichgewicht getestet und mithilfe von Gegengewichten gewuchtet, um eine minimale Instabilität/Unwucht während des Betriebs sicherzustellen.

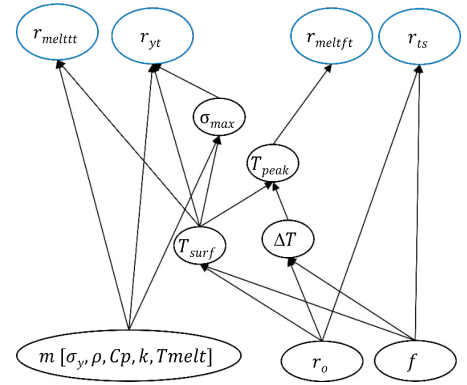


Abbildung 2: Attribute dependency graph der Design-Variablen mit Zielgrößen verknüpft

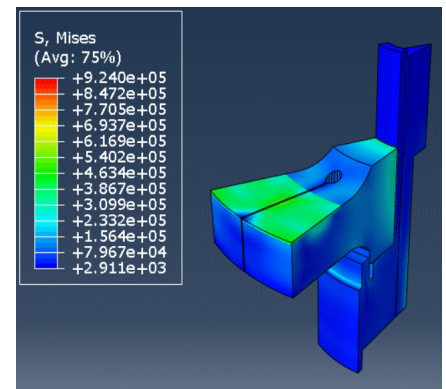


Abbildung 3: Numerische Simulation der thermo-mechanischen Spannungen in der Anode und im Rotorkörper

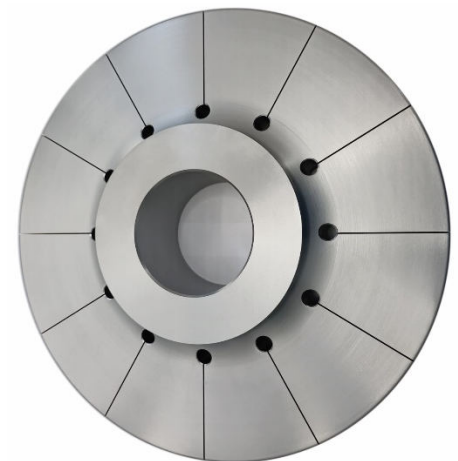


Abbildung 4: Anode, hergestellt mittels Pulvermetallurgie und durch CNC-Nachbearbeitung





Abbildung 5: Die Anode mit der glänzenden Wolframspur auf der Oberseite und dem Körper aus TZM-Legierung wird auf den Rotor montiert

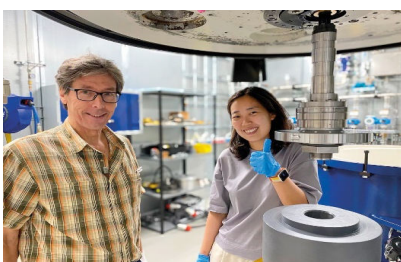


Abbildung 6: Das LPL-Team mit der montierten Drehanode nach erfolgreichem Hochgeschwindigkeits-Spinttest bei 200 Hz



Abbildung 7: Anode und Rotorkörper werden mit dem Motor in einem Reinraum zusammengebaut

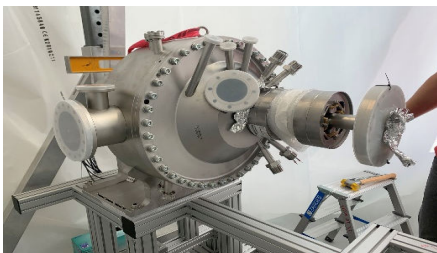


Abbildung 8: Geschlossene Vakuumkammer mit Anode und Motor im Inneren

## RÖNTGENRÖHREN-MONTAGE

Die Anode und die Kathode wurden zusammen mit anderen Systemen in die Röntgenröhre eingebaut. Die Montage wurde dabei sorgfältig auf die richtigen Vakuumanforderungen angepasst, bevor mit dem Betrieb begonnen wurde.

## BETRIEB

Nach der Montage der Anode mit elektrischen Komponenten für die Kathode und anderen Untersystemen wurde die komplette Röntgenröhre von den Forschungspartnern vom LPL getestet. Eine Reihe von Tests wurde durchgeführt, bei denen Elektronenstrahlen von mehreren kW auf die rotierende Anode angewendet wurden, um Mikrostrahl-Röntgenstrahlen zu erzeugen.

## ERGEBNIS

Der Hochspannungselektronenstrahl von über 300 kV und mehreren kW Leistung wurde auf die rotierende Anode über eine dünne Linie von 50 µm Breite angewendet. Die Anode hielt den thermischen Belastungen erfolgreich stand und ermöglichte die Erzeugung von Mikrostrahl-Röntgenstrahlen. Die Röntgenstrahlen wurden auf biologische Proben angewendet, um erste Einblicke in diese bahnbrechende Krebstherapie zu gewinnen.

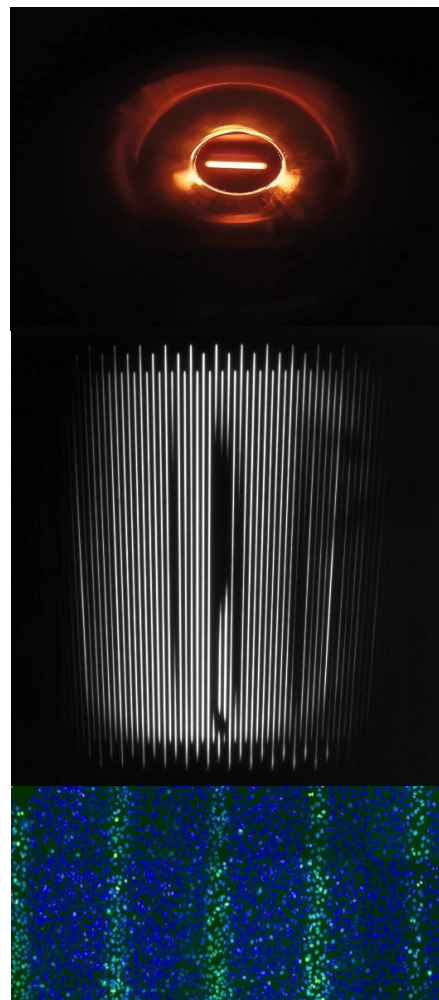


Abbildung 9: Elektronenemitter (oben), erstes erzeugtes Röntgenmuster (Mitte), zugehörige biologische Proben, die den Strahlen ausgesetzt sind (unten)

## PARTNER

Klinikum rechts der Isar  
Helmholtz Zentrum München  
Jülich Forschungszentrum

Lehrstuhlinhaber:

Prof. Markus Zimmermann

## AUTOREN

Mahadevan Ravichandran, M.Sc.  
Ludwig Krämer, Dipl.-Ing. (FH)  
Lehrstuhl für Produktentwicklung und  
Leichtbau Technische Universität München

# 40-jähriges Jubiläum des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik und DfX-Symposium 2024

Am 11. September 2024 feierte der Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg sein 40-jähriges Bestehen. Die Feier fand im Wassersaal der Orangerie des Erlanger Schlosses statt und bot die Gelegenheit, auf vier Jahrzehnte erfolgreicher Forschung, Lehre und Zusammenarbeit zurückzublicken. Durch die Veranstaltung führten Prof. Michael Walter und Prof. Georg F. Gruber, die auf die Entwicklung des Lehrstuhls und dessen Rolle in der Produktentwicklung eingingen.

In den Laudationes, gehalten von Prof. Joachim Hornegger, Prof. Kai Willner, Prof. Harald Meerkamm, Prof. Dieter Krause und Prof. Kristin Paetzold-Byhain, wurden die Verdienste des KTmfk und seine enge Zusammenarbeit mit der Industrie gewürdigt. Die Redner hoben die wissenschaftlichen Leistungen und den Beitrag des Lehrstuhls zur Entwicklung innovativer Methoden für die Produktentwicklung hervor. Ein besonderer Dank galt den Industriepartnern, Kolleginnen und Kollegen sowie den ehemaligen und aktuellen Mitarbeitenden, die den Erfolg des KTmfk mitgeprägt haben. Mit einem optimistischen Blick freuen sich alle Beteiligten auf die kommenden Jahrzehnte voller Innovationen und gemeinsamer Erfolge.



Bild 1: Impressionen zur 40 Jahrfeier des KTmfk

Unmittelbar nach diesem Jubiläum fand vom 12. bis 13. September 2024 das 35. Design for X (DfX)-Symposium in Bamberg statt. Der Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk) trug maßgeblich zur Organisation bei und war durch zahlreiche wissenschaftliche Beiträge vertreten. In einer Zeit, in der technologische Fortschritte immer schneller

voranschreiten, ist es essenziell, diese neuen Möglichkeiten für die Produktentwicklung zu nutzen. Durch fortschrittliche Methoden und Technologien lassen sich heute funktional hochwertige und innovative Produkte in kürzester Zeit realisieren.

Die Digitalisierung und das Digital Engineering eröffnen dahingehend neue Möglichkeiten, datengetriebene Methoden nicht nur für effizientere Arbeitsprozesse einzusetzen, sondern auch das volle Potenzial der erzeugten Daten zu nutzen. Zudem spielt die nutzerzentrierte Produktentwicklung eine immer wichtigere Rolle. Es gilt, die Bedürfnisse der Anwenderinnen und Anwender frühzeitig in den Entwicklungsprozess zu integrieren, um Produkte zu schaffen, die sowohl funktional als auch benutzerfreundlich sind. Auch der Leichtbau leistet einen wichtigen Beitrag zur modernen Produktentwicklung, indem er zur Ressourcenschonung und Energieeinsparung beiträgt.

Das DfX-Symposium bot in diesem Kontext eine Plattform für den intensiven Austausch zu Themen wie Digital Engineering, Systems Engineering, Leichtbau und nutzerzentrierte Produktentwicklung. Ein besonderer Höhepunkt war die Präsentation von David Scherb vom KTmfk, FAU, der für seinen Beitrag zur Optimierung individuell angepasster Hüftimplantate mit dem „ENmfk Best Presentation Award“ ausgezeichnet wurde. Niklas Frank (IPEK; KIT) erhielt den „ENmfk Best Paper Award“ für seine herausragende Arbeit zum Thema „Design, Manufacturing and Recycling of Selectively Reinforced Hybrid NFRP Components“.

Die Teilnehmenden des Symposiums waren von der exzellenten Organisation, dem abwechslungsreichen Rahmenprogramm und der anregenden wissenschaftlichen Diskussion begeistert. Besonders im Fokus stand dabei die Frage, wie sich neue Technologien in der Produktentwicklung anwenden lassen, ohne dabei die Bedürfnisse der Menschen aus den Augen zu verlieren. Nutzerzentrierung und Nachhaltigkeit im Design-Prozess wurden intensiv diskutiert, während innovative Ansätze im Leichtbau und der Topologieoptimierung auf großes Interesse stießen.

Mit besonderem Dank an die Design Society, die die Beiträge des Symposiums als Open-Access-Publikationen veröffentlicht, sowie an Dieter Krause und Kristin Paetzold-Byhain für die hervorragende Zusammenarbeit bei der Organisation, freuten sich die Veranstalter über viele spannende Diskussionen und neue Impulse für die Produktentwicklung.

Die Tagungsbeiträge sind online verfügbar und bieten wertvolle Einblicke in die neuesten Erkenntnisse und Methoden der Produktentwicklung. Alle Interessierten können die Publikationen auf der Website der Design Society abrufen und so vom umfassenden Wissen und den innovativen Ansätzen profitieren, die während des Symposiums vorgestellt wurden.

Wir danken allen Teilnehmenden, Vortragenden und Organisatoren für ihr Engagement und freuen uns darauf, das volle Potenzial von „Design for X“ in der Produktentwicklung weiter auszuschöpfen.



Bild 2: Teilnehmende des DfX Symposium

## AUTOREN

Judith van Remmen, M. Sc.  
Jessica Pickel, M. Sc.  
Prof. Dr.- Ing. Sandro Wartzack  
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)



# Innovation, die bremst: Nasse Fahrzeugbremsen für die E-Mobilität

## Potenziale, Herausforderungen und Forschungsansätze

**E**in zentraler Baustein nachhaltiger Elektromobilität ist die Emissionsfreiheit und damit die Reduktion und Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen, Reifenabrieb und Bremsstaub. Eine technologische Möglichkeit, Bremsstaub zu eliminieren, sind nasse Fahrzeugbremsen [1]. Da nasse Mehrscheibenbremsen im Gegensatz zu trockenen Scheibenbremsen nicht luft- sondern ölgekühlt sind, werden Verschleißpartikel im Öl gebunden und gelangen nicht in die Umwelt.

In der Elektromobilität werden die meisten Bremsvorgänge über Rekuperation realisiert, sodass die mechanische Fahrzeugbremse nur noch bei Notbremsungen oder dann zum Einsatz kommt, wenn aufgrund des begrenzten Ladestroms der Batterie keine Rekuperation möglich ist. In diesem geänderten Lastprofil wird die Fahrzeugbremse nur noch in Ausnahmefällen aktiviert. Ein häufig beobachtetes Problem bei Elektrofahrzeugen ist daher die Korrosion der trockenen Scheibenbremsen aufgrund der seltenen Nutzung, was zu Funktionseinschränkungen bis hin zu verkürzten Wechselintervallen führen kann. Die nasse Fahrzeugbremse hingegen läuft im Öl und korrodiert daher nicht. Nasse Reibbeläge sind zudem äußerst verschleißbeständig. Bei richtiger Auslegung kann näherungsweise Verschleißfreiheit erreicht werden, sodass eine Lebensdauerkonzeption erreicht werden kann, was zu niedrigeren Servicekosten führt.

Da die nasse Fahrzeugbremse nicht luft- sondern ölgekühlt ist, kann diese statt im Rad innenliegend auf der Achse oder sogar im Getriebe positioniert werden. Diese Verlagerung reduziert die ungefederten Massen im Rad und eröffnet weitere Potenziale für aerodynamisch optimierte Räder.

Darüber hinaus eröffnet die nasse Fahrzeugbremse die Möglichkeit, die entstehende Wärme beim Bremsen nicht, wie bei herkömmlichen Bremsen an die Umgebung abzugeben, sondern in einem ganzheitlichen Thermomanagement zur Erwärmung von Antriebskomponenten wie Batterie oder Getriebeöl zu nutzen. Dies kann vor allem bei kalten Temperaturen die Effizienz des gesamten E-Antriebsstrangs steigern.

## HERAUSFORDERUNGEN

Den Potenzialen stehen diverse Herausforderungen bei der Gestaltung der nassen Fahrzeugbremse und des gesamten Antriebsstrangs entgegen.

Für eine optimale Effizienz des Antriebsstrangs sind die Schlepp- und Strömungsverluste der ölgekühlten Bremse durch optimiertes Design und bedarfsgerechte Beölung zu minimieren.

Für Betriebssicherheit und optimales Funktions- und Komfortverhalten muss ein stabiles und optimales Reibungsverhalten in allen Betriebszuständen (spezifische Lasten und Umgebungsbedingungen) sichergestellt sein

– auch bei seltener Aktuierung der Bremse. Spontanschäden müssen sicher vermieden werden und auch eine Langzeitschädigung ist im Sinne der Wartungsfreiheit und Lebensdauerkonzeption auszuschließen.

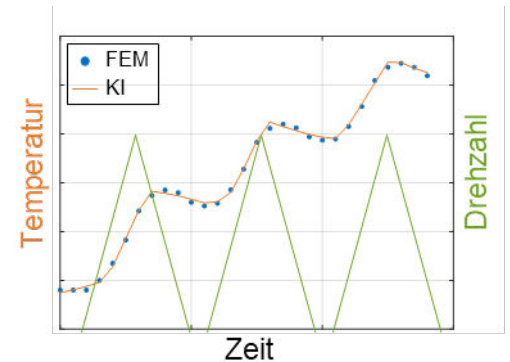
## FORSCHUNGSANSÄTZE

An der FZG wurden in verschiedenen Forschungsprojekten Methoden erarbeitet, die sich effektiv auf die Erforschung und Entwicklung nasser Fahrzeugbremsen anwenden lassen. Im Folgenden werden ausgewählte Methoden vorgestellt.

Schleppmomente der nassen Bremse lassen sich bereits in frühen Entwicklungsphasen für verschiedene Baugrößen, Nutmuster, Beölungssituationen und Belastungen mittels eines Methodenträgers zur KI-basierten Schleppmomentprädiktion abschätzen [2]. Das Separationsverhalten der Lamellen und dessen Einfluss auf das Schleppverlustverhalten kann mittels der in [3] vorgestellten Methode über Machine Vision quantifiziert und optimiert werden.

Wassereintrag ins Öl kann zu Reibschwingungen und damit relevanten Komfort- und Funktionseinschränkungen führen. [4] liefert eine Methode zur systematischen Untersuchung des Reibungs- und Reibschwingverhaltens bei Wassereintrag und Eiseneintrag durch Verschleiß.

Das Spontan- und Langzeitschädigungsverhalten wird vorrangig durch die auftretenden Temperaturen im Reibkontakt bestimmt. Neben thermischen Simulationen liefern auch KI-basierte Methoden in kürzester Zeit belastbare Ergebnisse [5]:



Die Anwendung nasser Fahrzeugbremsen ist nicht auf den Automobilbereich begrenzt, sondern auch für weitere Mobilitätskonzepte wie Nutz- und Schienenfahrzeuge ein vielversprechender technologischer Ansatz.

## LITERATUR

- [1] ZEDU1: Zero Emission Drive Unit Generation 1, Abschlussbericht, DLR, Stuttgart (2023)
- [2] L. Pointner-Gabriel, et al., A methodology for data-driven modeling and prediction of the drag losses of wet clutches, *Forsch Ingenieurwes* 87 (2023) 555–570, <https://doi.org/10.1007/s10010-023-00661-y>.
- [3] L. Pointner-Gabriel, et al., A methodology for imagebased measurement of plate movement in disengaged wet clutches, *Sci. Rep.* (2024), <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58012-y>.
- [4] J. Wirkner, et al., Influence of Water Contamination, Iron Particles, and Energy Input on the NVH Behavior of Wet Clutches, *Lubricants* (2024), <https://doi.org/10.3390/lubricants11110459>
- [5] Schneider, et al., Enhanced prediction of thermomechanical systems using machine learning, PCA, and finite element simulation, *Adv. Model. Simul. Eng. Sci.* (2024), <https://doi.org/10.1186/s40323-024-00268-0>.

## AUTOREN

Dr.-Ing. Katharina Völkel  
Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl  
Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebesysteme (FZG)  
Lehrstuhl für Maschinenelemente  
TUM School of Engineering and Design  
Technische Universität München

# GENIAL!

## Kollaborative Roadmap-gestützte Innovationsentwicklung in Wertschöpfungsnetzwerken

Das Projekt GENIAL! ist ein Forschungsprojekt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde. Ziel dieses Projekts war die ganzheitliche Förderung der Innovationsentwicklung in kollaborativen und dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken auf der Grundlage einer wissensbasierten Technologie-Roadmap. Diese Roadmap soll das Zusammenspiel von Prozessen, Methoden und IT-Tools unterstützen, um die Entwicklung zukünftiger Mikroelektronik-intensiver Automobilkomponenten zu beschleunigen. Die Forschungsarbeiten am Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung der RPTU in Kaiserslautern konzentrierten sich insbesondere auf die durchgängige wissensbasierte Anforderungsmodellierung für integrierte Prozesse, Methoden und IT-Tools zur Absicherung der disziplinenübergreifenden Entwicklung in Wertschöpfungsnetzwerken. Weitere Schwerpunkte lagen im Bereich der modellbasierten Lösungserstellung mit Fokus auf die Systems Modeling Language (SysML) in den Versionen 1 und 2 sowie deren Integration in relevante Systems Engineering Standards.

### HINTERGRUND

Ein integraler Bestandteil gegenwärtiger und zukünftiger Innovationen im Automobilsektor basiert auf Mikroelektronikkomponenten, die eine Schlüsselrolle spielen und einen erheblichen Bedarf an interdisziplinären Model-based Systems Engineering-Lösungen aufweisen. Eine

zentrale Herausforderung bei der Entwicklung von Mikroelektronik liegt in der Verkürzung des Time-to-Market, da diese häufig die Entwicklungsdauer des Endprodukts oder der zu implementierenden Lösung um mehrere Jahre übersteigt. Die Innovationsphase stellt eine der unsicheren Entwicklungsphasen dar, in der aktuell ein erhebliches Defizit an Kollaborationsaktivitäten besteht. Dies ist unter anderem auf die Angst vor Wissens- und Kompetenzverlust zurückzuführen. Gleichzeitig bietet die Innovationsphase das Potenzial, einen hohen Einfluss auf die klassischen Entwicklungsparameter Kosten, Zeit und Qualität in den nachfolgenden Phasen zu nehmen. Daher ist es notwendig, diese frühe Entwicklungsphase und die dafür erforderlichen Aktivitäten effektiver und effizienter zu koordinieren und zu unterstützen.

### VORGEHEN

Das Fundament zukünftiger Lösungen bildet die Analyse des aktuellen Status und die daraus resultierenden Anforderungen. Die industriellen Projektpartner Audi, Hella, Infineon und Bosch im GENIAL!-Forschungsprojekt repräsentieren ein potenzielles und vollständig kooperierendes Wertschöpfungsnetzwerk, das in der Lage ist, Mikroelektronikinnovationen eigenständig umzusetzen. In verschiedenen Workshops wurde der aktuelle unternehmensübergreifende Innovationsentwicklungsprozess dargestellt und mithilfe der SIPOC-Analyse als

Geschäftsprozess visualisiert. Der Fokus lag dabei auf den derzeitigen Ansätzen hinsichtlich der genutzten Engineering-Prozesse, Kollaborationsmodellen und Wertschöpfungsketten. Auf Basis der Analyse des Ist-Zustands konnten Optimierungspotenziale identifiziert und bewertet werden. Aus diesen Ergebnissen ließen sich Zukunftsszenarien ableiten, die die spätere Anforderungsdefinition für den Soll-Zustand ermöglichen, wie in Bild 1 dargestellt. Die drei Zukunftsszenarien lauten:

- „Fahren aus Spaß“
- „Smarte Mobilitäts-Areale“
- „C-A-S-E-Welt Plattformmobilität und -service“

Mithilfe der Zukunftsszenarien konnte ein erweitertes Spektrum an Anforderungen für den zukünftigen Soll-Zustand definiert werden. Diese initial entwickelten Anforderungen wurden zur Absicherung und weiteren Anreicherung in verschiedenen Konsortien, wie dem Arbeitskreis-Automotive des EDA-Centrum oder Arbeitsgruppen innerhalb der Object Management Group, vorgestellt und erweitert. Dieses Vorgehen ermöglichte dem GENIAL!-Projekt eine größere Akzeptanz und den potenziellen Einsatz durch zukünftige Anwender.

### KOLLABORATIONSMODELLE

Ein Ergebnis der Anforderungen ist in den Bildern 2 und 3 dargestellt und repräsentiert die zukünftigen Soll-Kollaborationsmodelle sowie den Soll-Inno-

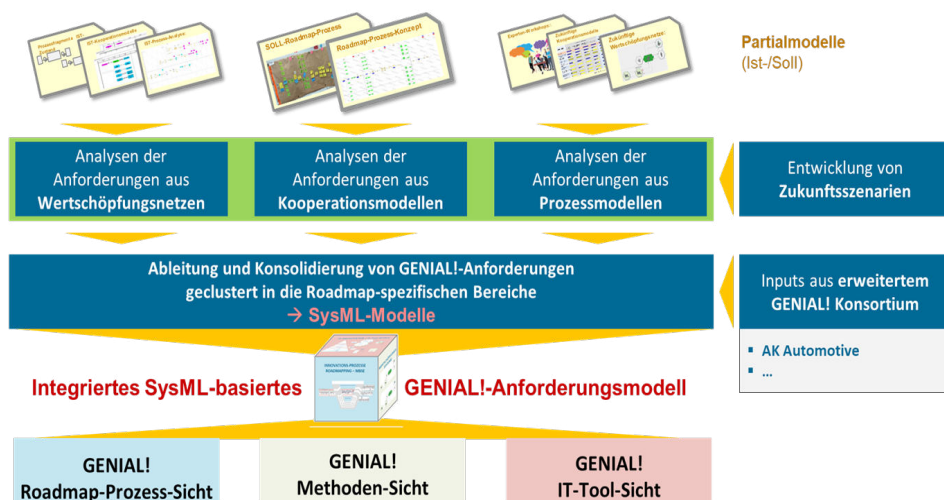


Bild 1 Erarbeitung des gemeinsamen GENIAL!-Anforderungsmodell



vationsprozess. In unterschiedlichen Entwicklungskonstellationen sind unterschiedliche Kollaborationsvolumina erforderlich, wodurch sich auch die Verantwortung der beteiligten Partner verändert. Mithilfe der vorgegebenen Kollaborationsmodelle, die auf der VDMA-Empfehlung 4961-3 basieren, können benötigte Kollaborationen im Voraus eingeplant und hinsichtlich ihres Umfangs koordiniert werden [1].

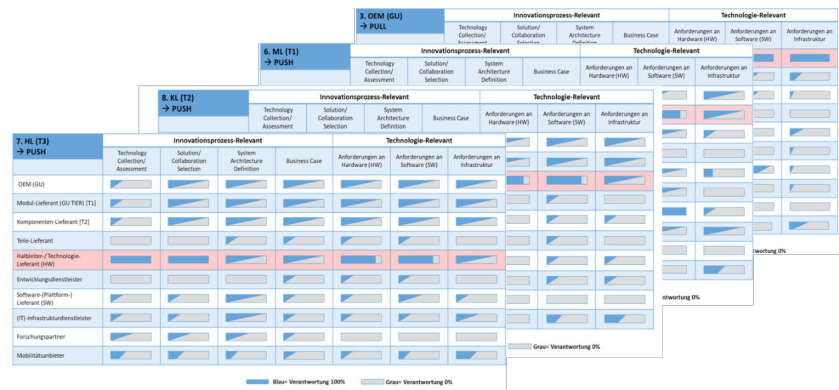


Bild 2 Soll-Kollaborationsmodelle zur Sicherung und Abdeckung des Kollaborationsbedarfes [1]

## INNOVATIONSPROZESS

Bild 3 zeigt den neu entwickelte Soll-Innovationsprozess, der eine schnellere Umsetzung der Innovation bzw. des Roadmappings gewährleisten soll. Der neue Innovationsprozess sieht vor, bisher unbekannte oder neue Stakeholder frühzeitig in die Entwicklung zu integrieren, wie etwa Datenhändler oder Plattform-Anbieter. Zudem ermöglicht der Prozess parallel verlaufende Innovationsaktivitäten mit einem frühzeitigen Abgleich von Ideen über alle beteiligten Stakeholder hinweg. Dies wird durch eine ganzheitliche Kollaboration mittels der Kollaborationsmodellen und durch Tooling, wie z.B. eine Wissensbasis, unterstützt.

## WISSENSBASIS

Mithilfe der GENIAL!-Wissensbasis kann das benötigte Wissen über die unterschiedlichen Stakeholder verteilt bzw. innerhalb eines Wertschöpfungsnetzwerkes als Kollaborationsgrundlage verwendet werden [2]. Die genutzte Wissensbasis verwendet die SysML v2 und besitzt zeitgleich ein Frontend welches die Roadmap-spezifische Modellierung und deren Sicherung im Backend ermög-

licht. Mithilfe der Wissensbasis kann über unterschiedliche Modellierungssysteme ein ganzheitliches Modell erstellt werden. Durch die integrierte Constraint Propagation können über unterschiedliche Wertebereiche Konsistenzen in den Modellen sichergestellt werden [3].

## STANDARDISIERUNG

Das im GENIAL!-Projekt entwickelte Gesamt-ökosystem umfasst zahlreiche Tools, die die Umsetzung der definierten Prozesse und Methoden ermöglichen. Ergänzende Tools kamen beispielsweise beim Roadmapping bezüglich der zukünftigen Technologieverfügbarkeit und deren Abschätzung zum Einsatz oder im Bereich Constraint Propagation, wodurch das Maximum an potenziellen Lösungen abgebildet und modelliert werden kann. Durch das Zusammenspiel der erarbeiteten GENIAL!-Lösungen und deren internationale Standardisierung in Gremien wie der Object Management Group konnte gewährleistet werden, dass eine Förderung des Roadmappings entlang von Wertschöpfungsnetzwerken erfolgt.

## AUSBLICK

Unter der Betrachtung des wachsenden Anwendungspotenzial der Künstlichen Intelligenz (KI) bedarf es einer Integration innerhalb der IT-Tools und der damit verbundenen Lösungsfindung. Vor allem der Einsatz von KI bei der Modellierung der einzelnen Modelle im Kontext des Model-based Systems Engineering ermöglicht eine viel tiefgreifendere, einfachere Lösungsfindung über mehrere Anwender hinweg. Durch den starken Projektfokus auf die SysML v2 und der dazugehörigen REST-Schnittstelle kann die automatisierte Modellerstellung mithilfe der KI realisiert werden.

## LITERATUR

- [1] Heer, C.; Göbel, J.C.; Mollahassani, D.; Forte, S. Future Collaboration Ecosystem for Automotive Microelectronic Innovation Processes, ELIV 2021, Seite 295 - 308, VDI Wissensforum GmbH
- [2] Mollahassani, D.; Eickhoff, T.; Juresa, Y.; Göbel, J.C. Knowledge Collaboration Approach in Smart Product Innovation Networks, 33rd CIRP Design Conference, Sydney, Australia, 17.-19. Mai 2023, Procedia CIRP, 2023 <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.158>
- [3] Dalecke, S.; Grimm, C. SysMD: An Inclusive Modelling Tool, 2024 19th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSE) <https://doi.org/10.1109/SoSE62659.2024.10620956>

## AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Jens Christian Göbel  
 Dipl.-Ing. Damun Mollahassani  
 Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (VPE)  
 RPTU Kaiserslautern

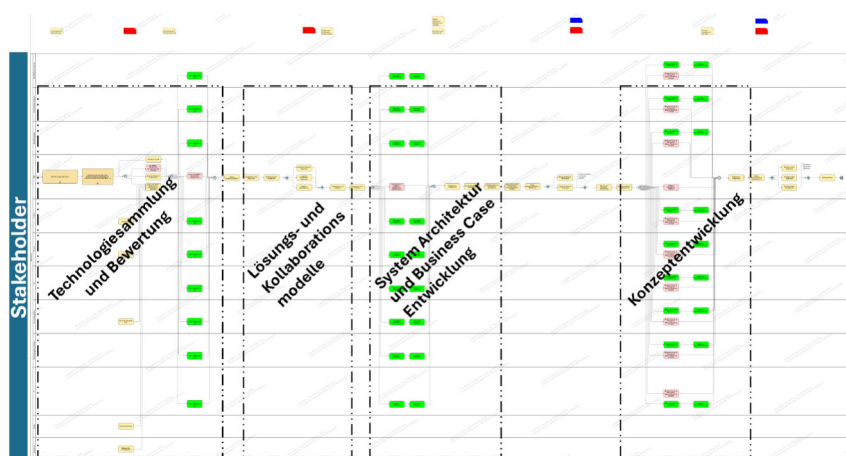


Bild 3 Zukünftiger Innovationsprozess mit erweitertem Stakeholder-Umfang

# Steigerung der Verkehrssicherheit durch emotionalisierende Sound Designs

Potenziale von emotionalisierenden Sound Designs zur Erhöhung der Sicherheitsabstände im Straßenverkehr

Die Sicherheit im Straßenverkehr hängt maßgeblich von der Aufmerksamkeit und dem Verhalten der Fahrenden ab. Trotz moderner Fahrerassistenzsysteme bleibt das Thema Sicherheitsabstand eine wichtige Größe, die schwer positiv zu beeinflussen ist. Bisherige Forschungsansätze deuten darauf hin, dass emotional stimulierende akustische Reize dazu genutzt werden können das Fahrverhalten zu beeinflussen [1, 2]. Diese Erkenntnisse nutzte das IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), um die Potenziale eines aktiven, emotionalisierenden Sound Designs (ESD) zu untersuchen. Ziel ist es, durch die Erzeugung spezifischer Emotionen mit Hilfe eines ESD das Fahrverhalten positiv zu beeinflussen und so die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen.

## ENTWICKLUNG EINES EMOTIONALISIERENDEN SOUND DESIGNS

Anstelle von Warnsignalen, die Fahrende über kritische Situationen informieren, geht das ESD einen Schritt weiter: Emotionen und Reize wirken tiefgehend auf die Wahrnehmung und sollen für eine unterbewusste Anpassung des Fahrverhaltens genutzt werden.

Der Ansatz zur Entwicklung eines ESD folgte einer umfassenden Untersuchung darüber, wie verschiedene Soundcharakteristiken Emotionen auslösen. Die These für das ESD ist, dass Töne die mit Bedrohung oder Angst assoziiert werden, oder diese hervorrufen, eine Erhöhung des Sicherheitsabstands bedingen könnten, da Menschen dazu neigen Situationen die mit diesen Emotionen aufgeladen sind zu meiden. Im ersten Schritt der Forschung wurden daher potenziell emotionale Sounds erstellt und von Probanden hinsichtlich ihrer emotionalen Wirkung bewertet. Psychoakustische Analysen zeigten, dass insbesondere Schwankungsstärke und Impulshaltigkeit Fahrzeuggeräusche bedrohlicher wirken lassen können. [3]

## EINFLUSS DES SOUND DESIGNS AUF DIE SICHERHEITSWAHRNEHMUNG

Im zweiten Schritt der Forschung wurde

untersucht, wie sich diese emotionalisierenden Sounds auf die Wahrnehmung des Sicherheitsabstands auswirken. Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere negativ aufgeladene Sounds zu einer niedrigeren Schätzung des Sicherheitsabstandes in Metern führten und die Wahrscheinlichkeit einer Bewertung des Sicherheitsabstands als unangemessen signifikant erhöht wurde, wodurch die Testpersonen das Bedürfnis verspürten, mehr Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu halten. Dieses Ergebnis unterstreicht das Potenzial emotionalisierender Sound Designs, das Risikoverhalten der Fahrenden zu beeinflussen. [4]

## VALIDIERUNG IM FAHRSIMULATOR

Abschließend erfolgte eine Untersuchung in einem Fahrsimulator, wo das ESD dynamisch eingesetzt wurde, um dessen Wirkung auf die Wahl des Sicherheitsabstandes in zwei Fahr Szenarien mit insgesamt 10 Sub-Szenarien zu ermitteln (siehe Bild 1) [5]. Das Sound Design passte sich dabei an den Sicherheitsabstand an, indem bei Unterschreitung eines kritischen Abstands das Fahrgeräusch ausgehend von einem neutralen Geräusch zunehmend bedrohlicher wurde. Die Resultate zeigen eine Erhöhung des durchschnittlichen Sicherheitsabstands und weniger Verweildauer in riskanten Abstandsbereichen. [6]

## FAZIT UND AUSBLICK

Das ESD zeigt vielversprechende Möglichkeiten zur Förderung eines sichereren Fahrverhaltens durch gezielte emotionale Beeinflussung. Für die zukünftige Forschung steht die Implementierung in realen Fahrsituationen an, um die Praxistauglichkeit des Ansatzes weiter zu überprüfen. Das IPEK entwickelt darüber hinaus eine Methodik zur kontinuierlichen Validierung von Sound Designs, die es Entwicklern ermöglichen soll, ein für Kunden akzeptables ESD zu entwickeln.

## LITERATUR

[1] Roidl, E.; Frehse, B.; Höger, R. Emotional states of drivers and the impact on speed, acceleration and traffic violations—A simulator study. *Accid. Anal.*

*Prev.* 2014, 70, 282–292. DOI: 10.1016/j.aap.2014.04.010

[2] Koelsch, S.; Skouras, S.; Fritz, T.; Herrera, P.; Bonhage, C.; Küssner, M.B.; Jacobs, A.M. The roles of superficial amygdala and auditory cortex in music-evoked fear and joy. *Neuroimage* 2013, 81, 49–60. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.05.008

[3] Petersen, M.; Zaimovic, M.; Albers, A. Evaluating emotionalizing effects of active sound designs. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*; Institute of Noise Control Engineering: Chiba, Japan, 2023; Volume 268, pp. 4689–4700. DOI: 10.3397/IN\_2023\_0666

[4] Petersen, M.; Yüksel, D.; Albers, A. Effect of Emotionalizing Sounds on the Estimation and Evaluation of Displayed Safety Distances. *Acoustics* 2024, 6, 386–407. DOI: 10.3390/acoustics6020021

[5] Petersen, M.; Düser, T.; Albers, A. Implementation of a Validation Environment for an Emotionalizing Sound Design in a Driving Simulator. *Symp. Driv. Simul.* 2023, 9, 7–8. DOI: 10.5445/IR/1000170068

[6] Petersen, M.; Deml, B.; Albers, A. The Effect of an Emotionalizing Sound Design on the Driver's Choice of Headway in a Driving Simulator. *Acoustics* 2024, 6(2), 541–567. DOI: 10.3390/acoustics6020029

## AUTOREN

Tobias Gohlke, M. Sc.

Yannik Weber, M. Sc.

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

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Düser

IPEK – Institut für Produktentwicklung  
Lehrstuhl für Produktentwicklung und Antriebssysteme

KIT – Karlsruher Institut für Technologie



Bild 1 Fahrsimulatorenaufbau am Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation (IFAB) des KIT



# Zustandscharakterisierung hydrodynamischer Gleitlager auf Basis kapazitiver Effekte

Laufendes DFG Projekt an der TU Chemnitz und der TU Darmstadt

Am 01.11.2024 startete das DFG Projekt "Zustandscharakterisierung hydrodynamischer Gleitlager auf Basis kapazitiver Effekte". Bearbeitet wird das Projekt durch das Institut für Konstruktion und Antriebstechnik der TU Chemnitz und durch das Institut für Produktentwicklung und Maschinenelemente der TU Darmstadt. Das Ziel des Vorhabens besteht in der Konzeption und Verifikation eines Messprinzips zur Identifikation und Klassifikation von Änderungen der lokalen Schmierpaltgeometrie durch Messung elektrischer Kapazitäten.

## KAPAZITIVE EFFEKTE IN GLEITLAGERN

In einem hydrodynamischen Gleitlager werden die i.d.R. metallischen Gleitflächen durch einen Schmierstoff getrennt, in dem sich in Folge der Rotation und ein hydrodynamischer tragender Schmierfilm ausbildet. Zum quasi verschleißfreien Betrieb des Lagers muss sichergestellt werden, dass die Schmierfilmdicke ausreichen hoch ist um die Gleitflächen vollständig voneinander zu trennen. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass durch unerwartete bzw. unzureichend definierte Betriebszustände Lagerschäden und Lagerverschleiß auftreten. Ein vollständige Überwachung eines Gleitlagers ist häufig nicht möglich, da die Bestimmung der exakten minimalen Spaltweite des Lagers eine Herausforderung darstellen [1] und die Integration von zusätzlicher Sensorik oft durch Bauraumrestriktionen erschwert wird. Mögliche Überwachungsansätze sind Messungen des Körperschalls, Temperaturmessung und Schmierfilmdickenmessung über Wirbelstromsensoren. Die Systeme benötigen zum einen zusätzlichen Bauraum,

sind zu träge oder können nur einen Schaden, nicht aber die vorhandene Spaltweite detektieren.

Eine mögliche Alternative stellt die kapazitive Messung des Schmierfilms unter Nutzung des elektrischen Verhaltens des Gleitlagers dar. Der Schmierfilm in einem Gleitlager ist i.d.R. nichtleitend und bildet zwischen den metallischen Gleitflächen einen Kondensator aus. Elektrisch kann dieser Aufbau über einen Plattenkondensator oder einen exzentrischen Zylinderkondensator modelliert werden [2]. Das elektrische Verhalten ist abhängig von der Permittivität des Schmierstoffs und der Geometrie des Schmierpalts, der sich durch den Betriebszustand ergibt. Durch die Messung des elektrischen Verhaltens kann somit auf den Betriebszustand geschlossen werden.

## VORHABEN

Zur Untersuchung des elektrischen Verhaltens werden zunächst Modellversuche und Prüfstandsversuche durchgeführt, um das elektrische Verhalten des Lagers bei bekannten Betriebsituationen zu messen. Das Lager wird außerdem auf Basis der Reynoldsgleichung hydrodynamisch und auf Basis des kapazitiven elektrischen Verhaltens elektrisch modelliert und mit den Prüfstandsversuchen validiert. Die Modellierung wird anschließend invertiert, um bei einer Messung die Identifikation die Wellenposition (Verlagerung und Verkantung) in abhängigkeit der Betriebsparameter aus der kapazitiven Messung ableiten zu können. Die Identifizierung von mehreren Parametern aus einer Kapazität liefert voraussichtlich uneindeutige Ergebnisse. Deshalb wird das Gleitlager entsprechend Bild 1 so

ausgelegt, dass es aus zwei Reihen von je zwölf Kondensatoren besteht. Die Kondensatoren können miteinander verschaltet werden und ermöglichen die Messung von mehreren Kapazitäten, um einen eindeutigen Parameter bestimmen zu können. Die optimale Größe der Kondensatoren und die notwendige Anzahl werden ebenfalls im Vorhaben untersucht.

## ANGESTREBTES ERGEBNIS

Ziel des Vorhabens ist die Konzeptionierung eines optimierten Messsystems mit Modellierung, das ohne aufwändige Sensorik über das elektrische Verhalten des Lagers die Wellenposition (Verlagerung und Verkantung) und damit den Betriebszustand bestimmen kann.

## FÖRDERHINWEIS

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 520 02174

## LITERATUR

[1] Colin Kern, Betriebsverhalten von thermisch und mechanisch hoch beanspruchten kunststoffbeschichteten Radial-Mehrflächengleitlagern, 2012.

[2] H. Bittner und T. Kluth, „Gleitlagerdiagnose mittels Magnetfeldmessungen,“ tm - Technisches Messen, Jg. 62, JG, S. 346–351, 1995. doi: 10.1524/teme.1995.62.jg.346.

## AUTOREN

Prof. Dr.- Ing Eckhard Kirchner  
Florian Kötz, M.Sc.

Institut für Produktentwicklung und Maschinenelemente  
Technische Universität Darmstadt

Prof. Dr. sc. ETH Alexander Hasse

Dipl.-Ing. Björn Prase

Institut für Konstruktion und Antriebstechnik

Technische Universität Chemnitz

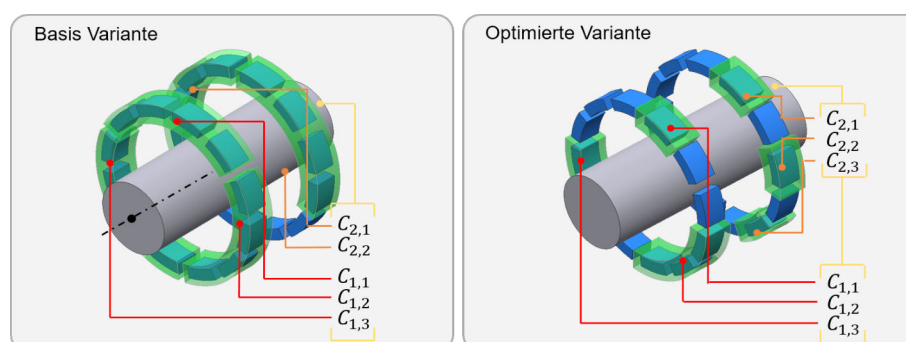


Bild 1 Ableitung unterschiedlicher Kondensatorkonfigurationen aus der Basis Variante des Lagers

# VPE-AssistentInnentreffen in Kaiserslautern

## Austausch von Mitarbeitenden der WiGeP Lehrstühle aus dem Bereich der Virtuellen Produktentwicklung

Am 17. und 18. Oktober 2024 folgten über 20 wissenschaftliche Mitarbeitende der WiGeP-Lehrstühle aus dem Bereich der Virtuellen Produktentwicklung der Einladung zu dem diesjährigen VPE-AssistentInnentreffen, zu dem der Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung der RPTU in Kaiserslautern eingeladen hatte.



Abbildung 1: Gruppenfoto an der RPTU

Die WiGeP fördert mit dieser Veranstaltung nicht nur den Wissensaustausch zwischen ihren Mitgliedern aus ganz Deutschland, sondern auch die Themen-übergreifende Zusammenarbeit und die Entstehung neuer Kooperationen.

### AUSTAUSCH ZU VPE-FORSCHUNGSTHEMEN

Der erste Tag des Treffens stand im Zeichen aktueller Forschungsaktivitäten der vertretenen Lehrstühle. Die Teilnehmenden stellten ihre spezifischen Forschungsfelder vor und gaben spannende Einblicke in laufende Projekte und aktuelle Herausforderungen der zunehmenden Digitalisierung, steigenden Kundenerwartungen und dem Innovationsdruck in der Produktentwicklung.



Abbildung 2: Stadionführung im Fritz-Walter-Stadion

Den Abschluss des ersten Tages bildete ein Besuch im legendären Fritz-Walter-Stadion des 1. FC Kaiserslautern, gefolgt von einer kulinarischen Reise durch die Pfalz. Diese Kombination aus Kultur und Networking bot den Teilnehmenden eine ideale Gelegenheit, sich auch abseits der Fachthemen

besser kennenzulernen.

### WORKSHOP ZU „KI IN DER PRODUKTENTWICKLUNG“

Der zweite Tag des Treffens widmete sich dem hochaktuellen Thema der Künstliche Intelligenz (KI) und ihrem Potenzial für die Zukunft der Produktentwicklung. In einem methodisch geleiteten Workshop wurde gemeinsam ein erster Überblick über den bisherigen Einsatz generativer KI und potenzielle Anwendungsmöglichkeiten in der Produktentwicklung aus Sicht der Forschung erarbeitet. Die Vertiefung zu den Anwendungsbereichen in der Produktentwicklung erfolgte im Rahmen einer Gruppendiskussion, deren Ergebnisse anschließend in den Kontext des Produktlebenszyklus allgemein, bzw. des V-Modells der virtuellen Produktentwicklung oder den RFLP-Ansatz des Model-Based Systems Engineering eingeordnet. Die vorgeschlagenen Einsatzgebiete waren schwerpunktmäßig in den frühen Phasen der Produktentwicklung verortet, und stellten den generativen Einsatz von LLMs in den Vordergrund, wie z.B. bei der automatisierten Formalisierung von Anforderungen oder Generierung von Systemmodellen. Allerdings wurden auch Einsatzszenarien im Rahmen der Verifikation/Validierung oder bei der Generierung von Dokumentation aufgeführt. Aber auch jenseits von LLMs ergeben sich Anwendungsmöglichkeiten für KI, so z.B. in der Datenauswertung für digitale Zwillinge oder im generativen CAD.

### DISKUSSION VON FORSCHUNGSLÜCKEN

Zum Abschluss diskutierten die Teilnehmenden Forschungslücken im Kontext von KI-Systemen, wie z.B. benötigte Softwarekomponenten, aber auch Rahmenbedingungen und Risiken beim Einsatz dieser Systeme. Es ergab sich schnell ein Konsens darüber, dass KI-Modelle in verschiedenen Anwendungsszenarien Unterstützungen für IngenieurInnen bei kreativen Aufgaben liefern können. Mit der damit verbundenen Produktivitätssteigerung gehen allerdings auch neue Anforderungen an die Systemanwender einher, wie z.B. die sachliche Prüfung KI-generierter Inhalte, das Sicherstellen einer angemessenen Daten-

qualität beim Modell-Input, sowie das Einhalten ethischer und gesetzlicher Richtlinien. In diesem Kontext wurde ebenso über mögliche User Interfaces für eine KI-Unterstützung diskutiert, beispielsweise ein an GitHub Copilot angelehnter Assistent für die Produktentwicklung.

Zusammenfassend wurde festgehalten, dass KI nicht nur für die Gestaltung und Optimierung von Produkten, sondern auch für die Verbesserung von Forschungsprozessen genutzt werden kann. Diese Technologie bietet neue Ansätze zur Analyse und Simulation komplexer Entwicklungsprozesse, wodurch sich sowohl die Effizienz als auch die Innovationskraft in der Produktentwicklung erheblich steigern lassen können.

Das AssistentInnentreffen der WiGeP erwies sich als wertvolle Plattform für den wissenschaftlichen und persönlichen Austausch und unterstrich die Bedeutung der Vernetzung in der sich stetig wandelnden Welt der Produktentwicklung.



Abbildung 3: KI Workshop

### AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Jens C. Göbel  
Thomas Eickhoff, M.Sc.  
Yannick Juresa, M.Sc.  
Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (VPE)  
RPTU Kaiserslautern




# Buchvorstellung WiGeP-News und Konstruktion


## Decker Maschinenelemente: Funktion, Gestaltung und Berechnung

Das Toleranzmanagement bietet aufgrund seiner vielfältigen Forschungsgebiete eine große Zahl von Methoden für ein breites Spektrum von Anwendungsfällen. Seit vielen Jahren trägt der Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg erfolgreich zu diesem spannenden Gebiet bei. Das kürzlich im Springer-Verlag veröffentlichte Buch „Research in Tolerancing“ bietet einen umfassenden Einblick in aktuelle Forschungsaktivitäten in diesem Bereich, liefert einen Überblick über etablierte sowie innovative Methoden des Toleranzmanagements und zeigt

zukünftige Herausforderungen für neue Forschungsansätze auf. Das von Professor Sandro Wartzack herausgegebene Buch gliedert sich in vier Teile sowie elf Kapitel und fasst die vielfältigen Facetten des Toleranzmanagements zusammen. Zielgruppe des Buches sind sowohl Neulinge, die sich in dieses interessante Themenfeld einarbeiten wollen, als auch erfahrene Expertinnen und Experten sowie Forschende im Bereich des Toleranzmanagements.



« Das Toleranzmanagement, seine vielfältigen Themenbereiche, der aktuelle Forschungsstand und die bevorstehenden Herausforderungen werden zum ersten Mal in einem Buch ganzheitlich zusammengefasst »



- Teil I Vernetzte Aktivitäten im Toleranzmanagement und Robust Design
- Teil II Fortgeschrittene Methoden für die Toleranzanalyse und -synthese
- Teil III Toleranzanalysemethoden für nicht-geometrische Funktionsgrößen
- Teil IV Prozess- und betriebsorientiertes Toleranzmanagement

Lehrstuhl für

**Konstruktionstechnik**

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack



# Mit empirischem Testing zur Innovation

Konstruktionswissen als Schlüssel zu erfolgreichen Produkten

Innovative Produktentwicklung zeichnet sich durch hohes spezifisches Konstruktionswissen aus. Trotz umfangreicher Dokumentationen, Normen und Datenbanken ist dieses für technische Innovationen und erfolgreiche Produkte dringend benötigte spezifische Konstruktionswissen aber häufig nur eingeschränkt verfügbar. In solchen Fällen muss das benötigte Konstruktionswissen mühsam aufgebaut werden – ein Prozess, der mit ausreichender Erfahrung gut zu bewältigen ist, jedoch ohne diese Erfahrung erheblich erschwert wird. Strukturierte, methodische Ansätze, die den Prozess in diesen Situationen gezielt unterstützen könnten, fehlen jedoch meist. Methoden zum empirischen Testing bieten hier eine Lösung: Durch gezielten Betrieb, Beobachtung und Bewertung des technischen Systems lässt sich Konstruktionswissen aufbauen, das auf realen Daten und Beobachtungen basiert. So wird eine Grundlage geschaffen, um Innovationen gezielt voranzutreiben und Produkte zu entwickeln, die den gewünschten Zweck zuverlässig erfüllen.

## WIE KANN ENTWICKLUNGSKOMPETENZ GEFÖRDERT WERDEN?

Das Testing zum Konstruktionswissen (Matthiesen & Grauberger 2024) fördert die Entwicklungskompetenz, indem es methodische Unterstützung für den Wissensaufbau zum Zusammenhang von Funktion, funktionalem Verhalten und Gestalt eines Produkts liefert.



© Karlsruher Institut für Technologie (KIT) 2024. All Rights Reserved.

Dies ist entscheidend, um erfolgreiche Produkte zu entwickeln, da nur so sichergestellt werden kann, dass das Produkt durch die in der Konstruktion definierte Gestalt seinen Zweck erfüllt. Um dabei erfolg-

reich zu sein, sind Strategien des Testing notwendig. Durch sie kann trotz großer Unsicherheit in der Planung ein effizienter Aufbau des notwendigen Konstruktionswissens erfolgen. Clevere Testing-Objekte werden in geeigneten Testing-Umgebungen betrieben, beobachtet und bewertet. Wichtige Unterstützung hierzu liefert das Testing zum Konstruktionswissen. Es zeigt im Detail auf, wie solche Testing-Aktivitäten systematisch geplant, durchgeführt und ausgewertet werden können, um das notwendige Konstruktionswissen aufzubauen.

## WIE KANN DER AUFBAU VON ENTWICKLUNGSKOMPETENZ UNTERSUCHT WERDEN?

Der Aufbau dieser Entwicklungskompetenz in der Produktentwicklung kann gezielt durch den Einsatz von Entwicklungssimulatoren untersucht und gefördert werden. Diese Simulatoren bilden den Entwicklungsprozess eines technischen Systems in einer stark verkürzten Zeitspanne ab, die von wenigen Stunden bis zu einigen Wochen reicht. Durch diese Simulation wird es möglich, den gesamten Prozess zu erleben und gleichzeitig das Ergebnis und den Prozess in Diskussionsrunden kritisch zu hinterfragen und zu reflektieren.



© Karlsruher Institut für Technologie (KIT) 2024. All Rights Reserved.

Ziel dieses Ansatzes ist es, die Entwicklungskompetenz zu erweitern und die Entscheidungskompetenz der Entwicklerinnen und Entwickler zu fördern. Dies kann durch die Einführung generischer Designprozesse unterstützt werden, die in Kombination mit neuen Testing-Methoden zu einer signifikanten Reduzierung der Entwicklungszeit und -kosten führen. Solche Ansätze ermöglichen es, Entwicklungsprozesse effizienter zu gestalten und zugleich

die notwendige Kompetenz zur Lösung zukünftiger Herausforderungen gezielt aufzubauen.

## WIE LÄSST SICH DER AUFBAU VON ENTWICKLUNGSKOMPETENZ BEREITS FRÜH IN DIE AUSBILDUNG INTEGRIEREN?

Das neu entstehende LAZ – Lern- und Anwendungszentrum Mechatronik am KIT vereint Hörsaal, Projektarbeitsräume und Fertigungswerkstatt im Industriestandard in einem Gebäude. Es bietet einen Rahmen, in dem sich Studierende ausprobieren und Ideen auch wirklich in die Realität überführen können. Nur durch das Erleben und Durchführen von Entwicklungsprojekten und den dabei aufkommenden konstruktiven Problemstellungen kann der Aufbau von Entwicklungskompetenzen nachhaltig vermittelt werden.

In dieser einzigartigen Lehr-Lernumgebung kann durch den Einsatz von Entwicklungssimulatoren, wie dem Rasthaken-Konfigurator, der Aufbau von Konstruktionswissen in einem kurzen Zeitrahmen erlebbar gemacht werden. Mittels eines interaktiven parametrisierten 3D-Modells kann durch die Verbindung von schneller Fertigung mit Rapid-Prototyping-Verfahren das Testing zum Konstruktionswissen methodisch unterstützt, durchgeführt und somit Konstruktionswissen gezielt aufgebaut werden. Es bietet ein anschauliches und interaktives Beispiel in Vorlesung und Schulungen.

## LITERATUR

Matthiesen S, Grauberger P, Hrsg. Konstruktionswissen für Ingenieure. Springer Berlin Heidelberg; 2024. doi:10.1007/978-3-662-68986-8

## AUTOREN

Christoph Zimmerer, M. Sc.  
Christoph Wittig, M. Sc.  
Dr.-Ing. Patric Grauberger  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen  
IPEK - Institut für Produktentwicklung  
Lehrstuhl für Gerätekonstruktion und Maschinenelemente  
Karlsruher Institut für Technologie



# Mithilfe von Lebenszyklusanalysen Verbesserungspotentiale identifizieren

Projekt zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung der Körper Technologies GmbH

Neben der Neuentwicklung nachhaltiger Lösungen ist auch die Verbesserung bestehender Produkte hinsichtlich Nachhaltigkeit ein wichtiger Schritt, um die Klimaziele der EU zu erreichen. In einem gemeinsamen Projekt des Instituts für Produktentwicklung und Produktionstechnik (PKT) der Technischen Universität Hamburg (TUHH) und der Körper Technologies GmbH wurde deshalb eines der Produkte, der Multi-Segment Maker (MSM), hinsichtlich Potentialen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit analysiert.

## VORSTELLUNG DES PRODUKTBEISPIELS

Die Körper Technologies GmbH fertigt Maschinen, die in der Tabakindustrie für die Herstellung von Zigaretten oder Tobacco Heated Products (THP) zum Einsatz kommen. Der Multi Segment Maker (MSM) ermöglicht die Herstellung besonders komplexer Produkte, wie der THP, die aus verschiedenen Komponenten und Materialien, den sog. Segmenten, zusammengesetzt sind. Hierbei werden im MSM verschiedene Schritte durchgeführt, wie das Zuführen von Basismaterial, das Schneiden in Segmente, das Beleimen des Belagpapiers sowie das Bilden von Doppelprodukten. Im Rollmodul, für das im Projekt Verbesserungspotentiale abgeleitet wurden, werden über Trommeln Segmente zugeführt und mit Belagpapier verleimt.

## IDENTIFIKATION VON EMISSIONSSCHWERPUNKTEN

Bei bestehenden Produkten stellt sich für die Produktentwicklung häufig die Frage, wo die größten Hebel zur Verbesserung der Nachhaltigkeit liegen. Zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit des Rollmoduls wurde deshalb eine Lebenszyklusanalyse (LCA) mit dem Programm Umberto durchgeführt.

Eine Herausforderung hier war es, die Komplexität der Maschine für eine Grobbilanzierung passend zu reduzieren, um den Bilanzierungsaufwand vertretbar zu halten. Die LCA liefert Aufschluss darüber, wie viele Emissionen in den verschiedenen Produktlebensphasen emittiert werden. Für das Rollmodul dominiert hier die Nutzungsphase, da die Maschinen über einen Zeitraum von etwa 15 Jahren eingesetzt werden und im

Betrieb einen hohen Bedarf an Strom sowie Druckluft haben.

## ABLEITUNG VON VERBESSERUNGSPOTENTIALEN

Die reine Aufschlüsselung nach den Lebensphasen liefert jedoch noch keine Auskunft über die Verbraucher selbst. Hierfür ist die Zuordnung sowohl aus Komponenten- als auch aus Prozesssicht notwendig. Zur Verdeutlichung der Produktstruktur wurde deshalb ein Module Interface Graph (MIG) gezeichnet, der vereinfacht die Komponenten sowie die Flüsse im Rollmodul visualisiert. Um Handlungsschwerpunkte zu identifizieren, wurde außerdem eine umsatzorientierte Funktionsstruktur des Moduls aufgestellt. Diese verdeutlicht die Abläufe während der Nutzungsphase. Die Zuordnung von Emissionen an die lösungsneutralen Funktionen hilft bei der Identifikation der hinsichtlich Nachhaltigkeit relevanten Funktionen.

Im Rahmen der International Summer School on Product Architecture Design (PAD2024), die im Juni am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik in Hamburg stattgefunden hat, wurde zudem ein Industrieworkshop durchgeführt (Bild 1). Nach Vorstellung des Produktbeispiels und zugehöriger Workshopmaterialien stellten die 20 internationalen Teilnehmer der Summer School zunächst selbst grobe Sachbilanzen auf und leiteten anschließend mithilfe von Gestaltungsrichtlinien der Kreislaufwirtschaft [1] Änderungsvorschläge ab. Basierend auf

den Ergebnissen der LCA wurde vor allem Potentiale hinsichtlich der Senkung des Energieverbrauches in der Nutzungsphase fokussiert. Beispielsweise ist es ein möglicher Ansatz, die Vakuumversorgung, mithilfe derer Segmente auf den Trommeln gehalten werden, nicht mehr zentral, sondern möglichst bedarfsgerecht zu gestalten. Die identifizierten Potentiale zeigen Richtungen auf, die bei der Weiterentwicklung der MSM eingeschlagen werden können. Diese müssen im Weiteren auf technische Machbarkeit hin untersucht werden.

## LITERATUR

[1] Aguiar, M. F.; Jugend, D. (2022): Circular product design maturity matrix. A guideline to evaluate new product development in light of the circular economy transition. Journal of Cleaner Production 365, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132732>

## AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause  
Sven Wehrend, M.Sc.  
Katharina Zumach, M.Sc.  
Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT)  
Technische Universität Hamburg (TUHH)



Bild 1: Teilnehmer der PAD2024 vor der Körper Technologies GmbH in Hamburg.

# Den Menschen in der Mensch-Maschine-Interaktion verstehen

Menschmodelle zur Berücksichtigung der Mensch-Maschine-Interaktion in der Produktentwicklung

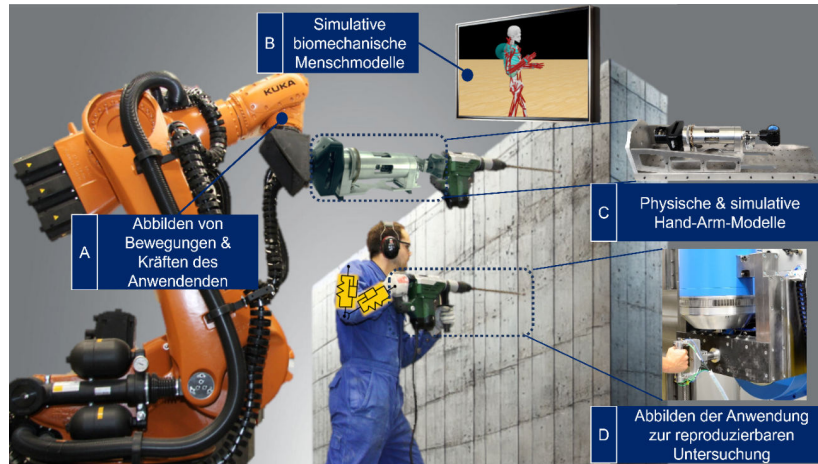


Abbildung 1: Simulative und physische Menschmodelle für die Mensch-Maschine-Interaktion

**M**enschmodelle bieten großes Potenzial für die Entwicklung innovativer Produkte. Die Berücksichtigung des Menschen als Teil des Gesamtsystems ermöglicht ein besseres Verständnis der Mensch-Maschine-Interaktion. Um die Mensch-Maschine-Interaktion physisch und simulativ für neue Kraftvariationen und Beanspruchungen reproduzierbar abzubilden und vorherzusagen, werden vom IPEK bereits entwickelte Menschmodelle in drei laufenden DFG-Projekten erweitert. So können Interaktionen, etwa zwischen einem Bohrhämmer und einem Anwendenden, frühzeitig bewertet und optimiert werden.

## BEANSPRUCHUNG IN DER MENSCH-MASCHINE-INTERAKTION

Zur Bewertung der physischen Beanspruchung werden Muskelaktivitäten, Bewegungen und externe Kräfte durch experimentelle Messungen erfasst. Zusätzlich werden subjektive Wahrnehmungsaspekte erfasst, um die gemessenen Größen bewerten zu können. Diese Erkenntnisse fließen in biomechanische Menschmodelle, s. Abbildung 1 B, ein, die Beanspruchungen unter verschiedenen Bedingungen simulieren. Das aktuelle DFG-Projekt „Methodisches Vorgehen und Co-Simulation zur Vorhersage und biomechanischen Optimierung der Mensch-Maschine-Interaktion bei Tätigkeiten mit elektrischen Handwerkzeugen“ kombiniert ein statistisches und ein biomechanisches Menschmodell, um die Beanspruchung bei Bohrhämmeranwen-

dungen simulativ für neue Produktgestalten vorherzusagen.

## SCHWINGUNGSVERHALTEN DES HAND-ARM-SYSTEMS

Um die Wechselwirkungen zwischen maschinenbedingten Vibrationen und der Reaktion des menschlichen HAS zu verstehen, muss das Schwingungsverhalten detailliert analysiert werden. Mit dem DFG-geförderten Shaker-System lassen sich Vibrationsbelastungen realitätsnah oder mit generischen Anregungen erforschen. Die Vibrationen können über einen Messgriff auf das HAS aufgebracht werden, s. Abbildung 1 D, wobei Greif- und Andruckkräfte an die jeweilige Anwendung angepasst werden, um deren Einfluss zu analysieren. Die erzeugten Daten dienen zur Entwicklung physischer und simulativer Menschmodelle des HAS, die die Steifigkeits- und Dämpfungseigenschaften abbilden. In dem aktuellen DFG-Projekt „Modellierung und Simulation des Schwingungsverhaltens von Hand-Arm-Systemen für sechs Anregungsrichtungen im Kontext der nutzerzentrierten Produktentwicklung“ werden simulative Hand-Arm-Modelle entwickelt, um translatorische und rotatorische Vibrationsbelastungen unter variierenden Greif- und Andruckkräften abzubilden. Damit soll das Schwingungsverhalten für beliebige Greif- und Andruckkraftkombinationen in den jeweils drei Raumrichtungen vorhergesagt werden können, was schnelle, iterative Tests in der frühen Produktentwicklung

ermöglicht. Das laufende DFG-Projekt „Dynamisch adaptive Impedanzelemente zur Schwingungsbeeinflussung in Validierungsumgebungen“ zielt darauf ab, das physische Hand-Arm-Modell, s. Abbildung 1 C, adaptiv um variierende Greif- und Andruckkräfte zu erweitern. Dieses Modell kann zwischen einem Industrieroboter und einem Power-Tool integriert werden, um den Menschen ganzheitlich abzubilden, s. Abbildung 1 A. Damit können automatisierbare, reproduzierbare Tests ohne Steuerung durch Anwendende ermöglicht werden, die zur Gestaltung von Maschinen und Werkzeugen beitragen.

Mit den vorgestellten Menschmodellen soll zukünftig die Mensch-Maschine-Interaktion noch besser verstanden, abgebildet und vorhersagt werden können.

## AUTOREN

Carina Spengler, M.Sc.  
Susanne Sutschet, M. Sc.  
Simon Saubier, M. Sc.  
Dr.-Ing. Markus Döllken  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen  
IPEK – Institut für Produktentwicklung  
Lehrstuhl für Gerätekonstruktion und Maschinenelemente  
KIT – Karlsruher Institut für Technologie

Gefördert durch die





# Toleranzwerte für Allgemeines Flächenprofil

## Überarbeitung der DIN 2769 und Angebot zum Test eines neuen Verfahrens für die Toleranzwertfestlegung

Im Auftrag des DIN NA 152-03-02 AA (Arbeitsausschuss CEN/ISO Geometrische Produktspezifikation und -prüfung) erfolgt derzeit eine Überarbeitung der DIN 2769 mit dem Ziel der Fertigstellung des neuen Normentwurfs bis 09/2025.

Die Arbeit wird im WIPANO-Vorhaben 3D-i-AllgemeinTol unter Leitung der SIEMENS AG mit Beteiligung der SIEMENS energy GmbH und der Professur für Virtuelle Produktentwicklung der TU Dresden durchgeführt. Um breitgefächerte Anregungen aufzunehmen, begleiten Praktiker und Normungsspezialisten aus interessierten Unternehmen das Vorhaben.

### MOTIVATION UND ZIELE

In den Normen zur geometrischen Produktspezifikation sind nur spärliche Angaben zur Festlegung der Allgemeintoleranzen enthalten. DIN EN ISO 22081 legt lediglich allgemeine Regeln aber keine konkreten Toleranzwerte fest. Auch die ergänzende DIN 2769 enthält keine Festlegung für variable Toleranzwerte der Flächenprofil-toleranz. Gerade diese variablen Toleranzwerte werden aber von vielen Anwendern gefordert, da ein einzelner Toleranzwert für das gesamte Bauteil häufig zu pauschal und daher für die Anwendung in der Praxis ungeeignet ist.

Zu entwickeln ist daher ein Verfahren zur Festlegung der variablen Toleranzwerte, das

- einfach und transparent anwendbar ist,
- den aktuellen Normungsstand aufnimmt und ergänzt sowie
- eine geeignete Alternative zur nennmaß abhängigen Toleranzwertbestimmung der früheren DIN ISO 2768-2 darstellt.

Das neue Verfahren muss die 3D-modellbasierte und die zeichnungsbasierte geometrische Produktspezifikation gleichermaßen erlauben und damit die Etablierung digitaler Prozessketten unterstützen (Klassifizierungscode 5, DIN ISO 16792).

### TOLERANZWERT- FESTLEGUNG

Das entwickelte Verfahren untersetzt die allgemeine Empfehlung der DIN EN ISO 22081, Toleranzwerte abhängig von der Größe der zu tolerierenden Fläche oder abhängig von ihrem Abstand zum Ursprung des Bezugssystems festzulegen.

Zunächst ermittelt der Anwender ein Kriterium aus Flächengröße oder /und Abstand zum Bezugssystem. Abhängig von diesem Kriterium kann der Toleranzwert aus einer Tabelle (siehe Bild 1) entnommen werden. Zuvor muss eine Toleranzklasse gewählt werden, die abhängig von Produktarten und Branchen kleinere oder größere Toleranzwerte verkörpert. Die Toleranzwerte sind ähnlich wie in der früheren DIN ISO 2768-2 geometrisch gestuft.

### TESTANGEBOT

Das Verfahren lässt sich für CAD-Modelle leicht automatisieren, so dass die sich ergebende Allgemeintoleranz anschaulich visualisiert werden kann. Auf der Webseite <https://tud.link/dtzed1>

stellen wir den erarbeiteten Vorschlag zur Festlegung variabler Toleranzwerte für die allgemeine Flächenprofil-toleranz vor. Auf der Webseite sind weiterführende Informationen zum Vorschlag und zum Testangebot nachzulesen.

Erproben und evaluieren Sie den Vorschlag! Senden Sie uns 3D-Modelle per E-Mail und wir wenden das Verfahren auf die zugesandten Modelle an. Sie erhalten ein texturiertes 3D-PDF zurück, das eine visuelle Darstellung der Toleranzwerte für jede Fläche beinhaltet.



QR-Code zum Testangebot

### AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold-Byhain  
Dr.-Ing. Wolfgang Steger  
Professur für Virtuelle Produktentwicklung  
TU Dresden

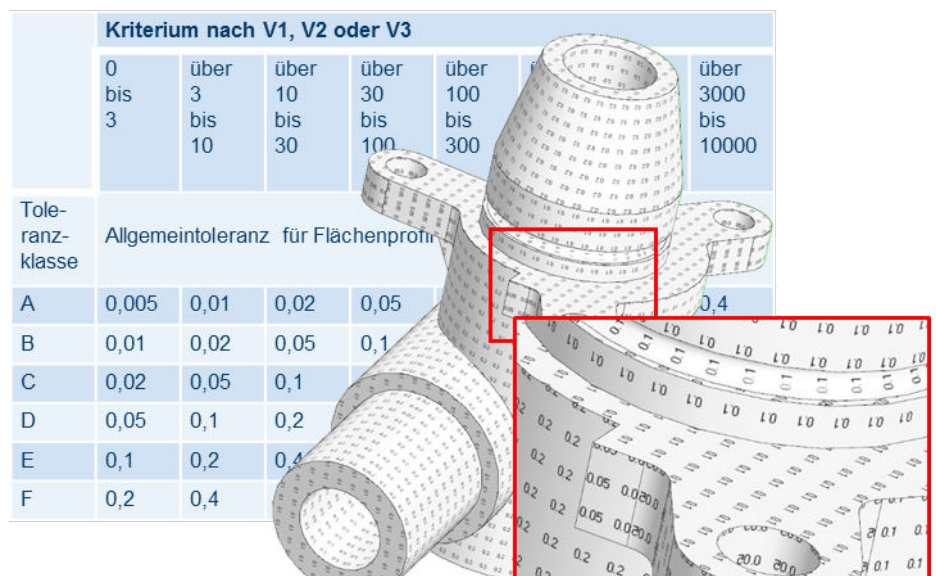


Bild 1: Toleranzwert-Tabelle und texturiertes 3D-Modell mit Allgemeintoleranzwerten

# MBSE für Einstein-Teleskop

## Einsatz von MBSE-Methoden zur Entwicklung eines Gravitationswellenteleskops

Zur Bestätigung der allgemeinen Relativitätstheorie und zur Durchführung von astronomischen Beobachtungen ist es für die Wissenschaft von großer Bedeutung das Verständnis von der Entstehung und Bewegung von Gravitationswellen zu stärken. Bei Gravitationswellen handelt es sich um wellenartige Störungen der Raumzeit, welche durch die Beschleunigung von Massen überall im Universum hervorgerufen werden. Durch die Messung von Gravitationswellen lassen sich Rückschlüsse auf enorm massenhafte Objekte wie Schwarze Löcher und Neutronensterne ziehen. Die direkte Messung von Gravitationswellen gelang erstmalig 2015 in den USA<sup>1</sup>. Zum Einsatz kamen hierbei zwei Michelson-Interferometer, welche die durch Gravitationswellen verursachten winzigen Deformationen im Raum-Zeit-Kontinuum in Form von kleinen Längenänderungen einer Messstrecke detektieren können. Diese Änderungen sind extrem klein – oft im Bereich von einem Bruchteil der Breite eines Protons. Zur Messung der kleinen Längenänderung nutzt das Interferometer die Prinzipien der Lichtinterferenz (Bild 1). Ein Laserstrahl wird in zwei Strahlen aufgeteilt, die durch zwei meist orthogonale, mehrere Kilometer lange Arme geleitet werden. Wenn das Licht das Ende eines Armes erreicht hat, wird es über ein Spiegelsystem zurückgeführt. Wenn die beiden Strahlen wieder zusammengeführt werden, erzeugen sie ein Interferenzmuster.

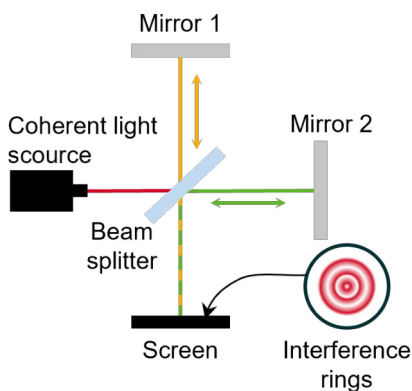


Bild 1: Vereinfachte Skizze des ET-Nieder- und Hochfrequenz-Kerninterferometers eines einzelnen ET-Detektors

Kleinste Veränderungen in den Längen der Arme, hervorgerufen durch das Vorbeiziehen einer Gravitationswelle, führen zu Veränderungen in diesem Muster. Durch die Variation der Frequenz der Laserstrahlen können verschiedene Bereiche des Spektrums abgedeckt werden und somit die Empfindlichkeit erhöht werden. Obschon messbar erfordert die Detektion und weitere Erforschung von Gravitationswellen höhere Genauigkeiten, als sich mit den derzeitigen Instrumenten erreichen lassen. Eine längere Messstrecke in Form von längeren Armen, im Zusammenspiel mit hochwertigeren Laser- und Spiegelsystemen und einer guten Entkopplung der Instrumente von seismischen, thermischen und menschlichen Aktivitäten ist hierbei von hoher Wichtigkeit.

Ermöglicht werden soll dies durch den von europäischen Forschungseinrichtungen koordinierten und von staatlichen Institutionen finanzierten Bau und Betrieb des Einstein-Teleskop (ET). Das Teleskop wird unter Tage gebaut und besteht aus dreieckig angeordneten zehn Kilometer langen, als Tunnel ausgeführten Interferometer-Armen. Jeder Tunnel dient als Strahlweg für die Laserstrahlen von jeweils zwei Interferometern, eines optimiert für niedrige Frequenzen und eines für hohe Frequenzen (Bild 2). Zur Erfassung von Gravitationswellen sollen im Betrieb Längenänderungen der Tunnel von weniger als einem tausendstel Atomdurchmesser erfasst werden können<sup>2</sup>. Die Detektion von Längenänderungen im Bereich 10-22 m stellt entsprechend hohe Anforderungen an den Untergrund, die schwingungsarme Aufhängung, die Dämpfung, die Messtechnik, die Kühlung, das Vakuum und alle weiteren Komponenten des Teleskops. Darüber hinaus werden die zahlreichen Komponenten des Teleskops von vielen verschiedenen Forschungseinrichtungen unterschiedlicher Fachrichtungen in ganz Europa dezentral entwickelt.

Aus den beschriebenen Randbedingungen ergibt sich die Komplexität, die Arbeiten an unterschiedlichen Komponenten zu koordinieren und die Wechselwirkungen dazwischen zu erfassen und abzusichern.

Die Erfüllung der hohen Anforderungen erfordert eine präzise Abstimmung der einzelnen Komponenten und Subsysteme. Dabei sind die effiziente Koordination und Umsetzung dieser Abstimmung unerlässlich, um die Funktion des ET sicherzustellen, die Gesamtkosten des Vorhabens zu minimieren, die geplante Inbetriebnahme zu gewährleisten und eine nachhaltige Umsetzung zu ermöglichen.

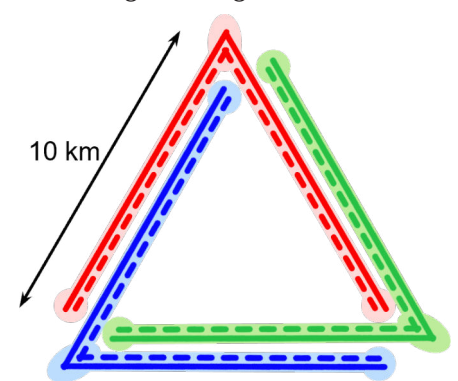


Bild 2: Das Einstein-Teleskop besteht aus drei ineinander verschachtelten Detektoren (blau, grün und rot), optimiert für niedrige Frequenzen (durchgezogen) und hohe Frequenzen (gestrichelt).

## MODELLBASIERTE SYSTEMENTWICKLUNG

Bei komplexen interdisziplinären Projekten mit hohem Kosten-, Zeit- und Qualitätsrisiko, wie dem Einstein-Teleskop sind die Absicherung der Produkthanforderungen und die Fähigkeit die Komplexität zu beherrschen von entscheidender Bedeutung. Die Systementwicklung, insbesondere die modellbasierte Systementwicklung (MBSE), bietet einen strukturierten Ansatz für das Management der interdisziplinären und vernetzten Entwicklung und Absicherung sowie des dazu nötigen virtuellen Zwillinges des Einstein-Teleskops und trägt letztlich zur Erreichung wissenschaftlichen Ziele bei<sup>3</sup>. Daher entwickelt das Institut für Maschinenelemente und Systementwicklung der RWTH (MSE) im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts einen MBSE-Rahmen zum Aufbau eines virtuellen Zwillinges des Einstein-Teleskops. Der virtuelle Zwilling ist die modellhafte Repräsen-



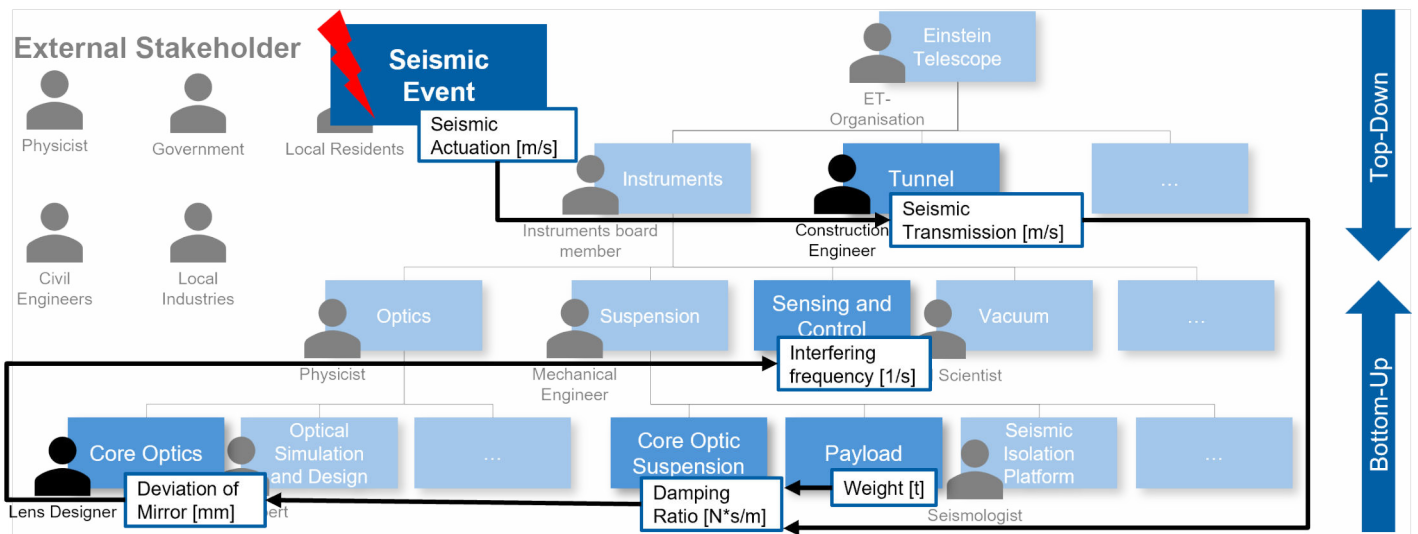


Bild 3: Sowohl die Top-Down-Sicht auf das Gesamtsystem und dessen Dekomposition als auch die Bottom-Up-Komposition elementarer Modellkomponenten unterschiedlicher involvierter Experten zu einem Gesamtsystem sind Teil des MBSE und müssen gemeinsam beherrscht

tation einer zu realisierenden oder realen Komponente, welche das physikalische Verhalten, die Anforderungen, Kosten und Stakeholder des Teleskops beschreibt, die Einflüsse von Entwicklungsentscheidungen transparent macht und die Erfüllung aller Anforderungen sicherstellt. Dazu muss die Komplexität des Systems Teleskop im Top-Down Prozess durch strukturierte Dekomposition so weit reduziert werden, dass für Arbeitsgruppen erfassbare Komponenten entstehen. Dies ist beispielsweise der Schwingungsdämpfer der Interferometerspiegel. Jede dieser Komponenten wird von den jeweiligen Arbeitsgruppen entwickelt und durch physikalische Modelle beschrieben. (Bild 3) Um das Gesamtsystem zu beschreiben, müssen die einzelnen Modelle in einem Bottom-Up Prozess miteinander vernetzt werden. Diese Vernetzung ermöglicht eine Parameterdurchgängigkeit und

Traceability über alle Komponenten und Modelle hinweg. Der MBSE-Rahmen muss sowohl den Top-Down als auch den Bottom-Up Prozess abdecken, da nur so sichergestellt wird, dass tatsächlich eine Parameterdurchgängigkeit durch das Gesamtsystem besteht und die einzelnen Komponenten ausreichend genau durch Modelle beschrieben sind, um eine Absicherung zu ermöglichen. (Bild 4) Das MBSE-Framework wird in der 3DEXperience-Plattform (3Dx) von Dassault Systèmes entwickelt/aufgebaut, die als zentraler Knotenpunkt für Daten und Zusammenarbeit für das ET-Projekt dient. Die 3Dx-Plattform schafft einen „Single Point of Truth“, der sicherstellt, dass alle Teammitglieder Zugang zu denselben und aktuellen Informationen haben. In dieser Umgebung wird ein Demonstrator eines virtuellen Zwillings eingerichtet, um das technische und organisatorische Potenzial

des ET als Teil einer Machbarkeitsstudie zu bewerten. Sobald die Rahmenbedingungen und der Demonstrator geschaffen sind, können die Erkenntnisse für die Erweiterung des MBSE-Ansatzes auf die gesamte Entwicklung des ET angewendet werden.

### ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsprojekts ist es, das Potenzial der Verwendung eines MBSE-Frameworks (Bild 3) für die Entwicklung des Einstein-Teleskops zu demonstrieren. Daher werden die folgenden Ziele verfolgt:

#### 1. Vernetzte Engineering-Plattform für Verwaltung, Zusammenarbeit und Datenmanagement

Die Kollaborationsplattform schafft einen ten und gewährleistet die Verfügbarkeit korrekter Informationen sowie eine effi-

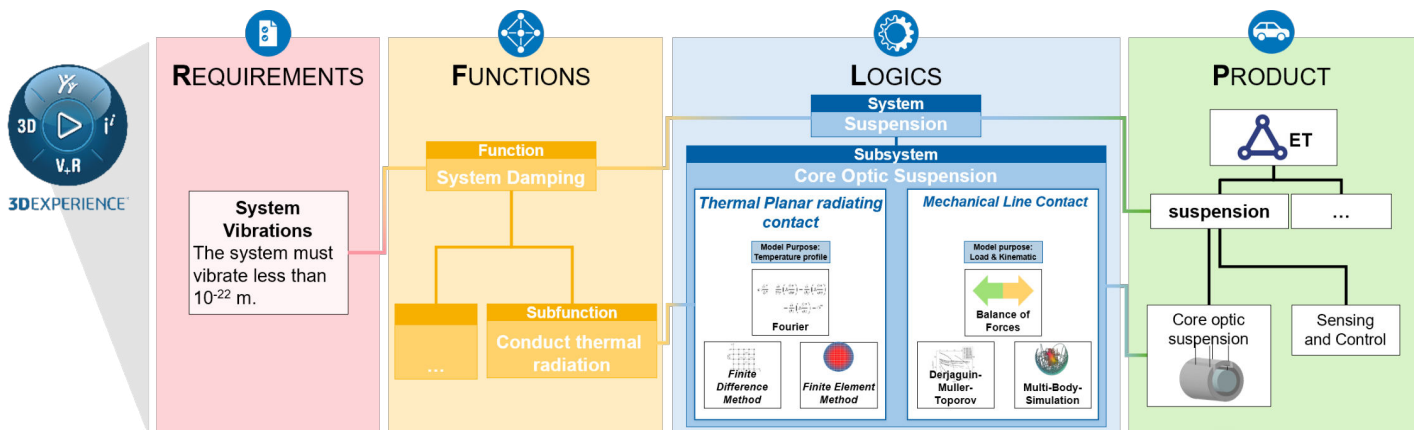


Bild 4: Durch die Bottom-up-Aggregation eines Modellnetzwerks von Lösungselementen entsteht ein parameterkonsistentes Gesamtmodell. Um die Verknüpfung von Parametern über Instituts Grenzen hinweg zu ermöglichen, wird die 3DX-Plattform von Dassault Systèmes eingesetzt.

„Single Point of Truth“ für die Projektdaten und gewährleistet die Verfügbarkeit korrekter Informationen sowie eine effiziente Zusammenarbeit und Kommunikation.

### 2. *Systems-Engineering-Rahmen für den Aufbau eines virtuellen Zwillings des ET*

Der Rahmen spezifiziert die MBSE-Methodik für den Bau des virtuellen Zwillings des Einstein-Teleskops und definiert die wichtigsten Prinzipien, Prozesse sowie die Systemarchitektur für dessen Entwicklung.

### 3. *Demonstrator des virtuellen Zwillings*

Der Aufbau eines detaillierten virtuellen Zwillings für das gesamte ET ist innerhalb der Projektlaufzeit von zwei Jahren nicht möglich. Ziel ist daher die Entwicklung eines Demonstrators mit exemplarischen Daten und Modellen von Hochrisiko-Subsystemen, um das MBSE-Potenzial zu bewerten. Der Demonstrator soll eine transparente Verwaltung und Visualisierung der Ingenieurdaten aus den Perspektiven Produkt (Vakuumsystem, Optik, Aufhängung, Kryogenik), Gebäude (Tunnel, Labore, Werkstätten) und Infrastruktur ermöglichen. Technische Machbarkeitsstudien sollen die Vorteile des Rahmens sowie die Unterstützung von Zusammenarbeit und Datenmanagement durch den virtuellen Zwilling nachweisen.

### 4. *Modelle für die Bewertung der Einhaltung von Kosten- und Nachhaltigkeitsaspekten des ETs*

Für die Überprüfung der Einhaltung von Vorgaben zu Kosten und Nachhaltigkeit sollen Modelle in die Kollaborationsplattform eingebunden werden, welche mit den Projektdaten verknüpft eine Bewertung zulassen.

Die zahlreichen Erfahrungen in der Modellierung komplexer Systeme und der modellbasierten Lösungsfindung für mechatronische Systeme ermöglichen dem MSE die Erforschung und Eigenentwicklung neuartiger MBSE-Methoden. Wir freuen uns, zusammen mit den vielen Partnern aus unterschiedlichen Bereichen der Forschung,

MBSE weiter in die Anwendung zu bringen und hoffen, das Gelingen des Gesamtprojektes unterstützen zu können.

## LITERATUR

1. Abbott, B. P. et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical review letters* 116, 61102; 10.1103/PhysRevLett.116.061102 (2016).
2. Maggiore, M. et al. Science case for the Einstein telescope. *J. Cosmol. Astropart. Phys.* 2020, 50; 10.1088/1475-7516/2020/03/050 (2020).
3. Systems Engineering Vision 2035. INCOSE. Available at [https://www.incose.org/docs/default-source/se-vision/incose-se-vision-2035.pdf?sfvrsn=e32063c7\\_10](https://www.incose.org/docs/default-source/se-vision/incose-se-vision-2035.pdf?sfvrsn=e32063c7_10) (2021).

## AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs

Thilo Zerwas, M.Sc.

Jan Niklas Schmitz, M.Sc.

Lehrstuhl und Institut für Maschinenelemente und Systementwicklung  
RWTH Aachen

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



DESY  
PROJEKTRÄGER



# Produkt- und Prozessparameterdesign additiv gefertigter Mechanismen

Virtuelle Absicherung und Verbesserung der Produktqualität additiv gefertigter Mechanismen mittels Design- und Funktionssynthese im Kontext des prozessorientierten Toleranzmanagements

Additive Fertigungsverfahren (AF), wie das Fused-Layer-Modeling (FLM), zeichnen sich durch große Gestaltungsfreiheit und losgrößenunabhängige Fertigungskosten aus. Allerdings mangelt es zumeist noch an Wissen und Bewusstsein der Produktentwickelnden für die Umsetzung eines fertigungs- und toleranzgerechten Produkt- und Prozessdesigns, um das Potential der AF voll auszuschöpfen. Informationen aus dem Fertigungsprozess, bspw. wie sich prozessspezifische Variablen auf die Produkthanforderungen auswirken, müssen dabei bereits frühzeitig bekannt sein und berücksichtigt werden, um die Qualität der Produkte virtuell absichern zu können. Hierfür bedarf es der Entwicklung und Bereitstellung von AF-spezifischen Methoden zur effizienten Analyse sowie Synthese der Produktqualität, um die Auswirkungen auf die definierten Anforderungen durch die frühzeitige Berücksichtigung des AF-Prozesses gezielt evaluieren zu können. [1]

## ZIELSETZUNG

Um diese Herausforderung zu bewältigen, beschäftigte sich das dreijährige DFG-Projekt „Pro2AMech: Rechnerunterstütztes Produkt- und PROzessparameterdesign Additiv gefertigter, montagefreier MECHANISMEN“ mit der Entwicklung einer Methode zur virtuellen Absicherung und Verbesserung der Produktqualität additiv gefertigter Mechanismen. So sollen Produktentwickelnde ohne vertiefte Kenntnisse in der AF zur simultanen

Analyse und Synthese der Produktqualität FLM-gefertigter Mechanismen durch die Verbesserung des Produkt- und Prozessparameterdesigns im Sinne des DfAM (Design for Additive Manufacturing) befähigt werden.

## ERGEBNIS

Die als Ergebnis des Forschungsvorhabens entwickelte Gesamtmethode (siehe Bild 1) zur virtuellen Funktionsanalyse und -absicherung erlaubt in der Anwendung die Berücksichtigung verfahrensspezifischer Charakteristika der AF wie Gelenkspiel und realistische Fertigungstoleranzen und -verteilungen innerhalb der statistischen Toleranzanalyse durch die Integration von Ersatzmodellen basierend auf maschinellem Lernen [2]. Die Integration von Methoden des maschinellen Lernens ermöglicht darüber hinaus die effiziente Anwendung in der Produktentwicklung, indem zeitaufwändige numerische Toleranzanalysemodelle durch Klassifikationsmodelle ersetzt werden können. In der Konsolidierung der einzelnen Teilmethoden wird somit eine umfangliche, realitätsnahe sowie für die Produktentwicklung effizient anwendbare, virtuelle Absicherung der Produktfunktionalität additiv gefertigter Mechanismen ermöglicht. Die Kombination mit der entwickelten wissensbasierten Methode für die DfAM-gerechte Anpassung des Produkt- und Prozessdesigns basierend auf formalisierten Design- und FLM-Prozessrichtlinien ermöglicht somit eine Erhöhung der Qualität im Rahmen der

Designsynthese bestehender Konstruktionen [3]. Die zugrundeliegende ontologiebasierte Wissensrepräsentation ermöglicht dabei eine Verknüpfung der Domänen AF, Produktentwicklung und Toleranzmanagement. So können die Synergien der Schnittstellen dieser drei Domänen effizient zur toleranz- und fertigungsgerechten virtuellen Auslegung, Absicherung und abschließenden Fertigung von additiven Bauteilen und Baugruppen von Produktentwicklern ohne vertiefte Kenntnisse in AF und Toleranzmanagement genutzt werden.

## DANKSAGUNG

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Forschungsprojekts (WA 2913/27-2 und SCHL 2233/4).

## LITERATUR

- [1] R. Lachmayer, T. Ehlers, und R. B. Lippert, „Entwicklungsmethodik für die Additive Fertigung“. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2022.
- [2] P. Schaechtl, B. Schleich, S. Wartzack, „Statistical Tolerance Analysis of 3D Printed Non-Assembly Mechanisms in Motion Using Empirical Predictive Models“, *Appl. Sci.*, 11, 1860, 2021.
- [3] P. Schaechtl, S. Goetz, B. Schleich, S. Wartzack, „Knowledge-based product and process design synthesis of additively manufactured non-assembly mechanisms“, *Journal of Engineering Design*, 35(7), 818-848, 2024.

## AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack  
 Dr.-Ing. Stefan Götz  
 Paul Schächtl, M. Sc.  
 Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)  
 Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Benjamin Schleich  
 Product Life Cycle Management (PLCM)  
 Technische Universität Darmstadt

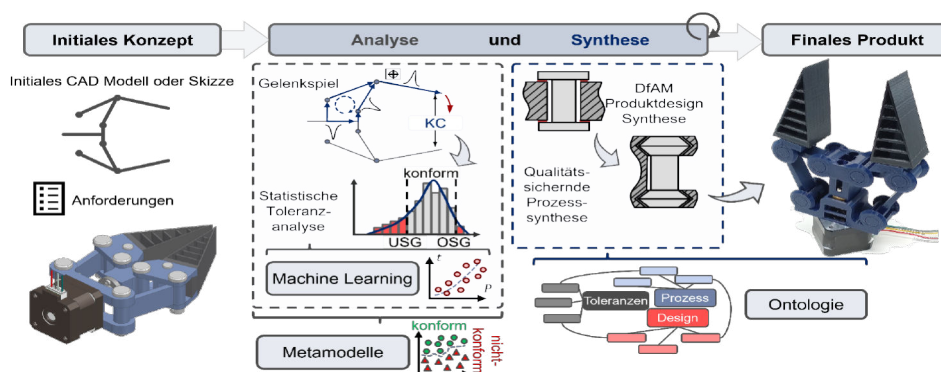


Bild 1: Ansatz für das fertigungs- und toleranzgerechte Produkt- und Prozessparameter-design additiv gefertigter Mechanismen

# Einsatz von Large Language Models (LLMs) für die Erstellung von kritischen Szenarien für die Erprobung automatisierter Fahrzeuge

## EINFÜHRUNG UND MOTIVATION

Die Verbreitung automatisierter Fahrzeuge (engl. AVs) verspricht einen großen Fortschritt in der Effizienz und Sicherheit im Mobilitätssektor. Bevor diese Fahrzeuge jedoch flächendeckend eingesetzt werden können, muss validiert werden, dass sie reale Bedingungen zuverlässig bewältigen können.

Die Identifikation und Erstellung von kritischen Szenarien für die virtuelle Erprobung sind entscheidend bei der Validierung der Fahrzeuge. Die Abbildung der Komplexität der realen Welt bleibt jedoch dabei weiterhin herausfordernd.

Derzeitige Ansätze für die Gewinnung relevanter Szenarien für die Validierung stützen sich auf vordefinierte Vorlagen oder die arbeitsintensive Extraktion der Szenarien aus aufgezeichneten Daten. Häufig ist der Anteil der kritischen Szenarien jedoch begrenzt, was zu Lücken in der Absicherung der Fahrzeuge führt.

Als neuartiger Ansatz werden in diesem Projekt Large Language Models (LLMs) für die Generierung von kritischen Szenarien eingesetzt.

## VISION

Im Einklang mit dem PEGASUS-Projekt [2] werden Szenarien in abstrakte, logische und konkrete Szenarien unterteilt. Abstrakte Szenarien bieten einen allgemeinen Kontext, während konkrete Szenarien auf der anderen Seite genaue Parameter für die Simulationen festlegen. Diese Struktur sorgt für Austauschbarkeit der Szenarien und unterstützt eine systematische Herangehensweise bei der Szenarien-Erstellung. Das Ziel dieses Projektes ist es, einen weiteren Ansatz für die Herausforderungen bei der Generierung von kritischen Szenarien zu erforschen. So sollen auch Nutzer mit geringem technischem Hintergrund detaillierte Szenarien entwerfen können. Die Idee ist, dass die Nutzenden nur eine einfache Beschreibung des Szenarios zur Verfügung stellen und das System daraus automatisiert ein ausführbares Szenario erstellt und alle offenen Randbedingungen füllt. Zum Bei-



Abbildung 1 Fiktive Verkehrssituation auf der Autobahn mit mehreren Fahrzeugen, einem Mo-torrad und einem landenden Flugzeug. Die Abbildung wurde unter Verwendung von DALL-E erstellt.

spiel könnte ein Nutzer ein Szenario anfordern, das eine typische Autobahnscene mit mehreren Autos und einem Motorrad zeigt. Das vorgeschlagene Modell würde dieses Szenario nicht nur erstellen, sondern bei Bedarf auch ein unerwartetes Element hinzufügen – wie ein leichtes Flugzeug, das eine Notlandung auf der Autobahn vor den Verkehrsteilnehmern durchführen muss, wie in Abbildung 1 gezeigt.

Das auf diese Weise generierte Szenario ist detailliert und kreativ und kann direkt in eine simulationsfähige Form übersetzt werden. Dieser Ansatz erweitert den Umfang und die Effizienz der Tests für automatisierte Fahrzeuge erheblich und ermöglicht eine größere Vielfalt an Szenarien, ohne umfangreiches technisches Wissen der Anwenderinnen und Anwender zu benötigen.

## SCOPE DES PROJEKTES

Obschon das Potenzial für innovative Szenarien, wie etwa Notlandungen von Flugzeugen, als realistisch, wichtig und interessant für Randfälle in der Validierung erachtet wird, wird die Realisierung derartiger Szenarien häufig noch durch die

Beschränkungen bestehender Standards zur Szenariobeschreibung limitiert. Der erste Forschungsschwerpunkt liegt in der Entwicklung eines Ansatzes, welcher den etablierten Standards für die Erstellung von Szenarien entspricht. Als Grundlage hierfür wurde der ASAM-Standard [3] gewählt, da er eine umfassendere Abdeckung von Szenarien bietet als andere Standards. Diese strategische Ausrichtung gewährleistet, dass der vorgeschlagene Ansatz nicht nur den etablierten Praktiken der Branche folgt, sondern diese auch verbessert und eine solide Grundlage für zukünftige Erweiterungen schafft.

Das Projekt ist in drei Abschnitte unterteilt, welche wie folgt definiert sind:

Im Rahmen des ersten Abschnitts erfolgt die Erstellung eines abstrakten Szenarios durch den sogenannten Szenario-Designer. Die Grundlage hierfür bilden die Nutzereingaben. Ein allgemeines Sprachmodell wird durch gezielte Eingaben so optimiert, dass eine präzise Interpretation der Eingaben des Nutzers gewährleistet ist.

Im Rahmen einer Konformitätsprüfung erfolgt eine Bewertung hinsichtlich der Umsetzbarkeit des entworfenen abstrak-



ten Szenarios mit dem aktuell geltenden ASAM-Standard. Dies gewährleistet, dass die semantische Integrität des Szenarios innerhalb der möglichen Parameter des Standards liegt. Im Anschluss erfolgt die Entwicklung einer simulationsfähigen Version des entworfenen Szenarios. Hierbei wird das im ersten Schritt definierte abstrakte Szenario in detaillierte, ausführbare Szenariodefinitionen übersetzt, sodass eine direkte Nutzung in Simulationsumgebungen gewährleistet ist.

#### RELEVANZ FÜR DIE PRODUKTENTWICKLUNG

Die Entwicklung neuartiger Produkte, wie beispielsweise automatisierter Fahrzeuge, wird in zunehmendem Maße durch die Komplexität und Vernetzung moderner Systeme herausgefordert. Die dargestellte Entwicklung erfordert innovative Ansätze, um den damit einhergehenden Herausforderungen effektiv zu begegnen. Die präsentierte Forschung demonstriert die Vorzüge

der Implementierung von Transfer Learning aus allgemeinen oder spezialisierten Bereichen auf spezifische Ziele innerhalb der Produktentwicklung. Diese Strategie veranschaulicht nicht nur die Effizienz bereichsübergreifender Anwendungen, sondern auch deren Adaptionfähigkeit, um künftigen technologischen Anforderungen und Herausforderungen gerecht zu werden.

#### LITERATUR

- [1] Moritz Klischat and Matthias Althoff. "Generating Critical Test Scenarios for Automated Vehicles with Evolutionary Algorithms". In: 2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). 2019, pp. 2352–2358.
- [2] PEGASUS. <https://www.pegasusprojekt.de/en/about-PEGASU>. Accessed:2019-07-08. 2019.
- [3] ASAM e.V. (Association for Standardisation of Automation and Measuring Systems). <https://www.asam.net/>. Accessed: 2024-10-2.

#### AUTOREN

Majid Jegarian, M. Sc.

Jonas Freyer, M. Sc.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Düser

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

IPEK - Institut für Produktentwicklung

Lehrstuhl für Produktentwicklung und

Antriebssysteme

Karlsruher Institut für Technologie









# WiGeP

Wissenschaftliche Gesellschaft  
für Produktentwicklung

## Mehr Innovationskraft durch Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft

Besuchen Sie die Website der WiGeP: [www.wigep.de](http://www.wigep.de)

### Vorstand/Anschriften:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer  
(Geschäftsführer)

Institut für Produktentwicklung und  
Gerätebau  
Leibniz Universität Hannover

An der Universität 1  
30823 Garbsen

Tel.: +49 (0) 511 1 762 3471

E-Mail: [lachmayer@ipeg.uni-hannover.de](mailto:lachmayer@ipeg.uni-hannover.de)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause  
(Sprecher des Vorstands und für Me-  
thoden & Prozesse in der Produktent-  
wicklung)

Institut für Produktentwicklung und  
Konstruktionstechnik  
Technische Universität Hamburg

Denickestraße 17  
21073 Hamburg

Tel.: +49 (0) 40 1 42878 3231

E-Mail: [krause@tuhh.de](mailto:krause@tuhh.de)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulf Kletzin  
(Sprecher für Lehre & Weiterbildung)

Fachgebiet Maschinenelemente  
Technische Universität Ilmenau

Max-Planck-Ring 12  
98693 Ilmenau

Tel.: +49 (0) 3677 1 69-2471

E-Mail: [ulf.kletzin@tu-ilmenau.de](mailto:ulf.kletzin@tu-ilmenau.de)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kirchner  
(Sprecher für Maschinenelemente und  
-systeme)

Fachgebiet Produktentwick-  
lung und Maschinenelemente  
Technische Universität Darmstadt

Otto-Berndt-Straße 2  
64287 Darmstadt

Tel.: +49 (0) 6151 1 1621171

E-Mail: [kirchner@pmd.tu-darmstadt.de](mailto:kirchner@pmd.tu-darmstadt.de)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard  
(Sprecher für Virtuelle Produktentwick-  
lung)

Lehrstuhl für Digital Engineering  
Ruhr Universität Bochum

Universitätsstraße 150  
44801 Bochum

Tel.: +49 (0) 234 1 32-27009

E-Mail: [detlef.gerhard@rub.de](mailto:detlef.gerhard@rub.de)

### Ordentliche Mitglieder:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Abramvici (Ruhr-Universität Bochum), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers (Karlsruher Institut für Technologie (KIT)), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Beate Bender (Ruhr-Universität Bochum), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lucienne Blessing, Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Paolo Ermanni (Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard (Ruhr-Universität Bochum), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kilian Gercke (Universität Rostock), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler (Universität Paderborn), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jens Göbel (Technische Universität Kaiserslautern), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Göhlich (Technische Universität Berlin), Univ.-Prof. Dr. sc. ETH Alexander Hasse (Technische Universität Chemnitz), Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hannes Hick (Technische Universität Graz), Univ. Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs (RWTH Aachen University), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kirchner (Technische Universität Darmstadt), Univ. Prof. Dr.-Ing. Ulf Kletzin (Technische Universität Ilmenau), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause (Technische Universität Hamburg), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer (Leibniz Universität Hannover), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Liebich (Technische Universität Berlin), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Lohregel (Technische Universität Clausthal), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Mantwill (Helmut-Schmidt-Universität), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthies (Karlsruher Institut für Technologie (KIT)), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirk Meboldt (Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich), Univ.-Prof. Dr. Athanassis Mihailidis (Aristotle University of Thessaloniki), Univ.-Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h.c. Jivka Ovtcharva (Karlsruher Institut für Technologie (KIT)), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold-Byhain (Technische Universität Dresden), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Poll (Leibniz Universität Hannover), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel (Universität Stuttgart), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Schindler (RWTH Aachen University), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Berthold Schlecht (Technische Universität Dresden), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubert Schwarze (Technische Universität Clausthal), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl (Technische Universität München), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark (Technische Universität Berlin), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rman Teutsch (Technische Universität Kaiserslautern), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dieter Thoben (Universität Bremen), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Tremmel (Universität Bayreuth), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thmas Vietor (Technische Universität Braunschweig), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Wallaschek (Leibniz Universität Hannover), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sandr Wartzack (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen), Univ.-Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Michael Weigand (Technische Universität Wien), Univ.-Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Klaus Zeman (Johannes Kepler Universität), Univ.-Prof. Dr. Markus Zimmermann (Technische Universität München)

### Mitglieder im Ruhestand:

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl (Technische Universität Darmstadt), Prof. Dr.-Ing. Fatih Babalik (Uludag Üniversitesi), Prof. Dr.-Ing. Bernd Bertsche (Universität Stuttgart), Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz (Universität Stuttgart), Prof. Dr. h. c. Dr. h. c. Dr. h. c. Herbert Birkhofer (Technische Universität Darmstadt), Prof. em. Dr. rer. nat. C. Werner Dankwort, Prof. Dr.-Ing. Ludger Deters (Universität Magdeburg), Prof. em. Dr.-Ing. Klaus Ehlenspiel, Prof. Dr.-Ing. Martin Eigner, Prof. Dr.-Ing. Jörg Feldhusen (RWTH Aachen), Prof. em. Dr.-Ing. Hans-Joachim Franke (Technische Universität Braunschweig), Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier (Universität Paderborn), em. Prof. Dr.-Ing. Peter Gold, Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg), Prof. Dr.-Ing. Bernd-Robert Höhn (Technische Universität München), Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Höhne (Technische Universität Ilmenau), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Franz Gustav Kollmann, Prof. Dr.-Ing. Frank-Lothar Krause, em. Prof. Dr.-Ing. Konrad Langenbeck, Prof. Dr.-Ing. Erhard Leidich (Technische Universität Chemnitz), Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann (Technische Universität München), Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Linke, Prof. Dr.-Ing. Harald Meerkamm (Universität Erlangen-Nürnberg), Prof. Dr.-Ing. Heinz Mertens (Technische Universität Berlin), Prof. em. Dr.-Ing. Heinz Peeken, Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart (Technische Universität München), Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg (Universität Bayreuth), Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Laurenz Rinder, Prof. Dr.-Ing. Bernd Sauer (Technische Universität Kaiserslautern), Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Schorcht (Technische Universität Ilmenau), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dieter

Spath (Universität Stuttgart), Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph Stelzer (Technische Universität Dresden), Prof. Dr.-Ing. Peter Tenberge (Ruhr-Universität Bochum), Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Sándor Vajna (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg), Prof. Dr.-Ing. Gerhard Wagner (Ruhr-Universität Bochum), Prof. Dr.-Ing. Christian Weber (Technische Universität Ilmenau), Prof. Dr.-Ing. Dieter Wüstenberg (Technische Universität Kaiserslautern), Prof. Dr.-Ing. Detmar Zimmer (Universität Paderborn)

### Industriekreis:

Alfred Katzenbach (Katzenbach Executive Consulting), Alfred Schreiber (C. & E. Fein GmbH), Andreas Weber (Vestas Nacelles Deutschland GmbH), Axel Gomeringer, Bernd Pätzold (ProSTEP AG), Burkhard Pinnekamp (RENK AG), Carsten Burchardt (Siemens Digital Industries Software GmbH), Christoph Lutz (Julius Blum GmbH), Daniel Kähny (LSI Telecom AG), Detlef Gierling (ZF Sachs AG), Dirk Adamczyk (ZF Friedrichshafen AG), Ebdard Bock (Freudenberg FST GmbH), Frank Koch (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI), Frank Thielmann (UNITY AG), Franz Völkel (Schaeffler), Georg Mecke (Airbus Operations GmbH), Gerd Fricke (PEKU Folien GmbH), Gunnar Ebner (Caggemini Deutschland GmbH), Gunnar Gödecke (VULKAN Kupplungs- und Getriebebau Gerhard Hackforth GmbH & Co. KG), Günter Hähn (Wirtgen GmbH), Hans Huber (Mayr GmbH & Co. KG), Hansjörg Maier (Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG), Hartmut Rauen (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA)), Henrik Weimer (Airbus SAS), Herbert Bickelmann (Autodesk GmbH), Johannes Schulz (Brose), Johann Paul Stemplinger (Audi AG), Jörg Böcking (Vibracoustic GmbH), Jörg Hartmann (Meyer Werft GmbH), Jörg Hermes (SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG), Jörg Schiebel (Tyco Integrated Fire & Security), Jörg Stahlmann (ConSenses GmbH), Jörn Reinecke (Faurecia Autositze GmbH), Jürgen Vogt (CADFEM GmbH), Karl Heinz Zachries (CONTACT Software GmbH), Karl Ludwig Kimmig (LuK GmbH & Co. KG), Karsten Anger (Hadi-Plast GmbH), Karsten Stoll (WAGO GmbH & Co. KG), Katharina Helten, Klaus Löckel (Dassault Systemes Deutschland GmbH), Kristin Sittig (Volkswagen AG), Kurt Bengel (Cenit AG), Marc Kessler (Körber Technologies GmbH), Marc Pein (ThyssenKrupp Marine Systems GmbH), Marcus Krastel (em engineering methods AG), Markus Klaiber (Schunk GmbH & Co. KG), Martin Husemann (Phi GmbH), Martin Kratzer (Mercedes-Benz AG), Martin Stark (ms inconv Beteiligungs- und Beratungsgesellschaft mbH), Matthias Gatzen (Baker Hughes, a GE Company), Michael Engelbreit (Wittenstein Alpha), Michael Grethler (EES GmbH), Michael Ketting (IBAF GmbH), Michael Kleinkes (Hella KGaA Hueck & Co.), Nico Gebhardt (thyssenkrupp Marine Systems GmbH), Niklas Halfmann (Diehl Aviation), Olaf Schadoffsky (HILTI Entwicklungsgesellschaft mbH), Ottmar Müller (VAT Vakuumventile AG), Peter Fietkau (Porsche AG), Peter Gutzmer (SCHAEFFLER Gruppe), Peter Post (Festo AG & Co. KG), Ralf Hambrrecht (Flender GmbH), Razvan Olosu (b1 Engineering Solutions GmbH & Co. KG), Reinhold Achatz (Thyssen Krupp AG), Richard Einmann (Bechtle GmbH), Robert Fischer (AVL), Robert Plank (Horiba Europe GmbH), Roland Gerhards (ZAL - Zentrum für angewandte Luftfahrtforschung GmbH), Rolf Döbereiner (AVL List GmbH), Rudolf Schubert (Continental AG), Sabine Muschik (Trumpf Werkzeugmaschinen), Stefan Heilmann (Paul Wurth S.A.), Stefan Möhringer (Simon Möhringer Anlagenbau GmbH), Stefan Schnackertz (Dassault Systemes Deutschland GmbH), Stefan Wallmeier (KAMAX Holding GmbH & Co. KG), Thomas Bayer (Wittenstein AG), Thomas Bertolini (Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG Antriebsysteme), Thomas Schneider (TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG), Tobias Düser (AVL Deutschland GmbH), Ulrich Kreher (Elektor Airsystems GmbH), Urban August (Siemens PLM Software), Werner Kröger (BMW AG)

Stand: Dezember 2024

Internet: [www.wigep.de](http://www.wigep.de)

Auflage: 800 Exemplare

ISSN 1613-5504

Redaktion: Kevin Herrmann, Max Leo Wawer

Herausgeber: Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP e.V.

c/o Institut für Produktentwicklung und Gerätebau

An der Universität 1

30823 Garbsen

