



Mitteilungen der WiGeP

Unsere neuen Arbeitsgruppen



KI in der Lehre

Künstliche Intelligenz als Werkzeug für Lehre und Studium



Generatives Design

Algorithmengestützte Entwurfs- und Optimierungsmethoden



LLM für die Produktentwicklung

Große Sprachmodelle im Entwicklungsprozess



Berufsbild 2040

Kompetenzen und Rollen der Ingenieur:innen von morgen



MBSE und KI

Model-Based Systems Engineering trifft Künstliche Intelligenz

WiGeP Frühjahrstagung 2026 in Paris

#aimeetsengineering



Vom 22. bis 24. April 2026 kamen Mitglieder der WiGeP in Paris zur Frühjahrstagung zusammen. Neben einem inhaltlich vielseitigen Programm und fachlichen Impulsen stand vor allem der persönliche Austausch mit dem Industriekreis im Mittelpunkt. Ein herzlicher Dank gilt Prof. Detlef Gerhard, der die Tagung maßgeblich koordiniert und damit eine rundum gelungene Veranstaltung ermöglicht hat. Gastgeber in Paris war Dassault Systèmes

(DS) – eines der weltweit führenden Unternehmen im Bereich Computer-Aided Engineering. Das Executive Briefing Center von DS bildete den Rahmen für den offiziellen Auftakt am Mittwoch: Nach einer herzlichen Begrüßung wurde die Initiative 3DEXPERIENCE EDU 3DUniv+rses vorgestellt, gefolgt von einer lebhaften Diskussion über den Einsatz Künstlicher Intelligenz in der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung sowie über mögliche

Kooperationsperspektiven. Den Abend beschloss ein geselliger Empfang mitten in Paris, zu dem auch der Industriekreis dazustieß. Bei kleinen Häppchen und dem ein oder anderen Glas Wein entstanden zahlreiche inspirierende Gespräche. Der zweite Tag begann erneut im Headquarter von DS. Keynote-Präsentationen gewährten spannende Einblicke in die KI-Strategie und -Integration des Unternehmens. Im Anschluss fanden zwei parallele Workshops zu den Themen Model-Based Systems Engineering (MBSE) und Künstliche Intelligenz in der Produktentwicklung statt, deren Ergebnisse im Plenum vorgestellt und diskutiert wurden. Eine abschließende Keynote zur Zukunftsvision von DS rundete das Tagesprogramm ab. Der Abend klang beim gemeinsamen Besuch im legendären Café de la Paix an der Opéra Garnier aus.



Gemeinsam mit Dassault erarbeiteten wir ein Positionspapier zu dem Thema „Ingenieurbildung als Fundament europäischer Souveränität“. Darin vertreten wir sieben gemeinsame Positionen:

1. Souveränität ist eine Bildungsfrage
2. Systemverständnis wird zur Schlüsselkompetenz
3. KI erhöht den Wert technischer Exzellenz
4. Daten werden zum Rohstoff des Engineerings
5. Modelle werden zur gemeinsamen Sprache der Entwicklung
6. Virtuelle Zwillinge verändern die industrielle Wertschöpfung
7. Europa braucht eine neue Allianz aus Hochschulen und Industrie

Angesichts der vielfältigen Herausforderungen und Chancen, die Künstliche Intelligenz für die Produktentwicklung bereithält, wurden fünf neue Arbeitsgruppen ins Leben gerufen:

- LLMs in der Produktentwicklung
- Berufsbild 2040
- MBSE
- Generative Design
- KI in der Lehre

Diese Arbeitsgruppen sollen den fachlichen Austausch innerhalb der WiGeP gezielt stärken und weiterentwickeln.

Insgesamt blicken wir auf eine außerordentlich inspirierende Tagung zurück und bedanken uns herzlich bei Dassault Systèmes für die Einladung, die großzügige Gastfreundschaft und die bereichernden Einblicke in aktuelle und zukünftige Entwicklungen.

DIE HERAUSGEBER



Planungsabweichungen in der Blechkonstruktion verstehen - Forschung trifft Lehre im Live-Lab

Die Kombination aus Lehre und Forschung als Umgebung zur Erforschung von Planungsabweichungen.



Bild 1: Die Oberhitzgrills im Live-Lab GSD – Generational Sheet Metal Development werden in Generationen entwickelt.

FORSCHUNG ZU PLANUNGSABWEICHUNGEN IN DER BLECHKONSTRUKTION

Im Rahmen eines DFG-geförderten Projektes untersucht die Technische Universität Hamburg zusammen mit dem KIT – Karlsruher Institut für Technologie Variations- und Planungsabweichungen bei der Entwicklung neuer Systeme. Ziel ist es, Fehler frühzeitig zu erkennen und die fertigungsgerechte Planung und Umsetzung der Konstruktionen auf Grundlage des Modells der SGE – Systemgenerationsentwicklung zu verbessern [1]. Als Forschungsumgebung und gleichzeitig Lehrveranstaltung dient das Live-Lab „Generational Sheet-Metal Development“ (GSD).

DAS LIVE-LAB GSD-GENERATIONAL SHEET METAL DEVELOPMENT

Im Live-Lab GSD - Generational Sheet-Metal Development der Technischen Universität Hamburg werden jedes Jahr von Studierendengruppen neue Generationen eines Oberhitzgrills entwickelt. Dabei treten, wie auch in realen Unternehmen, Abweichungen auf, welche, besonders spät im Prozess, zusätzliche Herausforderungen bedeuten. Das Live-Lab GSD bietet der Forschung den Zugang zu realen Entwicklungsprozessen unter steuerbaren

Rahmenbedingungen, um die Analyse von Abweichungen zu ermöglichen [2].

ERSTE ANSÄTZE ZUR UNTERSTÜTZUNG DER PLANUNG VON NEUEN SYSTEMEN DURCH KI

Auf Grundlage von natürlich sprachlichen Daten, wie Aufzeichnungen von Entwicklungsgesprächen und Meilensteinen, konnte der entwickelte KI-Assistent bereits Einordnungen der Entwicklungssituation treffen. Es ist auch möglich, erste Vorschläge zu hilfreichen Aktivitäten und Methoden für die jeweilige Entwicklungssituation zu unterbreiten, um die Entwickelnden so in ihrem Entwicklungsprozess unterstützen zu können.

PROJEKTARBEIT ZUR WEITERENTWICKLUNG VON BLECHKONSTRUKTIONEN

Im Rahmen einer Projektarbeit am KIT untersuchen Studierende die generationsübergreifende Entwicklung anhand realer CAD-, Besprechungs- und Planungs-Daten des vorherigen GSD-Jahrgangs. Zudem stehen sie in engem Austausch mit dem parallellaufenden DFG-Forschungsprojekt. In drei Phasen kommen die Studierenden so von der Analyse bestehender Konstruktionen und typischer Fehlerquellen zur eigenen Konzeption und Konstruktion von Verbesserungen.

Abschließend wird ein modifiziertes Teilsystem für den Grill gefertigt und wie in GSD auch in Betrieb genommen.

FAZIT: EINE SYMBIOSE AUS FORSCHUNG UND LEHRE

Das Live-Lab GSD zeigt, wie praxisnahe Forschung und Lehre ineinandergreifen. Praxisnahe Lehre, am Beispiel der Entwicklung einer Blechkonstruktion und gleichzeitig detaillierte Analyse von transparenten Entwicklungsdaten, die die Identifikation von Planungsabweichungen für die Forschung ermöglicht. So können neue Ansätze zur methodischen Unterstützung von Entwicklungsprozessen erarbeitet werden, um die Planung von Systemen zukünftig zu verbessern.

LITERATUR

[1] Albers, A. & Rapp, S. (2022). Model of SGE: System Generation Engineering as Basis for Structured Planning and Management of Development. In D. Krause & E. Heyden (Hrsg.), Design Methodology for Future Products: Data Driven, Agile and Flexible. Cham: Springer International Publishing.

[2] Kull, P., Schlegel, M., Förster, F., Albers, A. & Bursac, N. (2025). Data collection framework for identifying and conducting root cause analysis of the causes of engineering deviations in product development. In DS 140: Proceedings of the 36th Symposium Design for X. The Design Society.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers
Michael Schlegel, M. Sc.

Felix Pfaff, M. Sc.

IPEK - Institut für Produktentwicklung,
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nikola Bursac

Kull, Pascal, M.Sc.

ISEM - Institut für Smarte Entwicklung und
Maschinenelemente, Technische Universität
Hamburg



Bild 2: Faszination Blechkonstruktion – Fertigung und Inbetriebnahme des GSD-Oberhitzgrills

Neue DFG-Forschungsgruppe in Paderborn zu angriffssicheren technischen Gesamtsystemen

Interdisziplinäres Team im Heinz Nixdorf Institut erforscht Methodik für Model-based Defense-in-Depth

Im Sommer 2026 startet eine neue Forschungsgruppe an der Universität Paderborn, die neue Lösungen für die Sicherheit von cyber-physischen Systemen und zugehörigen cyber-physischen Produktionssystemen im Sinne der „Security“ erarbeitet. Mit der Digitalisierung wächst auch das Risiko in cyber-physischen (Produktions-) Systemen: Hackerinnen und Hacker können in solche Systeme eindringen und enormen materiellen Schaden anrichten. Die neu eingerichtete Forschungsgruppe für „Angriffssichere Entwicklung Cyber-physischer Systeme mittels Model-based Defense in Depth“ (FOR 5911, kurz „MODID“) will genau diesen Gefahren an der Schnittstelle von „Cyber-Welt“ und physischem Maschinenbau begegnen. Gefördert wird die Arbeit von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) mit rund vier Millionen Euro für eine Dauer von zunächst vier Jahren als eine von insgesamt 14 neuen Forschungsgruppen.

SICHERHEIT VON ANFANG AN

Cyber-physische Systeme können sich selbst anpassen und optimieren – das steigert Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit. In der Produktion können gezielte Angriffe die Fertigungsprozesse allerdings stören oder sogar vollständig lahmlegen. Die Folgen: Ausfälle, Kosten, Reputationsschäden. Hier setzt die DFG-Forschungsgruppe MODID an. Ziel ist es, Sicherheit bereits beim Design der Systeme zu berücksichtigen. Dafür entwickeln wir Abwehrstrategien, bei denen wir Angriffe auf Teilsysteme von vornherein einkalkulieren. Das Team arbeitet interdisziplinär: „Informatik, Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften forschen gemeinsam – ganz im Geiste von Heinz Nixdorf – in unseren Innovations- und Produktionslaboren“, beschreibt Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler als stellvertretende Leiterin der Forschungsgruppe.

So wird nicht nur der technische Aspekt, sondern auch die wirtschaftliche und organisatorische Seite der Sicherheit berücksichtigt. Forschungsgruppen fördern innovative Forschungsansätze und stärken die wissenschaftliche Spitzenforschung in Deutschland. Gängige Sicherheitsansätze

betrachten Systeme als geschützt, wenn bekannte Angriffsvektoren abgewehrt werden – neue Regularien wie die neue Maschinenrichtlinie fordern zunehmend zumindest die systematische Analyse und Bewertung möglicher Angriffe. In der Praxis umgehen Angreifer jedoch Annahmen, kompromittieren Subsysteme und übernehmen durch Rechteausweitungen ganze Systeme. Der Bezug ist dynamisch: Heutige Annahmen besitzen nur eine temporäre Gültigkeit und werden sich in der Zukunft verändern. Die Forschungsgruppe entwickelt daher interdisziplinäre Methodiken nach dem Paradigma „assume breach“, die Angriffe auf Teilsysteme bereits im Entwurf berücksichtigen und deren Auswirkungen auf die Gesamtsicherheit sichtbar machen.

ASSUME BREACH ALS PARADIGMA

Der Ansatz, den die Wissenschaftler*innen verfolgen, heißt „Defense in Depth“ – sinngemäß übersetzt: „mehrschichtiger Schutz“. Statt nur eine Cybersicherheitsbarriere einzubauen, entstehen dabei gleich mehrere Schichten. Grundannahme ist, dass es erfolgreiche Angriffe immer geben wird. Aber: Selbst wenn eine Schicht durchbrochen wird, bleibt die nächste aktiv. Das erhöht die Widerstandsfähigkeit der Systeme deutlich und ermöglicht vor allem auch eine Vorhersage der Widerstandsfähigkeit des Systems unter verschiedenen Angriffsbedingungen. Die Ergebnisse sollen nicht nur die Forschung voranbringen, sondern auch direkt in die Praxis der Industrie übernommen werden.

Unternehmen sollen damit besser vor Angriffen geschützt sein und die Zukunft im Umgang mit technischen Produkten und in der Produktion insgesamt sicherer werden.

MBSE-TEILPROJEKT

Das Team der Produktentstehung von Prof. Gräßler entwickelt Methoden, Modelle und Werkzeuge für das Model-Based Systems Engineering, um Bedrohungsszenarien und Verteidigungslinien interdisziplinär in Systemarchitekturen zu integrieren. Produkt und Produktionssystem werden dabei als gemeinsames System-of-Interest modelliert. Das Teilprojekt erarbeitet Hilfsmittel, um

Elemente, Abhängigkeiten und potenzielle Angriffsvektoren dieses System-of-Interest zu analysieren. Durch Erweiterungen des SysML-Metamodells sollen Bedrohungsszenarien, Abuse und Misuse Cases sowie Verteidigungslinien formal abgebildet werden. Mittels Wirkketten-, Einfluss- und Konsistenzanalysen werden sie bewertet. Ein Simulationsmodell prüft die Sensitivität der Verteidigungslinien und soll zeigen, inwieweit es die Entscheidungsunterstützung in der Produktentwicklung verbessert.

Insgesamt wird so eine Methodik geschaffen, die den Entwurf von CPS erlaubt, deren Sicherheitsgarantien auch unter erfolgreichen Angriffen belastbar sind und bereits vor Inbetriebnahme bekannt werden. Exemplarisch erprobt und evaluiert werden die Lösungen an einem additiv gefertigten Radträger und dessen Produktionssystem. Weitere Informationen gibt es unter <https://www.uni-paderborn.de/projekt/2949>.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler
Dr.-Ing. Jens Pottebaum
Heinz Nixdorf Institut
Lehrstuhl für Produktentstehung
Universität Paderborn

Replikationen empirischer Studien zur Evaluation von Methoden für die Produktentwicklung

Ein Modellbildungsansatz zur Verbesserung der Replizierbarkeit von Studien in der Konstruktionsforschung

In der Konstruktionsforschung werden kontinuierlich Methoden entwickelt, um Produktentwickler*innen bei den Herausforderungen moderner Entwicklungsprozesse bestmöglich zu unterstützen. Um Anwendbarkeit und Nutzen sicherzustellen, werden die Methoden vor dem Transfer in die Praxis evaluiert. Dadurch werden Schwachstellen frühzeitig identifiziert und eliminiert sowie die Akzeptanz der Methoden in der Praxis gefördert. Dabei ist es essenziell, dass die Erkenntnisse aus der Evaluation belastbar sind.

Die Belastbarkeit von Erkenntnissen aus empirischen Studien wird anhand der Replikation der Studien, also dem wiederholten Durchführen der gleichen Studie, überprüft. Die Nicht-Replizierbarkeit zahlreicher Studien in der Psychologie führte zu Beginn der 2010er Jahre zu einer Replikationskrise, die von fehlendem Vertrauen in die Erkenntnisse geprägt war. Motiviert durch diese Replikationskrise in der Psychologie, wurde eine Pilotstudie in der Konstruktionsforschung durchgeführt. In dieser wurde festgestellt, dass die veröffentlichten Beschreibungen empirischer Studien bisher nicht ausreichen, um eine Studie zu replizieren und die gleichen Erkenntnisse zu erzielen [1].

Es ist folglich eine unzureichend gelöste Herausforderung in der Konstruktionsforschung, empirische Studien so zu beschreiben, dass andere Forschende diese replizieren können.

EIN MODELLBILDUNGSANSATZ FÜR DIE BESCHREIBUNG EMPIRISCHER STUDIEN IN DER KONSTRUKTIONSFORSCHUNG

Zur Lösung dieser Herausforderung wird im DFG-geförderten Projekt „MARS-KF“ ein Modellbildungsansatz zur Replikation von Studien der Konstruktionsforschung entwickelt.

Hierzu werden zwei exemplarische Probandenstudien in jeweils mehreren Iterationen mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden und Informationsgehalten beschrieben und anschließend repliziert. Zu Beginn wird dafür eine Beschreibung mit möglichst hohem Detaillierungsgrad und Informationsgehalt erstellt und anhand dieser die erste Replikation der Studien vorgenommen. Anschließend wird der Detaillierungsgrad schrittweise reduziert und mit

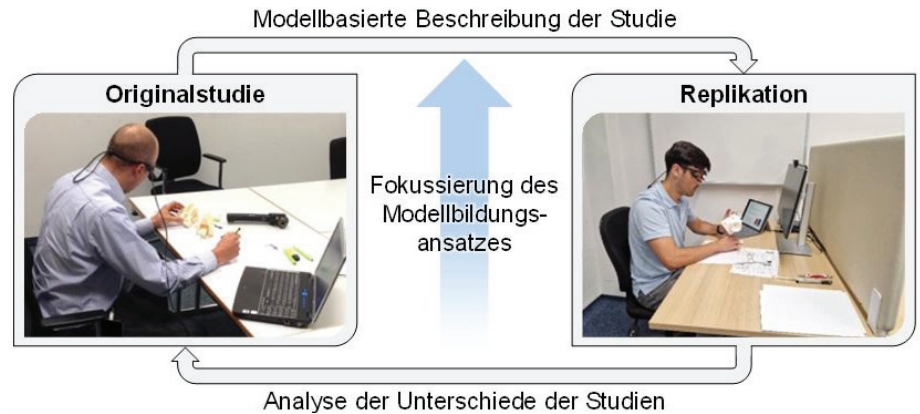


Bild 1: Die Entwicklung des Modellbildungsansatzes zur Beschreibung von Studien in der Konstruktionsforschung anhand der iterativen Replikation von exemplarischen Probandenstudien.

der reduzierten Beschreibung eine erneute Replikation durchgeführt.

Dadurch werden Erkenntnisse über die erforderlichen Aspekte einer zur Replikation notwendigen Studienbeschreibung erzielt, sodass eine Fokussierung des Modellbildungsansatzes erfolgen kann (siehe Bild 1). Dieser Modellbildungsansatz soll Forschende dazu befähigen, empirische Studien in der Konstruktionsforschung exakt anhand der Aspekte zu beschreiben, die für die Replikation einer Studie durch andere Forschende erforderlich sind.

BEDEUTUNG FÜR DIE KONSTRUKTIONSFORSCHUNG

Mittels des Modellbildungsansatzes können empirische Studien replizierbar beschrieben und veröffentlicht werden. Die damit ermöglichten Replikationen tragen langfristig zur Belastbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse in der Konstruktionsforschung bei. Dies kommt unter anderem der Evaluierung von Methoden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit und ihres Nutzens zugute. Dabei können Studiendesigns über verschiedene Methoden hinweg wiederverwendet werden, um die Vergleichbarkeit der Erkenntnisse zu steigern und gleichzeitig den Aufwand der Studienvorbereitung zu verringern. Langfristig trägt dies zur Verbesserung der Qualität in der Konstruktionsforschung sowie zum erfolgreichen Transfer der Methoden in die Praxis und deren Akzeptanz im Alltag von Produktentwickler*innen bei.

AUSBLICK

Während des Projekts werden wir kontinuierlich Workshops auf Konferenzen der Design Society durchführen und insbesondere den Modellbildungsansatz diskutieren. Wir freuen uns darauf, mit der Forschungscommunity darüber in den Austausch zu kommen, als Nächstes auf der ICED27 in Hamburg!

LITERATUR

[1] J. Rode, I. Jonuschies, S. Matthiesen, and K. Gericke, „Replication studies in engineering design – a feasibility study,“ Proc. Des. Soc., vol. 4, pp. 115–124, 2024, doi: 10.1017/pds.2024.14.

AUTOREN

M. Sc. Jonas Rode (1)

M. Sc. Lukas Pähler (2)

PROJEKTBETEILIGTE

Prof. Dr.-Ing. Kilian Gericke (1)

Dr.-Ing. Ingo Jonuschies (1)

Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen (2)

Dr.-Ing. Patric Grauberger (2)

(1) LPE – Lehrstuhl für Produktentwicklung
Universität Rostock

(2) IPEK – Institut für Produktentwicklung
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)



Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – 567782600.

Entwicklung einer langlebigen graphitbasierten Trockenschmierung für Wälzlager

Untersuchung von Graphit-Phenolharz als alternativer Trockenschmierstoff zur Anwendung unter Extrembedingungen in der Schwerindustrie in Wälzlagern

Wenn sich Bauteile bewegen, entsteht immer Reibung. Die Folge sind auftretenden Reibungsverluste durch Wärmeentwicklung sowie Verschleiß. Ohne ausreichende Schmierung verlieren technische Systeme schnell an Effizienz und Lebensdauer. Schmierung ist dazu ein zentraler Schlüssel für zuverlässige und nachhaltige Systeme.

Zur Reduzierung von Reibung und zur Verminderung von Verschleiß werden in Wälzlagern in industriellen Anwendungen hauptsächlich Schmierstoffe wie Öle oder Fette eingesetzt. Allerdings stoßen diese klassischen Flüssigschmierstoffe unter extremen Bedingungen wie hohen Temperaturen, hohem Druck oder im Vakuum schnell an ihre Grenzen. Trockenschmierstoffe gewinnen dadurch zunehmend an Bedeutung. Sie ermöglichen eine gezielte Kontrolle der Reibung und gewährleisten einen zuverlässigen Betrieb in Wälzlagern, auch unter anspruchsvollen Einsatzbedingungen.

Im Rahmen des DFG SPP2074 wurde am KIT IPEK1 in Zusammenarbeit mit dem KIT IAM-ZM2 und dem Fraunhofer IWM3 untersucht, wie sich die Schmierwirkung von Graphit als Trockenschmierstoff verlängern lässt und welche Potenziale sich dadurch als alternatives Lebensdauer-Schmierstoffkonzept ergeben.

GRAPHIT-PHENOLHARZ ALS TROCKENSCHMIERSTOFF

Graphit gilt schon lange als exzellenter Festschmierstoff [1, 2]. Die lamellare Kristallstruktur des Materials erzeugt eine sehr geringe Scherfestigkeit zwischen den einzelnen Graphitschichten. Die Schmierwirkung ist zum einen jedoch stark von den Umgebungsbedingungen abhängig [3]. Zum anderen weist Graphit als Reinstoff eine geringe mechanische Festigkeit sowie eine unzureichende Haftung auf metallischen Oberflächen auf. Diese Eigenschaften erschweren die Ausbildung eines stabilen Schmierfilms, sodass die Schmierwirkung häufig nur über stark begrenzte Zeiträume aufrechterhalten werden kann. Eine vielversprechende Lösung ist die Einbettung von Graphit in eine stabile Phenolharz-

matrix. In solchen Verbundsystemen übernimmt das Phenolharz die mechanische Lastübertragung und verbessert gleichzeitig die Haftung auf dem Substrat. So lassen sich die guten Schmiereigenschaften von Graphit mit einer deutlich höheren strukturellen Stabilität kombinieren und damit neue Einsatzmöglichkeiten für langlebige



Bild 1: Reibprüfstand rotatorisch mit der Möglichkeit zur simultanen Untersuchung des Reibungs- und Verschleißverhaltens von 6 Prüflingen (hier Wälzlager).

Trockenschmierstoffsysteme erschließen. VALIDIERUNGSUMGEBUNG FÜR TROCKENGESCHMIERTE WÄLZLAGER

Die Untersuchung des Graphit-Phenolharz-Systems erfolgt am IPEK mithilfe eines adaptierten rotatorischen Reibprüfstands (Bild 1). Dieser ermöglicht die Untersuchung der Schmierbedingungen und des Reibungsverhaltens von Axiallagern unter anwendungsnahen Bedingungen. Der Prüfstand kann gleichzeitig bis zu sechs Prüfkörper tribologisch charakterisieren. Die Proben können dabei verschiedene Dimensionen aufweisen. Der Prüfstand erlaubt Rotationsgeschwindigkeiten von bis zu 4.000 min⁻¹ sowie axiale Belastungen von bis zu 8 kN. Zusätzlich können die Temperaturen der Prüfkörper erfasst und unterschiedliche Bedingungen für die Zufuhr von Schmiermitteln eingestellt werden. Für die Messung wird der untere Lagerring von einem Elektromotor angetrieben, während die axiale Belastung über einen pneu-

matischen Zylinder reguliert werden kann. Das über die Lager übertragene Drehmoment wird mithilfe eines integrierten Drehmomentsensors gemessen und ermöglicht die Bestimmung der Reibungszahlen.

Durch eine Erweiterung des Prüfstands, bei der der obere Lagerring durch eine transparente Saphirglasscheibe ersetzt wird, kann in weiteren Untersuchungen der tribologische Kontakt optisch betrachtet werden. Mithilfe einer Highspeed-Kamera lassen sich so die Schmierfilmbildung sowie die dynamischen Prozesse im Kontakt während des Betriebs in-situ beobachten [4].

DAUERHAFTE SCHMIERWIRKUNG DURCH GRAPHIT-PHENOLHARZ

Es zeigte sich, dass eingebettetes Graphit in einer Phenolharzmatrix die Schmierwirkung deutlich länger aufrechterhalten kann und dadurch für industrielle Anwendungen in Lagern einen vielversprechenden Lösungsansatz darstellt. Die untersuchten Wälzlager mit Graphit-Phenolharz Schmierstoff zeigen reduzierte Reibungszahlen und erreichen Werte, die in einer ähnlichen Größenordnung wie bei konventionellen Schmierstoffen liegen. Insbesondere bei hohen Pressungen sind die Unterschiede im Reibverhalten im Vergleich zu konventionellen Schmierstoffen kaum messbar. Darüber hinaus führt die Einbettung des Graphits in die Phenolharzmatrix zu einer erheblichen Steigerung der Langzeitstabilität der Schmierwirkung. Während die Schmierwirkung von reinem Graphit bereits nach weniger als einer Minute deutlich abnimmt, zeigt das Verbundmaterial kontinuierlich niedrige Reibungszahlen über mehrere Stunden hinweg.

Ein weiterer entscheidender Vorteil ist die deutlich geringere Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen. Durch die Einbindung des Graphits in die Phenolharzmatrix bleibt die Schmierwirkung weitgehend unabhängig von der Luftfeuchtigkeit erhalten. Dadurch wird der Einsatz auch unter trockenen Bedingungen möglich, was neue Anwendungsfelder, beispielsweise in der Vakuumtechnik, eröffnet. Weiterführende Informationen sind z. B. hier zu finden: [5]

LITERATUR

- [1] A. Joerger, T.-H. Lin, M. Spadinger, K. Bause, S. Ott und A. Albers, Experimentelle Analyse des Reibungsverhaltens graphitgeschmierter Axialkugellager. 62. Tribologie-Fachtagung der Gesellschaft für Tribologie e.V., 2021.
- [2] C. E. Morstein und M. Dienwiebel, Graphite lubrication mechanisms under high mechanical load, Wear, Jg. 477, S. 203794, 2021. doi: 10.1016/j.wear.2021.203794. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164821001836>
- [3] C. E. Morstein, A. Klemenz, M. Dienwiebel und M. Moseler, Humidity-dependent lubrication of highly loaded contacts by graphite and a structural transition to turbostratic carbon, Nature communications, Early Access. doi: 10.1038/s41467-022-33481-9.

- [4] A. Dewald, A. Joerger, F. Lagier, A. Bischofberger, K. Bause und A. Albers, Optische in-situ Analyse der Schmiermittelverteilung graphitgeschmierter Wälzlager, 2023, doi: 10.5445/IR/1000169327.
- [5] O. Zouina et al., Graphite lubrication for rolling bearings: a multiscale analysis, Tribology Transactions, Jg. 68, Nr. 5, S. 1014–1035, 2025, doi: 10.1080/10402004.2025.2537758.

AUTOREN

Max Schmitt, M. Sc.1
Arne Bischofberger, M. Sc.1
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Albert Albers 1
1 IPEK – Institut für Produktentwicklung,
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft
German Research Foundation

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – SPP2074 – AL 533/37-2



Bild 3: WiGeP Logo.

Ermüdungsprüfung von CFK-Profilen

MEHRACHSIGE BELASTUNGSZUSTÄNDE AM HEXAPOD-PRÜFSTAND EXPERIMENTELL ABBILDEN

Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) sind ein zentraler Werkstoff moderner Leichtbaustrukturen. Sie kommen zum Einsatz, wenn Bauteile hohe Steifigkeit und Festigkeit bei geringem Gewicht aufweisen müssen. In realen Anwendungen wirken auf solche Strukturen jedoch selten Einzelbelastungen. Häufig treten Biegung, Torsion, Zug, Druck oder Schub gleichzeitig auf und verändern sich während des Betriebs. Besonders kritisch sind dabei zyklische Belastungen, da sich Schädigungen in CFK über viele Lastwechsel schrittweise

entwickeln können. Dadurch kann sich das Bauteilverhalten verändern, bevor äußerlich sichtbare Schäden auftreten.

Für die experimentelle Bewertung des Ermüdungsverhaltens ist dies eine Herausforderung. Viele etablierte Prüfverfahren betrachten einachsige Lastfälle oder einfache Probekörper. Deren Ergebnisse liefern wichtige Materialkennwerte, sind aber nur eingeschränkt auf reale Strukturbauteile übertragbar. Für CFK-Bauteile unter mehrachsigen Belastungen werden daher realitätsnähere Prüfmethode benötigt.

MOTIVATION

Die zuverlässige Auslegung von CFK-Bauteilen ist entscheidend für sichere und gewichtsoptimierte Leichtbaukonstruktionen. Dabei ist nicht nur die maximale Tragfähigkeit relevant, sondern insbesondere das Verhalten unter zyklischer Belastung. Bei Faserverbundstrukturen können sich Matrixrisse, Delaminationen oder lokale Entkopplungen zwischen Faser und Matrix über viele Lastwechsel entwickeln, ohne unmittelbar sichtbar zu sein. Überlagerte Belastungen können zudem interlaminae Normal- und Schubspannungen zwischen den Laminatschichten erhöhen und damit Delaminationen begünstigen. Eine besondere Herausforderung ergibt sich aus dem richtungsabhängigen Aufbau von CFK. Die mechanischen Eigenschaften hängen stark von Faserorientierung, Laminataufbau und Belastungsrichtung ab. Werden mehrere Lastanteile überlagert, können sich Schadensinitiierung und Schadensfortschritt deutlich von einachsigen Prüfbedingungen unterscheiden.

Für die Produktentwicklung stellt sich daher die Frage, wie CFK-Strukturen realitätsnäher geprüft werden können. Klassische Couponversuche bilden eine wichtige Grundlage, reichen für strukturelevante

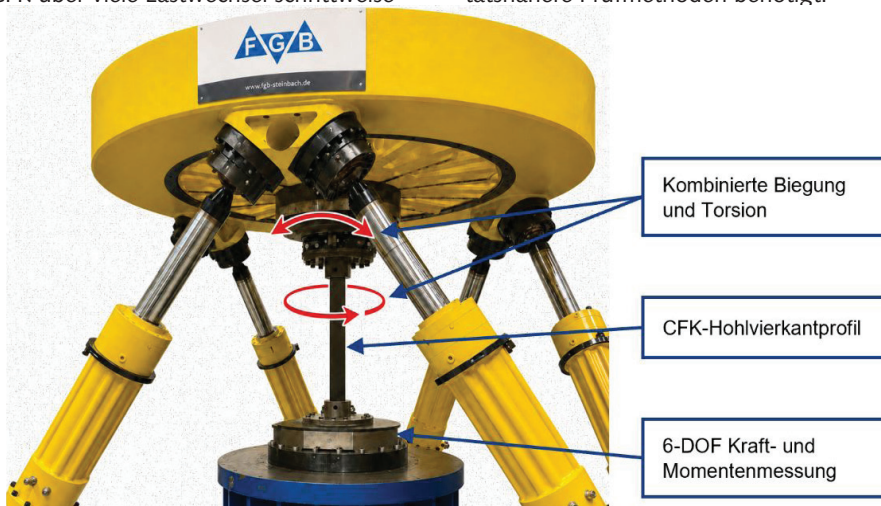


Bild 1: Hexapod-Prüfstand mit Versuchsaufbau zur mehrachsigen Prüfung von CFK-Hohlprofilen

Bauteile jedoch häufig nicht aus. Um die Übertragbarkeit auf reale Profile und Halbzüge zu verbessern, müssen kombinierte Belastungen gezielt erzeugt, gemessen und ausgewertet werden.

REALITÄTSNAHE PRÜFUNG AM HEXAPOD

Am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT) der Technischen Universität Hamburg (TUHH) wird hierfür ein servo-hydraulischer Hexapod-Prüfstand eingesetzt. Dieser verfügt über sechs Freiheitsgrade und kann translatorische sowie rotatorische Bewegungen in alle Raumrichtungen kontrolliert überlagern. Dadurch lassen sich mehrachsige Belastungszustände experimentell abbilden. Im Fokus stehen CFK-Profile mit quadratischem Querschnitt. Sie werden an beiden Enden eingespannt und definierten Belastungen ausgesetzt. Der in Bild 1 dargestellte Aufbau zeigt die Einspannung eines CFK-Profils im Hexapod-Prüfstand. Über die Bewegungsachsen lassen sich Rotationen und Kräfte gezielt kombinieren. Ein Kraftsensor erfasst die wirkenden Kräfte und Momente, während die Prüfstandssensorik Bewegungen und Rotationen aufnimmt. So lassen sich Belastungssituationen untersuchen, die realen Betriebsbedingungen näherkommen als klassische einachsige Prüfungen.

AUSBLICK

Prüfungen am Hexapod bieten großes Potenzial, die Lücke zwischen einfachen Materialversuchen und real belasteten Strukturbauteilen zu verkleinern. Durch die kontrollierte Überlagerung mehrerer Lastkomponenten können CFK-Profile unter praxisnäheren Bedingungen untersucht werden. Die gewonnenen Daten können dazu beitragen, Lebensdauermodelle zu verbessern und Schädigungsindikatoren zu bewerten.

Für den Leichtbau ist dies besonders relevant: Je besser das Ermüdungsverhalten realer CFK-Strukturen verstanden wird, desto gezielter können Sicherheitsreserven definiert werden. Dadurch lassen sich Bauteile sicher auslegen, ohne infolge unnötiger Überdimensionierung zusätzliche Masse aufzubauen.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause
Torben Deutschmann, M.Sc.
Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT)
Technische Universität Hamburg (TUHH)
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
Marc Gadinger, M.Sc.
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



Autonomer Linienbus für Münchens ÖPNV

PROJEKT MINGA: UNIVERSITÄT STUTTGART FORSCHT IN DEN BEREICHEN DATENKOMMUNIKATION UND BARRIEREFREIHEIT

Das Forschungsprojekt MINGA („Münchens automatisierter Nahverkehr mit Ridepooling, Solobus und Bus-Platoons“) verfolgt das Ziel, den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) durch automatisierte und vernetzte Mobilitätslösungen zukunftsfähig weiterzuentwickeln. Unter der Konsortialführung der Landeshauptstadt München arbeiten zahlreiche Partner aus Forschung, Industrie und Verkehrsbetrieben gemeinsam an innovativen Konzepten für autonome Mobilität im urbanen Raum. Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Verkehr (BMV) bis Mitte 2027 im Rahmen der Förderrichtlinie „Autonomes und vernetztes Fahren in öffentlichen Verkehr“ mit rund 13 Millionen Euro gefördert. Im Mittelpunkt des Projekts stehen die Automatisierung von

On-Demand-Fahrzeugen sowie der Einsatz autonomer Linienbusse im Münchner Stadtverkehr, wie er in Bild 1 zu sehen ist. Ziel ist es, fahrerlose Verkehrssysteme intelligent in bestehende Mobilitätsangebote zu integrieren und dadurch einen effizienteren, nachhaltigeren und flexibleren ÖPNV zu ermöglichen. Neben technologischen Fragestellungen werden auch Aspekte



Bild 1: Automatisierter Stadtbus von MAN im Projekt MINGA [1].

wie Verkehrsplanung, Umweltwirkungen, rechtliche Rahmenbedingungen sowie die gesellschaftliche Akzeptanz automatisierter Mobilität untersucht.

DATENKOMMUNIKATION UND SYSTEMARCHITEKTUR

Ein zentrales Themenfeld innerhalb des Projekts ist die Datenkommunikation und die zugrunde liegende Systemarchitektur des Ökosystems „autonomer Bus im ÖPNV“. Hierbei wird untersucht, welche Stakeholder entlang des gesamten Lebenszyklus automatisierter ÖPNV-Systeme für den Betrieb relevant sind, in welcher Wechselbeziehung diese zueinander stehen und wie die dabei entstehenden Informationsflüsse transparent modelliert werden können. Ziel ist es, ein gemeinsames Verständnis über das digitale Ökosystem rund um autonome

Fahrzeuge zu schaffen. Im Fokus stehen dabei insbesondere die komplexen Kommunikations- und Datenstrukturen zwischen Verkehrsunternehmen, Fahrzeughersteller, Infrastrukturbetreiber, Leitstelle sowie weiteren beteiligten Akteuren. Das IKTD leistet damit eine wichtige Grundlage für die gemeinsame Anforderungsdefinition sowie den Aufbau zukünftiger autonomer Mobilitätssysteme. Denn nur wenn alle Beteiligten innerhalb des komplexen Netzwerks des ÖPNV effizient zusammenwirken und Informationen konsistent austauschen können, lassen sich autonome Verkehrssysteme langfristig sicher, zuverlässig und wirtschaftlich betreiben.

BARRIEREFREIHEIT UND INKLUSION

Ein weiteres wesentliches Arbeitspaket innerhalb des Projekts beschäftigt sich mit der Barrierefreiheit und Inklusion autonomer Linienbusse. Ziel ist es, sicherzustellen, dass zukünftige automatisierte Mobilitätsangebote von allen Menschen gleichermaßen genutzt werden können, unabhängig von individuellen körperlichen oder kognitiven Einschränkungen.

Im Fokus stehen dabei insbesondere die Anforderungen mobilitätseingeschränkter Fahrgäste, älterer Menschen sowie Personen mit sensorischen Einschränkungen. Untersucht werden unter anderem barrierefreie Einstiegskonzepte, verständliche Mensch-Maschine-Schnittstellen, multimodale Informations- und Kommunikationssysteme sowie einfache und sichere Interaktionsmöglichkeiten zwischen Fahrgästen und automatisierten Fahrzeugen. Darüber hinaus werden Nutzerbedarfe systematisch analysiert und in die Entwicklung zukünftiger Fahrzeug- und Betriebskonzepte integriert. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Frage, wie Vertrauen, Sicherheitsempfinden und Akzeptanz gegenüber autonomen Bussystemen geschaffen werden können. Hierzu werden sowohl technische Lösungen als auch nutzerzentrierte Evaluationsmethoden betrachtet.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen leisten einen wichtigen Beitrag dazu, automatisierte Mobilität nicht nur technologisch innovativ, sondern auch sozial inklusiv und alltagstauglich zu gestalten. Barrierefreiheit wird dabei nicht als Zusatzfunktion verstanden, sondern als grundlegende Voraussetzung für eine breite gesellschaftliche Akzeptanz und Nutzung autonomer Verkehrssysteme.

AUSBLICK

Die aktuellen Testfahrten des autonomen elektrischen Linienbusses zeigen bereits heute das Potenzial automatisierter Mobilitätslösungen im urbanen Raum. In den kommenden Projektphasen sollen die Systeme unter realen Einsatzbedingungen weiter erprobt und insbesondere hinsichtlich Barrierefreiheit, Sicherheit und Nutzerakzeptanz optimiert werden. Langfristig ist vorgesehen, den autonomen Linienbus für den regulären Fahrgastbetrieb im öffentlichen Straßenverkehr einzusetzen und damit einen Beitrag zu einem nachhaltigen und inklusiven ÖPNV zu leisten.

LITERATUR

[1] MAN Truck & Bus: MAN automatisiert eBus für die Münchner City (23.04.26)
<https://go.man/Rkhj60Jg>

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Verkehr**

**aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages**

AUTOREN

Christopher Langner, M.Sc.

Julian Faig, M.Sc.

Dr.-Ing. Daniel Roth

Prof. Dr.-Ing. Matthias Kreimeyer

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD)

Universität Stuttgart

KI als Unterstützungssystem in der Blechkonstruktion

WIE INTELLIGENTE TOOLS ERFAHRUNGS- UND KONSTRUKTIONSWISSEN GEZIelt IN DEN DESIGNPROZESS BRINGEN

Ressourcen- und Energieeffizienz gehören zu den zentralen Herausforderungen moderner Produktentwicklung. Blechkonstruktionen bieten hier entscheidende Vorteile: Sie sind kosteneffizient, ressourcenschonend und vielseitig einsetzbar. Doch um dieses Potenzial auszuschöpfen, braucht es tiefes Erfahrungswissen über Fertigungsrestriktionen, Biegeprozesse und Nachhaltigkeitsanforderungen. Dieses Erfahrungswissen ist häufig nur implizit vorhanden und lässt sich nur schwer systematisch vermitteln.

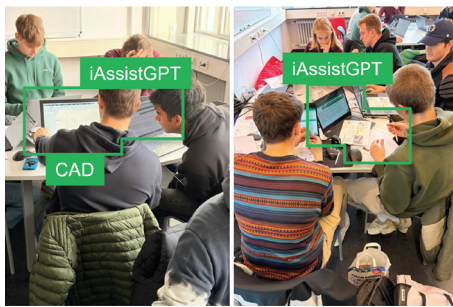
Die Lücke zwischen implizitem Erfahrungswissen und der täglichen Konstruktionspraxis zu schließen, ist Ziel der Forschung am Institut für Produktentwicklung (IPEK) am KIT. Ergebnis sind zwei KI-gestützte Tools für die Blechkonstruktion, die genau hier ansetzen: iAssist und SheetGen machen Wissen für Konstrukteurinnen und Konstrukteure direkt nutzbar und unterstützen entlang des gesamten Designprozesses, von der ersten Designbewertung bis zur automatisierten Generierung fertigungsgerechter Lösungen.

IASIST: KI-GESTÜTZTE ANALYSE UND BERATUNG

iAssist ist ein KI-basiertes Assistenzsystem zur automatischen Analyse von Blechkonstruktionen, welches in Kooperation mit der TRUMPF SE + Co. KG entwickelt wurde. Als Eingabe genügt ein CAD-Modell der Blechkonstruktion. Dieses wird automatisch anhand von 70 Metriken analysiert, darunter Materialdicke, Laserschnittabfall, Schweißnahtlänge und Teileanzahl. Als Ergebnis liefert iAssist identifizierte Optimierungspotenziale sowie passende Konstruktionshinweise und Schulungsinhalte aus einer integrierten E-Learning-Plattform. Dadurch wird die gezielte Weiterentwicklung der Blechkonstruktionen ermöglicht. In empirischen Studien mit insgesamt 510 Blechkonstruktionen stieg der Anteil nachhaltiger Konstruktionsalternativen von 5 % ohne Unterstützung auf 51 % mit iAssist. Für Unternehmen bedeutet das: Weniger Iterationsschleifen, bessere Konstruktionen und gezielter Wissensaufbau direkt im Arbeitsprozess.

iAssistGPT erweitert iAssist um eine dialog-

basierte Komponente und ergänzt das Tool damit um gezielte Beratung. Der domänenspezifische Chatbot folgt einem sokratischen Ansatz: Statt fertige Lösungen zu liefern, stellt er gezielte Rückfragen, um eigenständiges Denken und tieferes Verständnis zu fördern. Konstrukteurinnen und Konstrukteure können so konkrete Designentscheidungen im Dialog hinterfragen und absichern, ohne auf externe Expertise angewiesen zu sein.

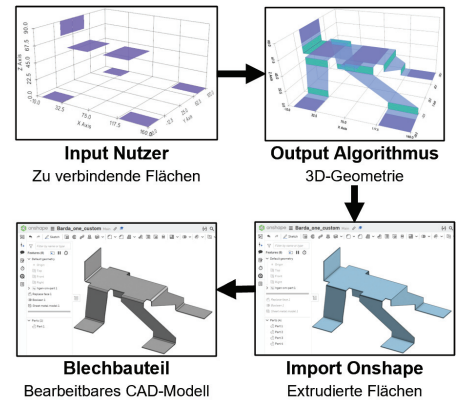


© Karlsruher Institut für Technologie (KIT) 2026. All Rights Reserved.

SHEETGEN: GENERATIVES DESIGN FÜR DIE BLECHKONSTRUKTION

iAssist unterstützt Konstrukteurinnen und Konstrukteure dabei, bessere Entwürfe zu entwickeln. SheetGen ergänzt diese Unterstützung um eine weitere Dimension: Das Tool generiert automatisiert fertigungsgerechte Blechkonstruktionen und unterstützt damit die frühe Entwurfsphase. Bestehende generative Designansätze stießen hier bisher an ihre Grenzen: Fertigungsrichtlinien werden meist erst nachgelagert geprüft statt von Beginn an in die Generierung eingebettet, was häufig zu nicht fertigbaren Ergebnissen führt. SheetGen adressiert dieses Problem durch einen grundlegend anderen Ansatz.

Der regelbasierte Algorithmus integriert Konstruktionswissen systematisch in den Generierungsprozess. Die Fertigungsregeln greifen damit direkt bei der Erzeugung von Lösungen, nicht erst bei deren Bewertung. Die generierten Bauteile werden in eine kommerzielle CAD-Umgebung (Onshape) exportiert und anschließend über eine industrielle Biegesimulation (TRUMPF TruTops Boost) validiert. In Studien erzielt SheetGen eine Fertigbarkeit der generierten Teile von bis zu 96 % im ersten Entwurf, verglichen mit 71 % bei Konstrukteuren



© Karlsruher Institut für Technologie (KIT) 2026. All Rights Reserved.

ohne spezifische Blechexpertise. SheetGen ermöglicht damit einen schnelleren Einstieg in die Detailkonstruktion und reduziert die Anzahl der Iterationen bis zum ersten fertigen Entwurf.

FAZIT

iAssist und SheetGen zeigen, wie KI-gestützte Systeme Konstruktionswissen dort verfügbar machen, wo es gebraucht wird: direkt im Designprozess, ohne Umwege über externe Expertise oder aufwändige Einarbeitung. Beide Tools sind darauf ausgelegt, Konstrukteurinnen und Konstrukteure in ihrem Arbeitsalltag zu entlasten und die Qualität von Blechkonstruktionen nachhaltig zu verbessern. KI-gestützte Systeme sind dabei keine Alternative zum empirischen Testing, sondern dessen Erweiterung: Indem Entwürfe bereits vor dem empirischen Testing mit Prototypen systematisch bewertet und optimiert werden, lassen sich kosten- und zeitaufwändige Iterationsschleifen gezielt reduzieren (Matthiesen & Grauberger 2024).

LITERATUR

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

AUTOREN

Christoph Wittig Adão, M. Sc.

Jiahang Li, M. Sc.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
IPEK - Institut für Produktentwicklung
Lehrstuhl für Gerätekonstruktion und Maschinenelemente

IP – Integrierte Produktentwicklung: Eine Innovation in Lehre und Industrie

VON DER KAFFEEMASCHINE ZUM UNTERSEE-ROBOTER – VON SKEPSIS ZUM VORZEIGEPROJEKT

Insellwissen, Verantwortungs-Lücke und Praxisferne. Als Prof. Albers vor 30 Jahren an die Universität berufen wurde, glich der Berufseinstieg für viele junge Ingenieure einem Sprung ins kalte Wasser. Die universitäre Lehre brachte zwar exzellente Theoretiker hervor, doch im multidisziplinären Zusammenarbeiten in der industriellen Praxis gab es oft Probleme wegen der mangelnden Vorbereitung auf reale Prozesse. Diese Erfahrung hatte Prof. Albers auch in seiner Zeit im Unternehmen mit jungen Mitarbeitenden gemacht. Dies war Anlass zur Entwicklung eines gänzlich neuen Formats, um Studierenden schon während ihrer Zeit an der Universität in einem realen und gleichzeitig geschützten Umfeld das Erlernen und Erfahren von Produktentwicklung zu ermöglichen.

RÜCKBLICK AUF DIE ANFÄNGE

Trotz Widerstand etlicher Skeptiker war Prof. Albers überzeugt von der Idee des neuen Formats, sodass im Wintersemester 1997/98 die Lehrveranstaltung IP – Integrierte Produktentwicklung als Projektarbeit mit begleitender Vorlesung startete. Die damals noch üblichen Zeichenbretter wurden gegen PCs ausgetauscht, die in der industriellen Praxis bereits lange Einzug in die Entwicklungsbüros gehalten hatten.

Doch es ging um mehr als nur moderne Hardware. Es war ein kultureller Bruch mit der klassischen Lehre. „Wir haben die ‚Zeichensäle‘ am Institut buchstäblich aufgebrochen, um Platz für echte Teamarbeit in modernen Arbeitsinseln zu schaffen, wie ich es aus der Firma kannte“, erinnert sich Prof. Albers an die ersten Semester. Die Universität wurde zum Engineering-Lab, in dem es plötzlich erlaubt – und gefordert – war, Fehler zu machen, um daraus zu lernen. Für die Studierenden bedeutete das eine völlig neue Intensität.

„Unser erstes Produktprofil war eine neuartige Kaffeemaschine, da ich ein gut und kostengünstig beschaffbares Referenzprodukt brauchte, da wir ja die Methodik noch erarbeiten mussten. Entstanden ist unter anderem eine an das Internet ange-

schlossene Kaffeemaschine fürs Büro“, erinnert sich Prof. Albers. „Das zweite Profil stammte von meiner Frau, da wir gerade einen großen Wintergarten gebaut hatten: ‚erfindet doch was, das die großen Scheiben reinigt‘, meinte sie“. So entstand der Putzroboter Fensterfee – rund 15 Jahre bevor solche Produkte wirklich auf den Markt gekommen sind. Nach drei erfolgreichen Durchläufen ohne externe Beteiligung, in denen das methodische Gerüst entwickelt wurde, folgte der nächste entscheidende Schritt: Die Einbindung von Unternehmenspartnern. Von nun an wurden die Aufgabenstellungen anhand realer Herausforderungen definiert, mit dem Ziel, neue Produktlösungen für das Partnerunternehmen zu entwickeln. Seitdem wurde für jedes Jahr jeweils ein neues Unternehmen gewonnen, das sich auch während des ganzen Prozesses mit eigenen Kapazitäten als ‚Kunde‘ einbringt. Die Studierenden agieren dadurch als temporäre Entwicklungsabteilung, die fest in das Unternehmen eingebunden ist – nur eben in den Räumen der Universität. Die Studierenden mussten ihre Zwischen- und Endergebnisse daher nicht mehr nur vor ihrem Professor und den Betreuern, sondern vor den Entscheidern



Bild 1: Prof. Düser als IP-Student beim Kennenlernen von Prof. Albers.

der Partnerunternehmen präsentieren und

verteidigen. Dieser direkte Austausch machte das Projekt endgültig zur realen Erfahrung für die Studierenden und zu einer wertvollen Innovationsressource für die beteiligten Partnerunternehmen.

Einer, der die Anfänge unmittelbar miterlebt hat, ist der heutige Professor Tobias Düser. Als Student der ersten IP-Generationen mit Unternehmenspartner fand er sich in einer völlig neuen Lernumgebung wieder. Ein Foto aus dieser Zeit zeigt ihn beim Kennenlerngespräch mit Prof. Albers vor dem Projektstart (siehe Bild 1).

„Für uns war das damals ein enormer Motivationsschub“, erinnert sich Prof. Düser. „Man saß nicht mehr isoliert über seinen Berechnungen, sondern musste seine Ergebnisse im Team validieren und vor dem Unternehmenspartner vertreten. Dieser direkte Abgleich mit der Realität hat das Verständnis für die Rolle und Verantwortung als Ingenieur nachhaltig geprägt.“ Diese frühe Erfahrung, dass methodisches Vorgehen und Teamdynamik die entscheidenden Hebel für den Projekterfolg sind, legte den Grundstein für eine Begeisterung, die bis heute anhält. Seit den Anfängen wurden die Ausstattung sowie die Ausgestaltung des Projekts kontinuierlich weiterentwickelt und an die veränderten Rahmenbedingungen angepasst. Das Grundkonzept ist jedoch gleichgeblieben.

KOMPETENZERWERB DURCH TUN

Als sogenanntes Live-Lab, das eine Kombination aus einem Entwicklungsprojekt und einer Lehrveranstaltung darstellt, zielt IP im Rahmen des KaLeP – Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung auf die Vermittlung von Erfahrung durch Anwendung ab [1]. Parallel zur Projektarbeit werden die bis zu 42 Studierenden daher sowohl mit begleitenden Vorlesungen als auch durch methodisches Coaching unterstützt [2].

Ein wesentliches Merkmal des Formats ist der kontinuierliche Austausch mit dem Unternehmenspartner, zu großen Teilen eigenständig durch die Studierenden. Dieser wechselt jährlich, bringt eine Aufgabenstellung ein und begleitet mit Teampaten

Integrierte Produktentwicklung

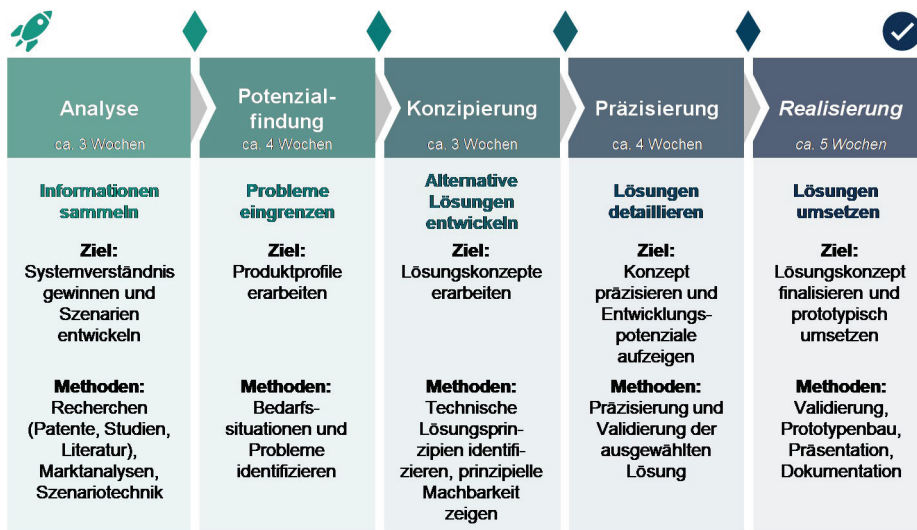


Bild 2: Verlauf der fünf Phasen mit Zielen und Methoden in IP – Integrierte Produktentwicklung.

das Projekt inhaltlich. „Die immer neuen Unternehmenspartner sind mir wichtig, um die Methodik in immer wieder neuen Branchen zu erproben und weiterzuentwickeln – IP ist für uns ja auch Forschungsplattform“, erklärt Prof. Albers.

Nach jeder Phase präsentieren die Teams ihre Ergebnisse vor einem Entscheidungskreis aus dem Unternehmen. Diese Meilenstein-Präsentationen enthalten oft verschiedene Auswahloptionen für den weiteren Weg. Durch ihre Wahl aus den präsentierten und diskutierten Ideen lenken die Unternehmensvertreter das Projekt gezielt und nehmen so maßgeblichen Einfluss auf die nachfolgenden Projektphasen. Dieser Prozess simuliert die Stage-Gate-Entscheidungen in industriellen Entwicklungsprozessen und fordert von den Studierenden eine fundierte Argumentation ihrer technischen und strategischen Vorschläge [3].

FÜNF PHASEN ZUM ERFOLG

Das mehrmonatige Projekt ist im Kern in fünf Phasen aufgeteilt (siehe Bild 2), die von der Analyse des Marktumfeldes bis zum funktionsfähigen Prototypen strukturiert durch den Entstehungsprozess führen [4]. Die Zusammenarbeit startet mit der Analysephase. In dieser setzen sich die Teams intensiv mit der aktuellen Situation des Unternehmens sowie dem Branchen- und Produktumfeld auseinander. Dies beinhaltet unter anderem die Untersuchung des Wettbewerbsumfeldes, die technische Analyse von Referenzprodukten und eine umfassende Patentrecherche. Ziel ist es, ein tiefgreifendes Systemverständnis zu entwickeln

und die spezifischen Randbedingungen sowie Anforderungen des Unternehmenspartners präzise zu erfassen. Gleichzeitig bauen die Studierenden in diesen ersten drei Wochen das spezifische Wissen für die spätere, individuelle Entwicklungsaufgabe auf.

Die Potenzialfindungsphase bildet das strategische Fundament des gesamten Projekts und bestimmt maßgeblich den weiteren Projektverlauf. Die Studierenden identifizieren konkrete Potenziale und Bedürfnisse für Innovationen. Das zentrale Ergebnis sind die erarbeiteten Produktprofile. Produktprofile beschreiben eine Bedarfssituation und zeigen den Nutzen für Anbieter, Kunden und Anwender auf [5]. Da das Profil die Leitplanken für die gesamte spätere technische Umsetzung setzt, gilt diese Phase als die kritischste im Prozess. Sie entscheidet darüber, ob eine Lösung später am Markt Bestand haben kann. Aus mehreren Vorschlägen wählt der Unternehmenspartner eines je Team aus.

Basierend auf dem jeweils gewählten Produktprofil, das noch vollständig lösungsoffen ist, werden in der Konzipierungsphase vielfältige Lösungsideen generiert. Die Teams nutzen – vergleichbar zur Potenzialfindung – kreative und systematische Methoden, um technische Wirkprinzipien zu suchen und diese zu ersten stimmigen Systemarchitekturen zu bündeln. Unterstützend erfolgt hier bereits gezieltes Prototyping, um anhand von einfachen testbaren Modellen und Visualisierungen die begleitende Verifikation durchzuführen. Hier-

bei entstehen alternative Konzepte, deren vielversprechendste – analog zu den Produktprofilen – dem Unternehmenspartner vorgestellt werden, um gemeinsam die Richtung für die detaillierte Ausarbeitung festzulegen.

Die gewählte Lösung wird in der Präzisionsphase technisch konkretisiert. Die Studierenden überführen die Konzepte in konkrete Entwürfe. Dies beinhaltet die computergestützte Konstruktion (CAD), numerische Simulationen sowie die Auswahl von Abmessungen, Materialien und Fertigungsverfahren. Ziel ist die Überprüfung der technischen Machbarkeit sowie die Vorbereitung von Demonstratoren zur (physischen) Validierung.

Der Fokus liegt hier auf der funktionalen Absicherung des Gesamtsystems. Über das gesamte Projekt hinweg werden darüber hinaus ebenfalls die Bedarfe und Anforderungen überprüft, um eine möglichst umfassende Validierung umzusetzen [6].

In der abschließenden Realisierungsphase werden vermehrt physische Demonstratoren und Prototypen angefertigt, um den Bedarf und die konzeptionellen Lösungsideen besser vermitteln zu können. Hier zeigt sich, ob die entwickelten Teilsysteme im Zusammenspiel die im Produktprofil definierten Ziele und Anforderungen erfüllen. Die Prototypen dienen dabei der objektiven Absicherung der technischen Machbarkeit und sind somit ebenso Validierungswerkzeug. Durch den Bau und die experimentelle Erprobung erhalten die Studierenden eine unmittelbare Rückkopplung über die Belastbarkeit ihrer Konstruktionen und Ideen unter realen Bedingungen. Neben Versuchsaufbauten, Design-Proto-



Bild 3: Prof. Albers und Prof. Düser bei den Präsentationsvorbereitungen.

teilweise bereits in einer nahezu marktreifen Ausführung vor.

Den feierlichen Abschluss des gesamten Projekts bildet eine zentrale Abschlussveranstaltung, in der die Teams ihre Ergebnisse vor einem Fachpublikum aus Wissenschaft und Wirtschaft vorstellen. Ergänzt wird dies durch eine begleitende Messe (Prototypenschau), bei der die Ergebnisse direkt an physischen Prototypen diskutiert werden können. Auch die Entwicklungsgenerationen als Zwischenstufen werden präsentiert, um den Entstehungsprozess aufzuzeigen. Insbesondere der Abschluss fordert von den Studierenden, ihre Produkte sowohl technisch als auch wirtschaftlich überzeugend zu präsentieren. Bild 3 zeigt Prof. Albers und Prof. Düser in den Vorbereitungen zur Präsentation.

EXEMPLARISCHE ERFOLGE AUS IP

Dass das Live-Lab IP weit über eine rein akademische Übung hinausgeht, beweisen die zahlreichen Innovationen, die ihren Weg aus den Karlsruher Projekträumen in die reale Welt gefunden haben. Zwei Beispiele, die die mögliche Bandbreite zwischen Marktreife und Vision aufzeigen, sind das Rückentragesystem für einen Hochentaster (IP 2003/04) und die Idee einer aktiv farbveränderlichen Oberfläche für Fahrzeuge (IP 2017/18).

Im ersten Fall kam der Projektpartner auf uns zu, mit der Ambition, den Hochentas-

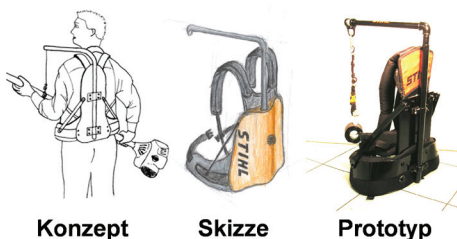


Bild 4: Entwicklungsstadien des Rückentragesystems für Hochentaster von der Konzeptidee bis zum Prototypen (Bildquelle: IPEK).

ter leichter zu gestalten, beispielsweise durch neue Schneidtechnologien. Bei der Analyse des Hochentasters fanden die Studierenden jedoch heraus, dass die Schneidleistung hervorragend ist. Und auch das Gewicht selbst war nicht das Problem, aber durch den Hebelarm werden Arme und Rücken auf Dauer massiv belastet. Es wurde geschlussfolgert, dass eine reine Gewichtsreduktion nicht zielführend ist. Vielmehr

musste eine Entkopplung von Gewicht und Geräteführung erfolgen. In der Medientechnik existieren Tragesysteme für große Kameras, die als Referenz für die Konzeptionierung herangezogen wurden. Davon inspiriert, entwickelten die Studierenden ein Rückentragesystem, das das Gewicht auf den Körper verlagert, gleichzeitig jedoch eine flexible Führung des Entasters ermöglicht. Die Visualisierungen und der Prototyp (siehe Bild 4) verdeutlichten den Reifegrad des Konzepts, sodass das Rückentragesystem – nach geringfügigen Anpassungen für die Serienfertigung – bereits nach etwa einem Jahr auf den Markt gebracht wurde. Etwas länger bis zur Veröffentlichung dau-



Bild 5: Showcar BMW iX Flow Featuring E Ink (Bildquelle BMW AG).

erte es bei der visionären Idee der farbveränderlichen Oberfläche für Fahrzeuge. Das Konzept wies technologiebedingt einen eher frühen Reifegrad auf. Dennoch zeigten die Prototypen das identifizierte Potenzial eindrucksvoll auf. Nach IP erfolgte eine mehrjährige Weiterentwicklung, die in der Präsentation eines Konzeptfahrzeugs auf der CES 2022 in Las Vegas resultierte (siehe Bild 5). In diesem Fall diente IP also der Potenzialfindung und ersten Erprobung einer visionären Idee und damit als Inkubator für eine zukunftsweisende Technologie. Weitere Ideen und Impulse, die im Rahmen von IP entstanden sind und sich einige Jahre später auf dem Markt wiedergefunden haben, waren beispielsweise der bereits zu Beginn erwähnte Roboter zur teilautomatisierten Fensterreinigung, eine einfach, aber präzise einstellbare Zahnstange, ein neuartiger Verbundanker, der bei der Montage ohne Bohrlochreinigung auskommt und eine kleberlose Verpackung, die auf Faser-Verpressung basiert (siehe Bild 6).

Aber nicht nur Produktpotenziale und -ideen sind aus IP hervorgegangen. „Das wichtigste ‚Produkt‘ sind die Studieren-

den“, betont Prof. Albers jedes Jahr auf der Abschlussveranstaltung, die für ihn wie ein zweites Weihnachten ist. Viele der mittlerweile über 1.000 Alumni setzen ihr erlerntes Wissen und ihre Kompetenzen in führenden Unternehmen ein, begannen eine wissen-



Bild 6: Kleberlose Verbindungstechnik Dotlock (Bildquelle: Gerhard Schubert GmbH).

schaftliche Karriere an diversen Universitäten oder beides – wie Tobias Düser, der nach seiner Zeit in der Industrie nun selbst Professor ist und die kommenden Generationen Studierender auf die Ingenieurspraxis vorbereitet.

GEMEINSAM ZUKUNFT GESTALTEN

Mit der im April 2026 erfolgten Übergabe der Lehrstuhlleitung von Prof. Albers an Prof. Düser schließt sich für das Live-Lab IP ein besonderer Kreis. Prof. Düser, IP-Alumni der ersten Jahre, kehrt nun als Leiter zurück – mit der klaren Vision, das Projekt nicht nur fortzuführen, sondern konsequent an die volatilen Anforderungen der Zukunft anzupassen.

Seine mehrjährige Erfahrung in der industriellen Praxis hat seine Überzeugung gestärkt: Der praxisnahe, methodenbasierte Ansatz in IP ist heute wertvoller denn je. Und nicht nur das. Das Gesamtformat ist nach wie vor zeitgemäß: fokussiert, in kleinen, schlagkräftigen und hochmotivierten Teams, in speziellen Arbeitsumgebungen, um in einem klaren und kurzen Zeitrahmen Probleme zu lösen. Darüber hinaus haben die in den vergangenen Jahre immer ausgereifteren Möglichkeiten zum ‚Rapid Prototyping‘ mit bspw. Lasercuttern oder 3D-Druckern für unterschiedlichste Materialien neue Möglichkeiten der frühen Validierung geschaffen.

„In meiner Zeit im Unternehmen haben wir ‚Rapid Innovation Teams‘ etabliert – kleine, unabhängige Gruppen, die jenseits des Tagesgeschäfts neue Ideen entwickeln und

prototypisch umsetzen konnten. Viele dieser Prototypen wurden später zu marktreifen Produkten und letztlich zu Innovationen. Die Power eines solchen Konzeptes im Studium zu erleben, ist deshalb von unschätzbarem Wert“, fasst Prof. Düser zusammen. So wie vor knapp 30 Jahren die Einführung von Computern die traditionellen Zeichenbretter ablöste und das Zeitalter der digitalen Konstruktion einläutete, steht das Live-Lab heute vor dem nächsten technologischen Quantensprung. Die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) in den Produktentstehungsprozess wird das Format

Zukunft.

LITERATUR

- [1] Albers A., Burkardt N., Deigendesch T., Meboldt M. (2008): Enabling key competencies by educational project work exemplified by teamwork and cooperation. DS 46: Proceedings of E and PDE 2008, the 10th International Conference on Engineering and Product Design Education. DOI: 10.5445/IR/1000067158
- [2] Albers A., Bursac N., Heimicke J., Walter B., Reiß N. (2018): 20 years of co-creation using case based learning: An inte-

[5] Albers A., Heimicke J., Walter B., Basedow G.N., Reiß N., Heitger N., Ott S., Bursac N. (2018): Product Pro-files: Modeling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations. Procedia CIRP, S. 253 – 258.

DOI: 10.1016/j.procir.2018.02.044

[6] Albers A., Behrendt M., Klingler S., Matros K. (2016): Verifikation und Validierung im Produktentstehungsprozess. In Lindemann U. (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung, S. 541-569. Carl Hanser Verlag.

DOI: 10.3139/9783446445819.019



Bild 7: Jahrgangsfoto an der Abschlussveranstaltung mit IP-Studierenden, Vertretern des Partnerunternehmens und Betreuern des IPEK.

nachhaltig transformieren. Ziel ist es, die Studierenden nicht nur auf die Arbeit mit KI vorzubereiten, sondern sie zu befähigen, diese als proaktive Gestalter von Innovationen einzusetzen.

IP hat sich über drei Jahrzehnte als hoch-effiziente Schnittstelle zwischen akademischer Exzellenz und Anwendung im Unternehmen bewährt. Wir laden interessierte Unternehmen ein, selbst teilzuhaben und mit uns im Rahmen des Projekts neue Innovationen zu entwickeln. Als Partner profitieren Sie nicht nur von frischen, unvoreingenommenen Lösungsideen und dem direkten Zugriff auf neueste Forschungserkenntnisse des IPEK, sondern treten auch in persönlichen Kontakt mit den Talenten von morgen. Kommen Sie gerne auf uns zu und gestalten Sie gemeinsam mit uns die

grated approach for teaching innovation and research in product generation engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing, S. 636-647.

DOI: 10.1007/978-3-319-73204-6_69

[3] Albers A., Düser T., Ott S., Klipfert M., Pfaff F., Schwarz S., Kübler M., Thümmel C., Schlegel M., Bause K. (2025): Co-Creation between Universities and Companies: ASD - Agile Systems Design Innovation Formats. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung

[4] Albers A., Burkhardt N., Düser T. (2006): Competence-profile oriented education with the Karlsruhe Education Model for Product Development (KaLeP). World Transactions on Engineering and Technology Education, S. 271 – 274.

DOI: 10.5445/IR/1000007080

AUTOREN

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

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Düser

Carsten Thümmel, M.Sc.

IPEK – Institut für Produktentwicklung, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Abschluss des BMW/EU-Projekts „DigiTain – Digitalization for Sustainability“

DREI JAHRE INTENSIVER ZUSAMMENARBEIT RESULTIEREN IN NEUEN DIGITALEN METHODEN FÜR DIE ENTWICKLUNG NACHHALTIGER ELEKTROANTRIEBSARCHITEKTUREN

PROJEKTKONTEXT UND ZIELSETZUNG

DigiTain wurde im Rahmen des Konjunkturpakets der Bundesregierung und der Europäischen Union („Neue, innovative Produkte als Schlüssel für Fahrzeuge und Mobilität der Zukunft“) gefördert. Das Konsortium bestand aus 26 Partnern aus Industrie und Wissenschaft sowie zwei assoziierten Partnern. Konsortialführer war die Daimler AG. Die TU Dresden war mit dem Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) und der Professur für Virtuelle Produktentwicklung (VPE) beteiligt. Ziel des Projekts war die Entwicklung digitaler Prozesse, Methoden und Modelle für die nachhaltige und effiziente Entwicklung von Elektroantriebsarchitekturen.

NACHHALTIGKEITSORIENTIERTER PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS (NEP)

Ein zentraler Fokus des Projekts lag auf der Entwicklung eines nachhaltigkeitsorientierten Produktentstehungsprozesses (NEP), der ökologische, ökonomische und technische Kriterien systematisch in die frühen Phasen der Produktentwicklung integriert. Die VPE entwickelte hierfür ein MBSE-basiertes Modell, das den NEP (basierend auf der VDI 2221) formal beschreibt und maschinenlesbar abbildet. Dieses Modell

ermöglicht die Verknüpfung von Nachhaltigkeitsanforderungen mit technischen Entwicklungsprozessen und unterstützt die

Rückverfolgbarkeit von Entscheidungen entlang der gesamten Prozesskette. Die Modellierung erfolgte unter Verwendung der Systems Modeling Language (SysML) und wurde durch die Kopplung an ein PDM-System ergänzt. Dadurch können Entwicklungsdaten konsistent verwaltet und versioniert werden. Die Validierung des NEP erfolgte anhand eines Demonstrators in Form eines Batteriegehäuses aus faserverstärktem Kunststoff, das unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien entwickelt wurde.

DIGITALISIERUNG DER EXPERIMENTELL-NUMERISCHEN VALIDIERUNG

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der digitalen Dokumentation und Nachvollziehbarkeit von experimentell-numerischen Validierungsprozessen. Auch für diese Anforderungen wurde beim VPE ein Konzept entwickelt, das MBSE und PDM kombiniert, um die komplexen Prozessketten der Validierung transparent und maschinenlesbar abzubilden. Dabei wurden ergänzend graphbasierte Modelle eingesetzt, um die Beziehungen zwischen Prozessschritten, Daten und Ergebnissen strukturiert darzustellen. Diese Modelle ermöglichen eine

effiziente Analyse und Optimierung der Validierungsprozesse sowie die Identifikation von Abhängigkeiten und Engpässen. Ein besonderer Fokus lag auf der Integration von Daten aus numerischen Simulationen und experimentellen Tests. Die semantische Verknüpfung der Daten mittels MBSE und Graphen bildet die Grundlage für weiterführende Analysen, beispielsweise durch KI-Methoden.

ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Die im Rahmen von DigiTain entwickelten Methoden und Modelle wurden erfolgreich an Demonstratoren validiert und zeigen ein hohes Potenzial für die industrielle Anwendung. Die digitale Abbildung von Entwicklungs- und Validierungsprozessen ermöglicht eine verbesserte Nachvollziehbarkeit, Konsistenz und Effizienz. Insbesondere die Kombination von MBSE und PDM bietet neue Möglichkeiten für die nachhaltige Produktentwicklung und die Integration von Nachhaltigkeitskriterien in technische Prozesse. Die Ergebnisse des Projekts tragen dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen

Automobilindustrie zu stärken und gleichzeitig einen Beitrag zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks der Elektromobilität zu leisten. Die entwickelten Ansätze und Werkzeuge bieten

eine Grundlage für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte, insbesondere im Bereich der nachhaltigen und digitalen Produktentwicklung.

Einen tiefergehenden Einblick in die Projektergebnisse aller Partner können Sie in der zusammenfassenden Veröffentlichung „Digitalization for Sustainability – Digital product development and certification of sustainable electric drive architectures“ gewinnen, die im zweiten Halbjahr 2026 bei Springer Nature erscheinen wird.

LITERATUR

[1] DAMMANN, M.P., P. HOFFEINS, J. BARTH, B. SASKE, K. PAETZOLD-BYHAIN und N. MODLER. Modeling a sustainability-oriented development process with

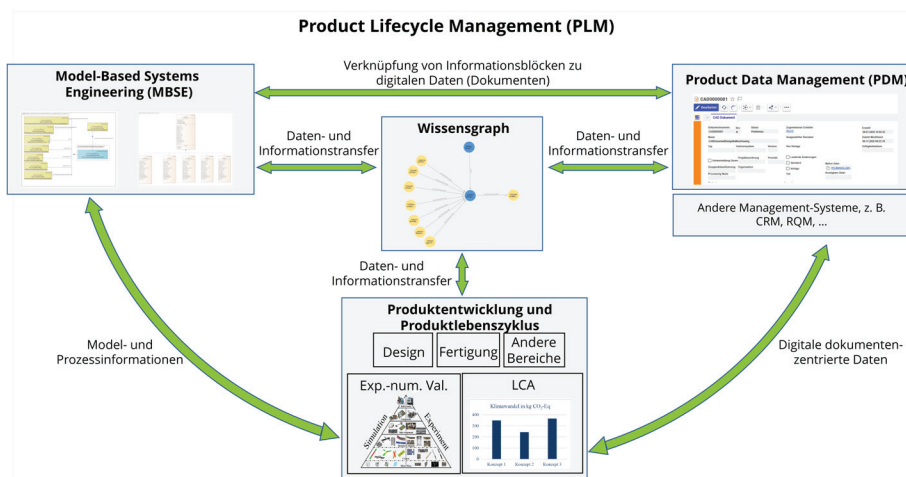


Bild 1: Überblick über die verwendete Struktur zur Abbildung und Verwaltung des NEP und der Prozesse der experimentell-numerischen Validierung, angelehnt an [3]

model-based systems engineering. In: DS 133: Proceedings of the 35th Symposium Design for X (DFX2024): The Design Society, 12 and 13. September 2024, S. 75-84.

[2] RICHTER, J., M.P. DAMMANN, M. KLUGE, B. SASKE, S. ARNDT, A. HORNIG, K. PAETZOLD-BYHAIN und N. MODLER. Digitalized composite material and product development strategies and methods for multiscale experimental-numerical validation processes using PLM and MBSE approaches. In: ECCM21 - Proceedings of the 21st European Conference on Composite Materials: Volume 3 - Material and Structural Behavior Simulation & Testing: European Society for Composite Materials (ESCM), 2024, S. 1576-1583.

[3] DANIEL HOLDER, Hg. Digitalization for Sustainability – Digital product development and certification of sustainable electric drive architectures: Springer Nature Switzerland AG, 2026, [in Vorbereitung].



Bild 2: DigiTain Logo.



Bild 3: Fördermittelgeber Logo.

Das Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE) und der Europäischen Union gefördert. Die Verantwortung für die veröffentlichten Inhalte liegt bei den Autoren. Die Autoren danken für die Unterstützung. Förderkennzeichen: 19S22006N

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold-Byhain
Dipl.-Ing. Maximilian Peter Dammann
Dr.-Ing. Bernhard Saske
Professur für Virtuelle Produktentwicklung
Technische Universität Dresden

Gestärkte Resilienz in produzierenden KMU durch agile, menschenzentrierte digitale Systeme und Systemgestaltung (Readi)



Bild 1: Konsortialpartner beim Kick-Off-Treffen bei Ergosign in Saarbrücken

Das Verbundforschungsprojekt „Gestärkte Resilienz in produzierenden KMU durch agile, menschenzentrierte digitale Systeme und Systemgestaltung (Readi)“ verfolgte das Ziel, Unternehmen zu befähigen, die für eine nachhaltige, kontinuierliche und resiliente Wandlungsfähigkeit erforderlichen Strukturen, Prozesse und technischen Voraussetzungen zu entwickeln und zu harmonisieren. Im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten standen dabei ein mehrdimensionales Wandlungsmodell und

ein modularer Maßnahmenbaukasten.

Das 2026 abgeschlossene Projekt war Teil der Förderrichtlinie „Industrie 4.0 – Wandlungsfähigkeit von Unternehmen in der Wertschöpfung von morgen (InWandel)“ des Bundesministeriums für Forschung, Technik und Raumfahrt (BMFTR) und wurde betreut durch den Projektträger Karlsruhe (PTKA). Beteiligt an dem Projekt waren insgesamt neun Partner aus Forschung und Industrie (siehe Bild 1): Adient Components Ltd. & Co. KG, ARTENGIS GmbH, Ellenber

ger GmbH & Co. KG, Ergosign GmbH, Hans Leffer GmbH & Co. KG, Know How! AG, Institut für Technologie und Arbeit e.V., Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik gGmbH (ZeMA) und Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau, Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (VPE).

PROJEKT

Im Verlauf des Projektes mussten die ingenieurwissenschaftlichen Perspektiven und die eher arbeitswissenschaftlichen bzw. menschenzentrierten Perspektiven der Projektpartner zunächst zusammengebracht werden. Auf der Grundlage bestehender methodischer Ansätze wie agilen Vorgehensmodellen und dem V-Modell nach der VDI-Richtlinie 2206 wurde ein neuer methodischer Ansatz eines menschenzentrierten Prozesses („Readi-Prozess“) entwickelt für die Planung, Modellierung und Umsetzung sozialer, technischer und organisatorischer Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz in Unternehmen (modularer Maßnahmenbaukasten). Der Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung der RPTU befasste sich besonders mit den folgenden

Forschungsfragen: Wie können Engineering-Strukturen in KMU wandlungsfähiger werden? Wie können diese durch anpassbare IT-Strukturen und Anpassungsmaßnahmen im Kontext eines menschenzentrierten Gesamtkonzepts unterstützt werden? Wie können die für resilientere Prozesse benötigten Engineering-Daten verwaltet und Kontext-spezifisch bereitgestellt werden? Hierfür wurden, als Elemente des modularen Maßnahmenbaukastens, organisatorische und technische Lösungsbausteine für mehr Wandlungsfähigkeit und Resilienz in den Unternehmen entwickelt [1]. Dabei stand die Unterstützung durch erweiterte Digitale Produktwillinge und Product Lifecycle Management-Umgebungen im Vordergrund.

Erste Ergebnisse wurden bereits 2024 im Rahmen der Frühjahrstagung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften (GfA) präsentiert [2]. Auch in der praktischen Durchführung des REDI-Prozesses im Rahmen des Projektes war es spannend zu erleben, wie eine iterative, agile Vorgehensweise und kreative Methoden aus der menschenzentrierten Welt mit klassischen Vorgehensweisen wie der Entwicklung eines Lastenheftes oder einer technischen Architektur zusammenspielen können. Neben dem eigentlichen REDI-Prozess wurden insgesamt 57 Methoden identifiziert, die in unterschiedlichen Phasen zum Einsatz kommen können.

Die Erkenntnisse des Projekts fließen vor allem in dem im Projekt entwickelten Resilienz-Reifegrad- und Wandlungsmodell zusammen, das es Unternehmen erlaubt, durch einen Selbsttest den eigenen Resilienz-Reifegrad (inkl. Wandlungsfähigkeit) in acht Kategorien zu ermitteln. Basierend auf den Ergebnissen werden konkrete Maßnahmen empfohlen, die im Unternehmen eingesetzt werden können, um resilienter zu werden.

INDUSTRIELLE ANWENDUNGSFÄLLE

Ein Schwerpunkt des Projektes lag auch in der Entwicklung technischer Lösungskom-

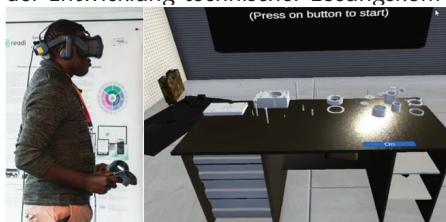


Bild 2: Vorstellung und Auszug des VR-Demonstrators

ponenten für einen Anwendungsfall, der durch die Firma Adient eingebracht wurde. In diesem Anwendungsfall ging es darum, den Konstruktionsprozess bei Adient durch die Integration von VR/AR-Technologien zu verbessern. Diese Technologien sollen zu einem schnelleren und effizienteren Konstruktionsprozess führen, Änderungs-



Bild 3: Abschlusstreffen bei Ergosign in Saarbrücken

schleifen minimieren und eine frühere Fehlererkennung ermöglichen. Dadurch sollten übergeordnete Ziele zur Kostensenkung sowie zur Steigerung der Attraktivität der Arbeitsplätze unterstützt werden. Nachdem in Workshops und Experteninterviews die Anforderungen an eine konkrete technische Lösung identifiziert wurden, konnte im Rahmen des Projektes ein VR-Demonstrator entwickelt werden (siehe Bild 2), der ein reales Szenario aus dem Werkzeugbau in einer virtuellen Umgebung umgesetzt und interaktiv durch die nötigen Arbeitsschritte führt.

Basierend auf der Game-Engine „Unity“ wurde das VR-Szenario für den Einsatz auf einer VR-Brille implementiert, und unter anderem bei der Abschlussveranstaltung der Fördermaßnahme InWandel sowie bei diversen projektinternen Terminen vorgeführt (siehe Bild 3).

Weitere industrielle Anwendungsfälle wurden in Kooperation mit den Firmen Leffer und Ellenberger beschrieben, analysiert und auf der Grundlage integrierender Software-Lösungen für die Produktentstehung unterstützt [3]. Hierbei ging es in beiden Fällen um die Überwachung des Produktionsfortschritts. Neben den rein technischen Maßnahmen wurden in allen Anwendungsfällen mithilfe des ganzheitlichen methodischen Ansatzes auch mitarbeiterorientierte und organisatorische Lösungen entwickelt und umgesetzt.

ZUGANG ZU PROJEKTERGEBNISSEN

Die detaillierten Ergebnisse des Projektes werden in Form des Sammelbandes „Wandlungsfähigkeit und Resilienz von

KMU steigern“ im Springer-Verlag veröffentlicht. Mit dem Erscheinen des Bandes ist noch im Laufe von 2026 zu rechnen. Zudem stehen sie teilweise bereits online auf der Webseite <https://resilienzchecker.de/> zur Verfügung, die einen Resilienz-Reifegrad-Check, den REDI-Prozess, sowie weitere Hintergrundinformationen zum Projekt REDI bereitstellt.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

LITERATUR

[1] Eickhoff, T., Ngamakoua Hakoua, A., and Göbel, J. C.: „AI-Assisted Engineering Data Integration for Small and Medium-Sized Enterprises“. Proceedings of NordDesign 2024: The Design Society, 12th - 14th August 2024. <https://doi.org/10.35199/NORDDESIGN2024.83>.

[2] Stephanie Dupont, Viola Hellge et al. Gestärkte Resilienz und Wandlungsfähigkeit für produzierende KMU durch agile, menschenzentrierte Systeme In: Arbeitswissenschaft in-the-loop - Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung. GfA-Press, Sankt Augustin 2024, ISBN 978-3-936804-34-8

[3] Eickhoff, T., Faißt, K.-G., and Göbel, J. C.: „Scenario-Driven Engineering Data Integration for the Generation of Digital Product Twins“. In: Mas, F., Del Valle, C., Eynard, B., Rivest, L., Bouras, A. (eds) Product Lifecycle Management. PLM in the Age of Model-Based Engineering in Industry. PLM 2025. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 772. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-09700-2_2

AUTOREN

M.Sc. Thomas Eickhoff

M.Sc. Arnaud Hakoua

Dipl.-Ing. Karl-Gerhard Faißt

Prof. Dr.-Ing. Jens C. Göbel

Rheinland-Pfälzische Technische Universität
Kaiserslautern-Landau, Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung

Modelle des Hand-Arm-Systems zur Abbildung der mechanischen Impedanz des Menschen

KRAFTABHÄNGIGE HAND-ARM-MODELLE FÜR DIE PRODUKTENTWICKLUNG HANDGEHALTENER UND HANDGEFÜHRTER GERÄTE

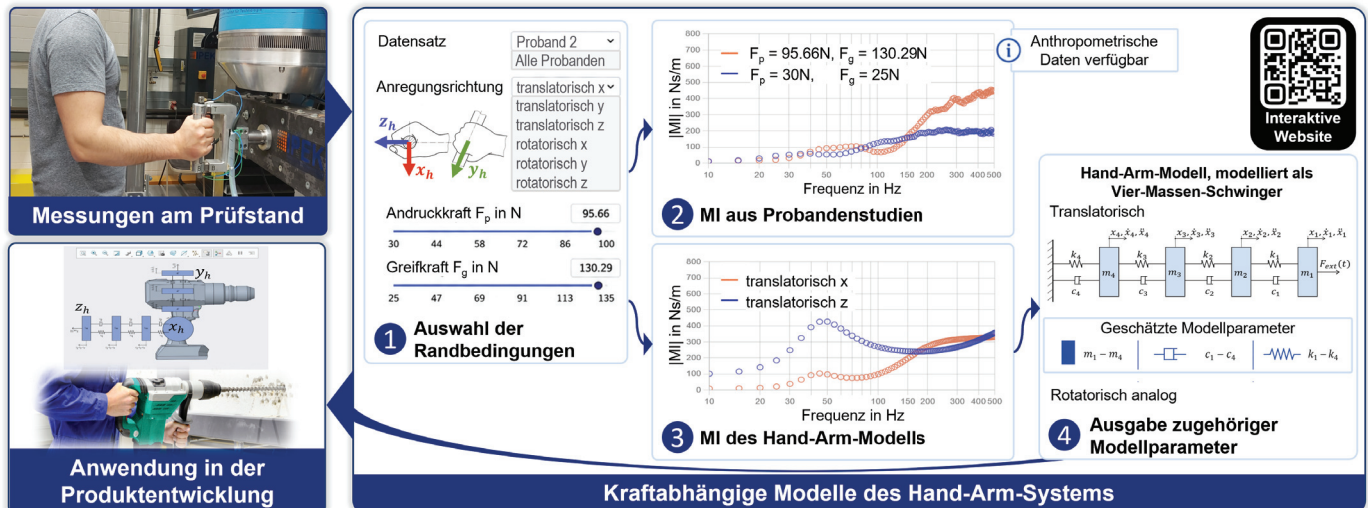


Bild 1: Kraftabhängige Modelle des Hand-Arm-Systems (HAS) ermöglichen es, die mechanische Impedanz (MI) auch für nicht gemessene Greif- und Andruckkraftkombinationen vorherzusagen. Die MI wurde in Probandenstudien bei systematisch variierten Kräften bestimmt. Über eine interaktive Website werden für gewählte Randbedingungen (1) (Probanden, Anregungsrichtung, Greif- und Andruckkraft) interpolierte Messdaten (2) sowie modellbasierte MI-Verläufe (3) gemeinsam mit den zugehörigen Modellparametern (4) ausgegeben. Beispielhaft gezeigt sind unterschiedliche Kraftstufen bei gleicher Anregungsrichtung (2) sowie unterschiedliche Anregungsrichtungen bei gleichen Kräften (3). Modellparameter und Messdaten können in der virtuellen Produktentwicklung handgehaltener und handgeführter Geräte genutzt werden.

In der Produktentwicklung von handgehaltenen und handgeführten Geräten spielt die Interaktion zwischen Hand-Arm-System (HAS) und Gerät eine zentrale Rolle. Während die Geräte Schwingungen auf das HAS übertragen, beeinflussen umgekehrt Greif- und Andruckkraft der Anwender das dynamische Verhalten und damit die Performance des Geräts. Diese Kräfte variieren während der Anwendung. Bestehende Modelle des HAS gelten typischerweise jedoch nur für einzelne Kraftstufen. Um das Schwingungsverhalten auch für nicht gemessene Greif- und Andruckkräfte vorhersagen zu können, wurden im DFG-Projekt „Modellierung und Simulation des Schwingungsverhaltens von Hand-Arm-Systemen für sechs Anregungsrichtungen im Kontext der nutzerzentrierten Produktentwicklung“ kraftabhängige Modelle des HAS entwickelt.

AUFBAU HAND-ARM-MODELLE

Als Grundlage für die Modelle wurde die mechanische Impedanz (MI) – der frequenzabhängige Widerstand gegenüber einer Schwingungsanregung – in Probandenstudien bestimmt. Je nach Gerät und Anwendung treten Schwingungen in unterschiedlichen Richtungen und Frequenzbereichen auf. Daher wurden alle sechs Anregungsrichtungen (drei translatorisch,

drei rotatorisch nach DIN EN ISO 5349-1) bei systematisch variierten Greif- und Andruckkräften über einen breiten Kraft- und Frequenzbereich untersucht. Auf dieser Datenbasis wurden kraftabhängige Vier-Massen-Schwinger-Modelle entwickelt, deren Parameter als Funktionen von Greif- und Andruckkraft beschrieben sind. Damit lässt sich das Schwingungsverhalten des HAS auch für die in der Anwendung kontinuierlich variierenden Greif- und Andruckkräfte vorhersagen.

BEREITSTELLUNG & ANWENDUNG

Modelle und Messdatenbasis sind über eine interaktive Website verfügbar (<https://www.ipek.kit.edu/14435.php>). Dort lassen sich Anregungsrichtung, Greif- und Andruckkraft auswählen, bei interpolierten Messdaten auch einzelne Probanden (siehe Bild 1). Für die gewählten Randbedingungen werden die MI-Verläufe sowie die zugehörigen Modellparameter ausgegeben. Die Hand-Arm-Modelle lassen sich mit einem Gerätemodell zu einem virtuellen Gesamtmodell koppeln. Ergänzend entsteht im laufenden DFG-Projekt „Dynamisch adaptive Impedanzelemente zur Schwingungsbeeinflussung in Validierungsumgebungen“ ein kraftabhängiges physisches HAS-Modell. Es ermöglicht eine reproduzierbare experimentelle Absicherung am

Prototyp und schließt damit die Kette vom virtuellen Modell bis zum Test am Prüfstand. Die Mensch-Maschine-Interaktion lässt sich so früh und reproduzierbar virtuell und physisch in der Produktentwicklung handgehaltener und handgeführter Geräte untersuchen.

AUTOREN

Carina Spengler, M. Sc.
Simon Saurbier, M. Sc.
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
IPEK – Institut für Produktentwicklung
Lehrstuhl für Gerätekonstruktion und Maschinenelemente
KIT – Karlsruher Institut für Technologie
Gefördert durch die



Prüfungskonzepte im Fachgebiet Maschinenelemente und Konstruktionslehre

KOMPETENZNACHWEISE IM DIGITALEN UND KI-ZEITALTER

Die Lehre im Fachgebiet Maschinenelemente und Konstruktionslehre bildet das Fundament der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung an deutschen Universitäten und Hochschulen. Sie vermittelt tragfähige Grundlagen und vertieftes Fachwissen in Berechnung, Auslegung, Konstruktion und technischem Zeichnen. Doch während die fachlichen Inhalte in weiten Teilen bewährt sind, verändern sich die Anforderungen an angehende Ingenieurinnen und Ingenieure spürbar: Der Maschinenbau im Wandel der Zeit muss heute den Spagat zwischen analogen und digitalen Methoden meistern, von manueller Konstruktion bis zu automatisierten Prozessen, von der Integration von Sensorik und smarten Systemen bis hin zu Aspekten der Nachhaltigkeit.

Mit diesem Wandel verändern sich nicht nur Lehrmethoden, sondern auch die Formen des Kompetenznachweises und damit die Prüfungen selbst.

Um ein belastbares Bild der aktuellen Prüfungskonzepte und -formate zu gewinnen und Best Practices sichtbar zu machen, hat der Lehrstuhl für Maschinenelemente der Technischen Universität München unter der Leitung von Prof. Karsten Stahl innerhalb der WiGeP eine umfassende Umfrage durchgeführt. Beteiligt waren 17 Lehrstühle, die Einblicke in insgesamt 40 Prüfungen im Themenfeld Maschinenelemente gaben. Erfasst wurden unter anderem Modulstruktur, Prüfungsformate, -inhalte, -dauer, -korrekturmethode und zugelassene Hilfsmittel. Darüber hinaus wurden geplante Änderungen für die nahe Zukunft abgefragt, um Entwicklungslinien im Fachgebiet sichtbar zu machen.

WIE PRÜFEN WIR HEUTE

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen große Übereinstimmungen bei Aufbau und Inhalt der Module sowie bei den zugehörigen Prüfungen: Die meisten Lehrstühle setzen auf mehrteilige, überwiegend zwei- bis dreisemestrige Modulstrukturen, wobei mehrheitlich (76%) für jedes Einzelmodul eine separate Prüfung vorgesehen ist. Für den erfolgreichen Abschluss aller erforderlichen Konstruktionsmodule im Bereich Maschinenelemente/Konstruktionslehre erwerben

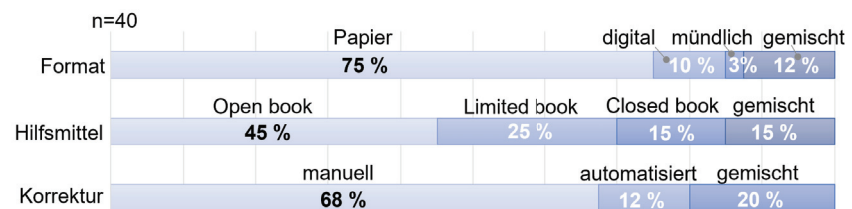


Bild 1: Ausgewählte Umfrageergebnisse zu Prüfungsformaten, zugelassenen Hilfsmitteln und Korrekturmethode

Studierende im Durchschnitt dabei 15 ECTS. Auch die Prüfungsform folgt bislang überwiegend einem klassischen Muster: Geprüft wird meist schriftlich und auf Papier (75 %); digitale oder mündliche Formate bleiben die Ausnahme (Bild 1). Entsprechend erfolgt auch die Korrektur zumeist manuell (Papier oder digital, 68 %), abgesehen von wenigen automatisierten, maschinenlesbaren Single- oder Multiple-Choice-Aufgaben. Hinzu kommen an 82% der Lehrstühle begleitende, meist verpflichtende Studienleistungen, etwa in Form von Konstruktions- und/oder Produktauslegungsprojekten während des Semesters. Bei der Hälfte der Lehrstühle fließen diese Leistungen direkt in die Modulnote ein; an den übrigen müssen sie mindestens zum Erwerb der ECTS bestanden werden.

Signifikante Unterschiede zeigen sich dagegen bei der Prüfungsdauer, der Bereitstellung von Alt- bzw. Übungsklausuren und den zugelassenen Hilfsmitteln (Bild 1). Am häufigsten kommen unbegrenzte, schriftliche Hilfsmittel („Open Book“) zum Einsatz (45 %), gefolgt von „Limited Book“ und (25%) und Closed-Book-Formaten (15 %); auch Kombinationen (15 %) innerhalb einzelner Prüfungen sind möglich, beispielsweise für unterschiedliche Prüfungsteile (z.B. Konstruktion, Auslegung, Kurzfragen). Über alle Lehrstühle ließ sich kein einheitliches Schema erkennen. Vielmehr dominieren entweder lehrstuhlspezifische Strategien oder inhaltlich getriebene Regeln. Auch die inhaltlichen Schwerpunkte variieren teils erheblich: In 95 % der Prüfungen werden Auslegung und Berechnungsaufgaben gestellt und in 88 % werden Theorie bzw. Wissen abgefragt, während nur in 70 % der Prüfungen konstruktive Aspekte geprüft werden. Demnach ist die Prüfung von Kon-

struktionsaspekten teilweise vollständig in semesterbegleitende Projekte ausgelagert. Zusammenfassend zeigt die Umfrage zwar ein vielfältiges, jedoch solides und bewährtes Fundament an klassischen Prüfungsformaten. Dennoch steht die universitäre Lehre vor einem technologischen Wendepunkt: Die dynamischen Entwicklungen in den Bereichen Digitalisierung und künstliche Intelligenz (KI) werden vor dem Fachgebiet Maschinenelemente nicht Halt machen. Bei den geplanten Änderungen in naher Zukunft spiegelt sich diese Unsicherheit wider: Während einige Lehrstühle noch keine Änderungen oder Anpassungen planen, experimentieren andere bereits mit weiterführenden digitalen Elementen (z. B. automatisierter Korrektur) oder steuern bewusst dagegen.

WIE PRÜFEN WIR MORGEN?

Der Einsatz hochdigitalisierter und generativer KI-Methoden verschiebt das Anforderungsprofil für angehende Ingenieurinnen und Ingenieure grundlegend: Weg von Abfrageprüfungen hin zu verstärkten Kompetenznachweisen. Im Mittelpunkt sollten zukünftig der souveräne Umgang mit modernen, digitalen Tools stehen, bspw. der Plausibilitätsprüfungen, kritisches Hinterfragen, sowie ein vertieftes Verständnis komplexer Systemzusammenhänge.

Für die universitäre Praxis bedeutet dies, dass sowohl Lehrmethodiken als auch starre Prüfungskonzepte kontinuierlich und adaptiv überprüft und ggf. angepasst werden müssen. Die WiGeP wird mit der Querschnittsgruppe Lehre und Weiterbildung (QLW) diesen Transformationsprozess aktiv begleiten, um innovative Prüfungsformen, wie etwa kompetenzorientierte E-Prüfungen und den gezielten Einsatz digitaler Methoden in Prüfung und Korrektur,

weiterzuentwickeln.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl

Dr.-Ing. Thomas Lohner

Ferdinand Schmid, M.Sc.

Lehrstuhl für Maschinenelemente, FZG

Technische Universität München

ReKonIK: Resiliente Produktentwicklung durch MBSE und KI

DAS VERBUNDPROJEKT VERBINDET MBSE, KI UND ARBEITSWISSENSCHAFTLICHE GESTALTUNG, UM ORGANISATIONEN, TEAMS UND MITARBEITENDE IM UMGANG MIT STÖREREIGNISSEN ZU UNTERSTÜTZEN

RESILIENZ IN DER PRODUKTENTWICKLUNG

Lieferketten reißen ab, Anforderungen ändern sich kurzfristig, Schlüsselpersonen fallen aus oder neue regulatorische Vorgaben verändern etablierte Entwicklungsprozesse: Störereignisse sind längst kein Ausnahmefall mehr. Gerade in der Entwicklung komplexer technischer Systeme können sich solche Ereignisse besonders gravierend auswirken.

Deshalb untersucht das Forschungsprojekt ReKonIK, wie sich resiliente Kollaborationsstrukturen in der Produktentwicklung stärken lassen. Im Mittelpunkt der Forschung steht die Handlungsfähigkeit des gesamten Entwicklungssystems unter Unsicherheiten: einzelne Mitarbeitende, Teams, die gesamte Organisation, Prozesse, Methoden, Modelle und Werkzeuge. Im Projekt erarbeitet ein interdisziplinäres Team ein Resilienzrahmenkonzept, das Handlungsperspektiven über alle Dimensionen und Ebenen aufzeigt.

Die modellbasierte Produktentwicklung und insbesondere MBSE unterstützen zunehmend die Entwicklung komplexer Produkte. Gleichzeitig entstehen neue Herausforderungen: Unternehmen nutzen unterschiedliche Modellierungssprachen, Werkzeuge und domänenspezifische Standards. Diese isolierten Wissensstände erschweren eine resiliente Zusammenarbeit. ReKonIK entwickelt deshalb ein agentisches System, das die Arbeit an Systemmodellen beispielsweise durch Konvertieren oder Prüfen unterstützt. Der geplante KI-Assistent entsteht unter arbeitswissenschaftlichen Rahmenbedingungen, sodass die Technologie die Mitarbeitenden tatsächlich entlastet, ihre Kompetenzen stärkt und die Zusammenarbeit verbessert.

DREI INDUSTRIELLE ANWENDUNGSFÄLLE

Die Arbeit des Projektes wird anhand von drei Anwendungsfällen konkretisiert. Am Beispiel von Zutrittssystemen für Fahrzeuge und Ladesystemen für E-Mobilität wird im SDV-Anwendungsfall untersucht, wie sich geänderte Anforderungen oder neue Funktionen auf Ingenieurdisziplinen und Teilsysteme auswirken. Einflüsse und mögliche Auswirkungen der Änderungen sollen zielgerichteter identifiziert und analysiert werden.

Für die Entwicklung komplexer medizintechnischer Systeme, etwa Computertomographen, werden mitunter verschiedene Modellierungssprachen und Sichtweisen angewendet. Der KI-Assistent soll helfen, Modellinhalte besser zu übersetzen, Konsistenz zu sichern und die Kommunikation zwischen den Expertengruppen zu erleichtern.

Für die Entwicklung von sehr variantenreichen und kundenindividuellen Produkten wie Sattelauflegern bestehen hohe Abstimmungsaufwände zwischen Vertrieb, Produktentwicklung, Produktion und Service. Eine modellbasierte und KI-unterstützte Zusammenarbeit kann hier helfen, Variantenentscheidungen nachvollziehbarer zu gestalten und die Reaktionsfähigkeit bei Markt- oder Anforderungsänderungen zu erhöhen.

EINE MULTI-AGENTEN ARCHITEKTUR

Um allen Anwendungsfällen in einem unterstützenden System zu begegnen, verfolgt das Projekt eine Multi-Agenten Architektur, in der einzelne Agenten für die Durchgängigkeit, Transformation oder Impact Analyse zuständig sind, siehe Bild 1. Zugleich bleibt die Architektur offen für

Erweiterungen, sodass im weiteren Projektverlauf zusätzliche Agenten für neue Aufgaben, Anwendungsfälle oder Werkzeuganbindungen ergänzt werden können. Diese Architektur ist bewusst modular angelegt. Sie soll einerseits gemeinsame Funktionen über alle Anwendungsfälle hinweg bereitstellen, andererseits aber so anpassbar bleiben, dass sie unternehmensspezifische domänenspezifische Sprachen (DSLs), Toolchains und Prozesslogiken berücksichtigen kann.

Der KI-Assistent des ReKonIK Projekts zielt darauf ab, Mitarbeitende bei komplexen Modellierungs- und Abstimmungsaufgaben zu unterstützen. Gerade im Kontext von Resilienz sollen individuelles Wissen oder Fähigkeiten von Mitarbeitenden gestärkt werden. Deshalb soll die Benutzeroberfläche (UI) so gestaltet sein, dass Nutzende zentrale Entscheidungen nachvollziehen, prüfen und freigeben können. Weniger erfahrene Personen können dabei stärkere Anleitung in Anspruch nehmen; Erfahrene erhalten gezielte Informationen an kritischen Prozesspunkten.

Der Orchestration Agent ist mehr als ein technischer Router, denn er verbindet die fachliche Anfrage, den Entwicklungsprozess und die verfügbaren KI-Funktionen. Seine Gestaltung folgt dem Grundgedanken, dass KI-Unterstützung in bestehende Engineering-Abläufe integriert werden muss, statt diese unkontrolliert zu umgehen.

SPEZIALISIERTE AGENTEN UND WISSENSBASIS

Unterhalb des Orchestration Agent ordnet das Bild 1 die spezialisierten Funktionsagenten nebeneinander an.

Der Traceability Agent unterstützt die Nachverfolgbarkeit zwischen Anforderungen,

Multi-Agent Architecture

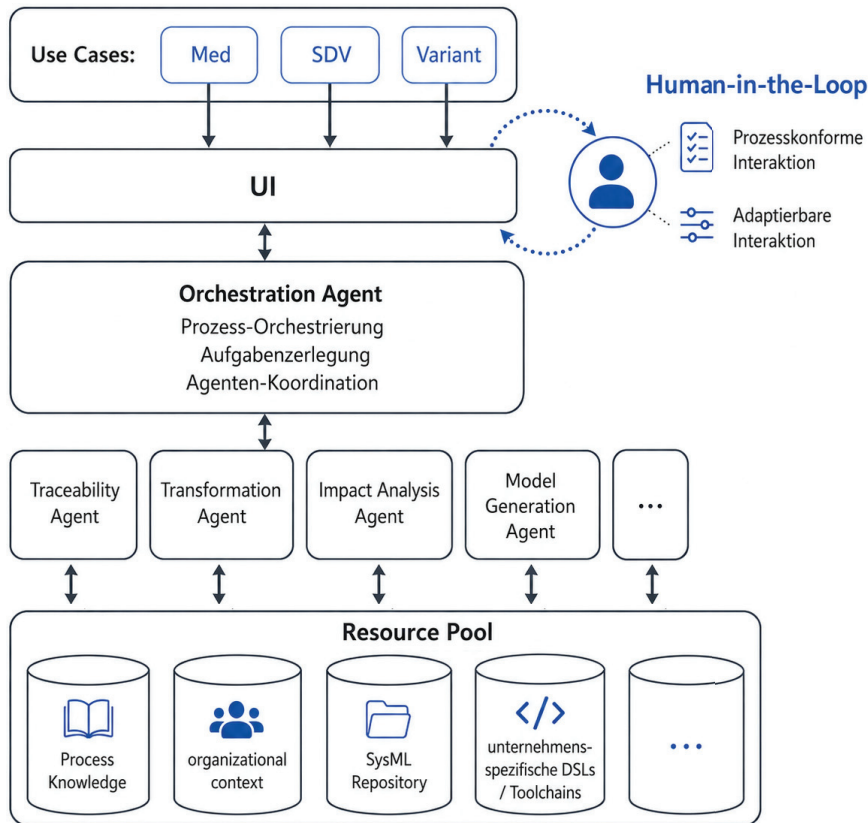


Bild 1: Multi-Agenten-Architektur des KI-Assistenten mit Orchestration Agent, spezialisierten Funktionsagenten und der Wissensbasis

Funktionen, Systemelementen, Schnittstellen, Tests und Verantwortlichkeiten.

Der Transformation Agent adressiert die Übersetzung zwischen unterschiedlichen Modellierungssprachen und DSLs.

Der Impact Analysis Agent bewertet, welche Folgen ein Störereignis oder eine Änderung auf bestehende Modelle, Prozesse und Entscheidungen haben kann. Damit wird Resilienz praktisch operationalisiert, indem die Fähigkeit, Auswirkungen schnell zu erkennen und handlungsfähig zu bleiben, gestärkt wird.

Der Model Generation Agent soll domänenspezifische Modellfragmente, Modellvorschläge oder Ergänzungen bereitstellen, die zu bestehenden Modellierungskonventionen und Werkzeugketten passen. Gerade in einer regulierten und interdisziplinären Entwicklungsumgebung dürfen solche Ergebnisse jedoch nicht automatisch übernommen werden. Sie müssen als überprüfbare Vorschläge in den Engineering-Prozess eingebracht und von Fachexpertinnen und

Fachexperten bewertet, angepasst oder verworfen werden. Auf diese Weise unterstützt der Agent die Modellierungsarbeit, ohne die fachliche Verantwortung vom Entwicklungsprozess zu entkoppeln.

Die Auslassungspunkte am Ende der Agentenreihe stehen dafür, dass die Architektur offen bleibt und um zusätzliche Agenten ergänzt werden kann.

Die Grundlage dieser Agenten bildet die Wissensbasis, die das Prozesswissen, den organisationalen Kontext, Modellierungshinweise der SysML Notation sowie unternehmensspezifische DSLs und weitere Datenquellen umfasst. Die Doppelpfeile symbolisieren eine eigenständige Interaktion zwischen den Agenten. Die Wissensbasis liefert neben dem Kontext auch die Nachvollziehbarkeit der Vorschläge.

AUSBLICK

Die agentische Architektur bildet einen konzeptionellen Handlungsrahmen. In den nächsten Schritten werden die Agenten detailliert und mit realen Werkzeugketten

und industriellen Kontexten verbunden. Im Rahmen der Validierung wird der Einfluss auf die Entwicklungsarbeit erhoben. Dies umfasst beispielsweise die Verständlichkeit oder Editierbarkeit der angebotenen Lösungen, die Auswirkungen auf die interdisziplinäre und unternehmensübergreifende Zusammenarbeit sowie den Einfluss auf die individuelle Kompetenz.

ANSPRECHPARTNER

M. Sc. Zhenghan Zhang

zhang@tu-berlin.de

Fachgebiet Industrielle Informationstechnik

Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb

Technische Universität Berlin

AUTOREN

M. Sc. Zhenghan Zhang

Dr.-Ing. Carina Freseman

Fachgebiet Industrielle Informationstechnik

Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb

Technische Universität Berlin

LEHRSTUHLINHABER

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark

Fachgebiet Industrielle Informationstechnik

Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb

Technische Universität Berlin

Methoden der Produktentwicklung: Von der Wirkstruktur zur Wirksamkeit der künstlichen Intelligenz

SYMPOSIUM AM FACHGEBIET MPM DER TU BERLIN

Am 23.01.2026 fand im Labor für Maschinensysteme der Technischen Universität Berlin das Symposium „Methoden der Produktentwicklung: Von der Wirkstruktur zur Wirksamkeit der künstlichen Intelligenz“ statt, welches vom Fachgebiets Methoden der Produktentwicklung (MPM) organisiert wurde. Unter der Schirmherrschaft der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung (WiGeP) versammelten sich über 50 Teilnehmende aus Wissenschaft und Industrie zu einem ganz-tägigen Austausch über aktuelle Entwicklungen und über den Praxistransfer in der konstruktionsmethodischen Forschung. Eröffnet wurde die Veranstaltung durch ein Grußwort von Prof. Roland Lachmayer, wobei er die Veranstaltung sehr anschaulich in den Kontext verschiedener Aktivitäten der WiGeP einordnete.

Den inhaltlichen Einstieg gestalteten Prof. Beate Bender und Prof. Lucienne Blessing mit dem Thema „Konstruktionsmethodik: Wie (fast) alles anfing...und was danach noch kam“. Der Vortrag – in der Form eines lebendigen Frage-Antwort-Spiels – umfasste eine komprimierte Darstellung zentraler Entwicklungslinien der Methodik von den ersten Anfängen in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts über die heutige moderne Methodik (insbesondere VDI-

Richtlinien 2206 und 2201) bis zu einer Vision, einer KI-unterstützten Konstruktionsmethodik.

Prof. Dietmar Göhlich präsentierte einen umfassenden Überblick über Methoden und Projekte der Produktentwicklung, die in den vergangenen 15 Jahren am Fachgebiet MPM erforscht und in die industrielle Anwendung überführt wurden. Besonders hervorgehoben wurden die Transfererfolge in den Themengebieten Nachhaltige Mobilitätssysteme und Design for Additive Manufacturing, sowie die erfolgreiche Leitung des BMFTR Forschungscampus Mobility2Grid. Ergänzt wurde dieser Vortrag durch Präsentationen von zahlreichen Forschungspostern und Prüfständen. Die Teilnehmer nutzten die Gelegenheit, die ganze Breite des MPM-Forschungsportfolios, inklusive der dort genutzten KI-Unterstützungen, mit den Wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ausführlich zu diskutieren.

Aus der Praxis berichtete Dr. Benjamin Thumm von der Firma Dambach Lager-systeme über KI-Anwendungen im Produktentwicklungsprozess im Maschinen- und Anlagenbau. Sein Beitrag zeigte anhand konkreter Projektbeispiele, wie durch künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen

Mehrwerte in den Bereichen Anforderungsmanagement, Systems Engineering, Robotik und Automatisierung geschöpft werden können. Sein Vortrag zeigte aber auch, dass weiterhin erhebliche Hürden bei der KI-Implementierung bestehen. Oftmals ist die vorhandene Datenqualität unzureichend, es fehlen relevante Systemschnittstellen und die fachliche Qualifikation des Personals weist auf allen Ebenen erhebliche Lücken auf. Zudem sind die Kostenstrukturen von KI-Anwendungen häufig nicht ausreichend transparent.

„Hat die Konstruktionsmethodik (k)eine Zukunft?“ Angesichts der allgegenwärtigen Diskussion über die disruptiven Veränderungen durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz eine wichtige Fragestellung, auf die Prof. Kilian Gericke in seinem Vortrag Ischichtige Antworten präsentierte: Die Ziele der Konstruktionsmethodik haben Bestand und ihre Elemente sind weiterhin relevant. Aber die aktuelle Forschung zum Thema KI in der Produktentwicklung ist stark fragmentiert und inkrementell und fokussiert zu sehr auf spezifische individuelle Aktivitäten. Daher benötigen wir in Zukunft sogar mehr methodische Unterstützung für die Produktentwickler, und wir müssen KI in die Ausbildung von Ingenieuren und Ingenieurinnen tiefgreifend integrieren.



Bild 1: Teilnehmer des Symposiums im Labor für Maschinensysteme

Dr. Felix Spangenberg von Kearny Unternehmensberatung analysierte und diskutierte die Herausforderungen und Trends, die auf die industrielle Produktentwicklung im Jahr 2035 zukommen und welche Strategien insbesondere in der Automobilindustrie ergriffen werden, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Anhand von 28 konkreten Beispielen aus dem Produktentstehungsprozess wurden die Potentiale des KI-Einsatzes analysiert und bewertet. Und es wurde gezeigt, wie die Automobilindustrie durch neue Partnerschaften insbesondere mit Software-Firmen auch in Zukunft erfolgreich sein kann.

Ein Blick in die weitere Zukunft wagte Prof. Rainer Stark mit seinem Vortrag über „Die virtuelle Produktentstehung 2040 – aus Utopie wird Wirklichkeit!“ Dafür diskutierte er zunächst eine Prognose, der dann verfügbaren Technologien wie z. B. Brain-Computer zur Erweiterung kognitiver Fähigkeiten, um dann unterschiedliche Szenarien vorzustellen, wie im Jahr 2040 Produkte entwickelt werden.

Seine Vision: Die Hochschulinstitute, insbesondere in Deutschland unter Führung der WiGeP, haben dafür in den 20er und 30er Jahren des 21. Jahrhunderts die Grundlagen für die Kodierung der Produktentwicklung gelegt!

In seinem Schlusswort würdigte Prof. Eckhard Kirchner die präsentierten Beiträge und die intensive Vernetzung zwischen Forschung und Anwendung, die das Symposium sichtbar gemacht hatte. Prof. Göhlich schloss mit einem Ausblick auf zukünftige Forschungsfelder, darunter die Weiterentwicklung erklärbarer KI-Methoden für den Konstruktionsprozess sowie die systematische Integration neuer methodischer Ansätze in die industrielle Produktentwicklung.

Das Symposium zeigte eindrücklich, dass die Verbindung von methodischer Forschung und industrieller Praxis zentrale Voraussetzung für die Wirksamkeit neuer Technologien — insbesondere der künstlichen Intelligenz — in der Produktentwicklung ist.

Die Veranstaltung trug dazu bei, Erkenntnisse, Erfahrungen und offene Fragestellungen zusammenzuführen und den Pfad vom Forschungsergebnis zur praktischen Anwendung weiter zu ebnen.

Aus Anlass seines 65. Geburtstags lud Prof. Göhlich alle Teilnehmer am Abend zu einer Geburtstagsfeier ein, so dass die Veranstaltung in geselliger Runde bei Speis und Trank und Tanz ausklingen konnte.

AUTOR

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Göhlich
Methoden der Produktentwicklung
und Mechatronik (MPM)
Technische Universität Berlin
www.tu.berlin/mpm
<https://mobility2grid.de/>



Bild 2: WiGeP Logo

FE-Pressverband und kerbnahe Lasteinleitung in KERBERT

NEUES FORSCHUNGSPROJEKT GESTARTET – FÖRDERUNG DURCH DIE FVA

FVA-Vorhaben 700 V – „Kerbstellennahe Lasteinleitung“ Überblick und Teilaspekte

Pressungsverteilung in der Kontaktfuge

Wellenseitige
FE-Netzan-
forderungen



Stabile Methode
zur Abbildung der
kontinuierlichen
Größen



Plastifizierungsverhalten in Welle-Nabe- Verbindungen

Verfügbarmachen des Potenzials der Übermaßvergrößerung
Über die elastische Verformung hinaus

Berücksichtigung elasto-
plastischer Materialmodelle bei
der Kontaktberechnung

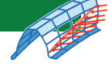


Zahnkraftmodellierung

Vereinfachte Lastverteilung aus Zahnkräften und
Abbildung realitätsgetreuer Belastungen an
Zahnwellen

Berücksichtigung
von Einflüssen
der Zahngeometrie

Diskretisierung
Berührlinie



Wellenseitige
Geometrie und
Vernetzung



Spannungsauswertung

Einfluss auf
Auswertgrößen
in der Kerbe



Im Oktober 2025 startete das von der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V. (FVA) geförderte Forschungsvorhaben FVA 700 V. Ziel des Projekts ist es, die Auswirkungen einer kerbnahe Lasteinleitung an Zahnwellen sowie einer detaillierten Modellierung des Pressverbandes auch im Fall höherer Übermaße auf die Tragfähigkeit gekerbter Wellen abzubilden.

Mit der in den Vorgängervorhaben entwickelten Rechenkette KERBERT ist bereits eine automatisierte, FE-gestützte Tragfähigkeitsberechnung gekerbter Wellen nach DIN 743 möglich. Bislang erfolgte die Lasteinleitung jedoch überwiegend an den Wellenenden, sodass eine idealisierte, freigeschnittene Betrachtung der Kerbstelle vorlag. Reale Belastungen – etwa über die Zahnflanken einer Zahnwelle – sowie der genaue Pressungszustand in der Kontaktfuge blieben dabei weitgehend unberücksichtigt.

Um diese Lücke zu schließen, untersucht das Projekt recheffiziente Modellierungsansätze zur Bestimmung von Pressungsverteilungen in Pressverbänden und bildet die nabenseitige Plastifizierung ab, die gezielt zur Steigerung der übertragbaren Lasten genutzt werden kann. Zudem wird eine vereinfachte Methode entwickelt, um die Lastverteilung aus den Zahnkräften zu bestimmen und auf die FE-Knoten zu projizieren. Die Ergebnisse werden in die Rechenkette KERBERT und die FVA-Workbench integriert und stehen interessierten Unternehmen anschließend als Anwendungssoftware zur Verfügung. Die Projektlaufzeit erstreckt sich vom 01.10.2025 bis zum 31.01.2027.

AUTOREN

Daniel Singer, M.Sc.

Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD,
Prof. Dr.-Ing. Stephan Tremmel

Universität Bayreuth



WiGeP

Wissenschaftliche Gesellschaft
für Produktentwicklung

Zirkuläre Produkte regelbasiert entwickeln

ERFOLGREICHE ZWISCHENEVALUATION FÜR DAS PROJEKT DIGI4CIRCULAR

Das Projekt Digi4Circular verfolgt das Ziel, die Produktentwicklung in der Automobilindustrie durch digitale Technologien und Prinzipien der Kreislaufwirtschaft grundlegend zu verbessern. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung einer digitalen Plattform, die eine nachhaltige und kreislauffähige Produktentwicklung bereits in frühen Konstruktionsphasen unterstützt.

Produkte sollen so entwickelt werden, dass sie leichter repariert, wiederverwendet und recycelt werden können. Gleichzeitig soll so viel Sekundäraluminium wie möglich eingesetzt werden. Zudem werden relevante Produkt- und Lebenszyklusdaten als Metadaten erfasst, sodass sie perspektivisch automatisiert in einen Digitalen Produktpass überführt werden können.

ERSTES REVIEW MEETING IN BRÜSSEL
Vom 27. Bis 28. Mai 2026 traf sich das Digi4Circular-Konsortium in Brüssel zur ersten Zwischenevaluation. Das Treffen fand in der Vertretung des Landes Nordrhein-Westfalen bei der Europäischen Union statt. An der Sitzung nahmen die Projektpartner sowie Vertreter der HaDEA teil, um die bisherigen Fortschritte zu diskutieren und die nächsten Schritte des Projekts festzulegen.

REGELBASIERTES CIRCULAR COMPONENT DESIGN

Einen wichtigen Aspekt hierbei stellt die Frage, wie Bauteile bereits in frühen Entwicklungsphasen so gestaltet werden können, dass sie technisch funktionsfähig, fertigungsgerecht und gleichzeitig möglichst zirkulär sind, dar. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Nutzung von Sekundärmaterialien, beispielsweise recyceltem Aluminium. Diese Materialien bieten große Potenziale für Ressourceneffizienz und CO₂-Reduktion, bringen jedoch auch neue Herausforderungen mit sich: Ihre chemische Zusammensetzung und daraus resultierende Eigenschaften schwanken. Genau diese Unsicherheiten müssen im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden. Ein zentraler Ansatz ist daher der Aufbau eines regelbasierten Systems, das technisches Wissen digital nutzbar macht. Viele Konstruktions- und Fertigungsregeln liegen heute noch in unstrukturierter Form vor – etwa als Textpassagen, Tabellen,



Bild 1: Review Meeting – Brüssel, Belgien.

Abbildungen oder Erfahrungswissen einzelner Expertinnen und Experten. Für eine automatisierte Anwendung in digitalen Entwicklungsumgebungen reicht dieses Format jedoch nicht aus. Regeln wie „möglichst konstante Wanddicken im Druckguss“, „lösbare Verbindungen für bessere Demontierbarkeit“ oder „maximaler Einsatz von Sekundärmaterial unter Einhaltung technischer Anforderungen“ müssen in eine strukturierte und maschinenlesbare Form überführt werden.

VON DESIGNREGELN ZU MASCHINENLESBAREM WISSEN

Dazu werden Designregeln über ein geführtes User Interface erfasst, klassifiziert und mit semantischen Beziehungen versehen. Das System unterscheidet dabei zwischen Objekten, Parametern und Regeln. So kann eine Regel nicht nur als Text gespeichert, sondern auch mit relevanten Konzepten wie Material, Fertigungsprozess, Geometrieparameter oder Zirkularitätsanforderung verknüpft werden. Aus einer allgemeinen Aussage wird dadurch eine digital interpretierbare Regel, die Bedingungen, Zielgrößen und mögliche Konsequenzen enthält. Das Ergebnis sind strukturierte JSON-Regeln, die anschließend in nachgelagerten Prozessen weiterverarbeitet werden können.

VOM SEKUNDÄRMATERIAL ZUR PARAMETRISCHEN GEOMETRIE

Besonders relevant wird dieser Ansatz bei der Verbindung von Material- und Geometrieentscheidungen. Wird beispielsweise ein hoher Anteil an Sekundäraluminium angestrebt, kann das System prüfen, ob die resultierende Materialzusammensetzung

die Anforderungen an Druckgießfähigkeit, Festigkeit oder Fließfähigkeit erfüllt. Falls nicht, kann eine Mischung mit Primärmaterial erforderlich werden – jedoch nur in dem Umfang, der technisch notwendig ist. Die daraus abgeleiteten Materialeigenschaften beeinflussen wiederum konstruktive Designparameter wie Wanddicke, Entformungsschragen oder Verrundungen. Auf diese Weise entsteht eine durchgängige Kette von Materialdaten über Fertigungsregeln bis hin zur parametrischen Bauteilgeometrie.

AUTOREN

Prof. Dr. Iryna Mozgova
Dr.-Ing. Manuel Ott
M.Sc. Katharina Rohde
Datenmanagement im Maschinenbau
Universität Paderborn



FÖRDERHINWEIS

Dieses Projekt wurde im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon 2024“ der Europäischen Union unter der Fördervereinbarung Nr. 101177586 (Projekt „Digi4Circular“) finanziell unterstützt.



Finanziert von der Europäischen Union

Erstes HIPPE-Symposium in Paderborn

ERSTES HIPPE SYMPOSIUM RÜCKT HYBRIDE INTELLIGENZ IN DER PRODUKTENTSTEHUNG IN DEN FOKUS

Drei Tage lang stand Paderborn im Zeichen eines Zukunftsthemas an der Schnittstelle von Ingenieurwissenschaften und Informatik: Vom 24. bis 26. März 2026 feierte das International Symposium on Hybrid Intelligence in Product and Production Engineering (HIPPE) seine Premiere. Knapp 50 Forscherinnen und Forscher widmeten sich der Frage, wie hybride Intelligenz – die Kombination von menschlicher und künstlicher Intelligenz – dazu beitragen, die Leistungsfähigkeit in der Produktentstehung zu steigern.

Als Initiative des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Schwerpunktprogramms SPP 2443 bietet das Symposium eine Plattform für den interdisziplinären Austausch. Zur Diskussion stehen Potenziale, Lösungsansätze, Grenzen und praktische Herausforderungen der Anwendung hybrider Intelligenz in der Produktentstehung. Zum Auftakt stellte Gastgeberin Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler vom Heinz Nixdorf Institut (HNI) Paderborn als Sprecherin des SPP 2443 die aktuellen Schwerpunkte und erste Erkenntnisse aus dem DFG-Programm vor. Sie skizzierte die Bedeutung des Forschungsfeldes für die Zukunft der Produktentstehung. Wie relevant das Thema auch in der industriellen Praxis ist, erläuterte anschließend Dr.-Ing. Ursula Frank von Beckhoff Automation. Sie sprach über die Herausforderungen in der Umsetzung von KI in Unternehmen. Im Rahmen einer von Dr.-Ing. Jobst Richert geleiteten Unternehmensführung bei dSPACE erhielten die Teilnehmenden Einblicke in industrielle Ansätze und aktuelle Herausforderungen in den Produkten der größten Ausgründung der Universität Paderborn (Bild 1).



Bild 1: Unternehmensbesichtigung bei dSPACE

INTERAKTIVE WORKSHOPS

Ein besonderes Merkmal des Symposiums waren die interaktiven Workshops, die aus

den Arbeitsgruppen des SPP 2443 hervorgegangen sind. In interaktiven Sessions wurden aktuelle Forschungsthemen diskutiert, bestehende Konzepte kritisch reflektiert und neue Perspektiven für zukünftige Forschungsansätze entwickelt (Bild 2). Die



Bild 2: Workshops aus den Arbeitsgruppen des SPP2443

vorgestellten Publikationen und Ansätze im Rahmen der HIPPE machen deutlich, wie vielfältig das Forschungsfeld der hybriden Intelligenz in der Produktentstehung ist. Trotz technologischen Fortschritts zeigen die Diskussionen vor allem eines: Der Mensch bleibt unersetzlich. Ingenieurinnen und Ingenieure verbinden die unterschiedlichen Ansätze und behalten auch in KI-gestützten Prozessen die entscheidende Rolle. Damit das gelingt, braucht es nachvollziehbare und erklärende KI-Systeme sowie ein Bewusstsein dafür, auf welchen Daten ihre Ergebnisse beruhen. Ebenso ist die Qualität der Daten entscheidend für die Qualität der Resultate – unvollständige, veraltete oder ungepflegte Daten begrenzen die Aussagekraft von KI. Besonders vielversprechend erscheint die Verbindung von wissensbasierten und datenbasierten KI-Ansätzen – in der sogenannten neuro-symbolischen KI. Gleichzeitig wird deutlich, dass KI-generierte Ergebnisse noch besser überprüft werden müssen, damit der Einsatz in der Praxis verlässlich, transparent und kontrollierbar bleibt.

KEYNOTE & PODIUMSDISKUSSION

Zum Abschluss setzte Prof. Dr.-Ing. Martin Ruskowski mit seiner Keynote einen weiteren inhaltlichen Akzent: Intelligente Produkte und KI-gestützte Automatisierung ebnen in der Smart Factory des Deutschen Forschungszentrums für KI (DFKI) den Weg zur selbststeuernden Produktion. In der anschließenden Podiumsdiskussion unter dem Titel „Hybride Intelligenz in der Produktentstehung – von Methoden zu Entscheidungswirkung“

diskutierten Prof. Iris Gräßler (HNI, Paderborn), Prof. Rainer Stark (TU Berlin), Prof. Martin Ruskowski (DFKI, RPTU) und Prof. Stefan Sauer (Software Innovation Campus Paderborn - SICP) unter Moderation von Dr.-Ing. Jens Pottebaum (HNI, Paderborn) darüber, wie Daten, Wissen und menschliche Expertise für nachhaltige Entscheidungen verbunden werden müssen (Bild 3). Ein Highlight zum



Bild 3: Prof. Martin Ruskowski, Prof. Rainer Stark, Prof. Iris Gräßler und Prof. Stefan Sauer (v.l.n.r.) diskutieren über Entscheidungsunterstützung durch hybride Intelligenz

Abschluss: Lucas Manassés Pinheiro de Souza wurde stellvertretend auch für die Co-Autoren der RWTH Aachen für den Beitrag „Multimodal AI Agent for Orchestration of Mobile Robotic Tasks in Flexible Assembly Automation“ mit dem Best Paper ausgezeichnet. Mit seiner Premiere hat das HIPPE Symposium ein deutliches Signal gesetzt: Hybride Intelligenz ist ein Schlüsselthema für die Zukunft der Produktentstehung. Die Veranstaltung brachte Forschende disziplinübergreifend zusammen und entwickelte eine lebendige, offene Diskussionskultur. Bereits jetzt steht der nächste Termin fest: Die HIPPE 2027 wird vom 15. bis 17.03.2027 an der TU Berlin stattfinden. Einreichungen von Beiträgen sind bis Mitte September 2026 willkommen. Weitere Informationen gibt es unter www.hippesymposium.org.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler
Dr.-Ing. Jens Pottebaum
Sven Rarbach M.Sc.
Julius Hendrik Goldstein M.Sc.
Heinz Nixdorf Institut
Lehrstuhl für Produktentstehung
Universität Paderborn

1. SCALE Workshop 2026 mit dem IPeG als Organisator



Bild 1: Teilnehmer des Scale Workshops

Am 12. und 13. März 2026 fand der erste SCALE Workshop für alle beteiligten Institute im neuen Forschungsbau SCALE der Fakultät für Maschinenbau in Garbsen statt. Das IPeG übernahm als Teil des Vorstandes des Forschungsbaus die organisatorische Verantwortung für die Veranstaltung.

Ziel des Workshops war es, einen umfassenden Überblick über die laufenden Forschungsaktivitäten der Institute an den Großgeräten im Forschungsbau SCALE zu gewinnen, die institutsübergreifende Vernetzung zu stärken und neue Perspektiven für die skalenübergreifende Produktion der Zukunft zu entwickeln.

Der erste Workshoptag war in vier thematische Sessions gegliedert, die sich an den zentralen Forschungsschwerpunkten des Forschungsbaus sowie an der geplanten Graduiertenschule orientierten. Die Sessions wurden durch vier fachliche Leitperspektiven strukturiert:

- SCALE Effects in Materials, moderiert durch Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier
- Scalable Production, moderiert durch Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena
- Scalable Mobile Systems, moderiert durch Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer
- Scalability in System Engineering, moderiert durch Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer

Ergänzend zu den Vorträgen erhielten die Teilnehmenden an den Großgeräten anhand von mehr als 20 Postern vertiefende Einblicke in die jeweiligen Anlagen, deren technische Möglichkeiten sowie die damit verbundenen Forschungsthemen. Das IPeG stellte dabei seine Großgeräte „Mehrschiger dynamischer Belastungsprüfstand“, „MESSIAH-Anlage für additive Großfertigung“ und „Additive Multimaterial-Fertigungsanlage“ vor.

Ein weiterer Programmpunkt war die Verleihung des SCALE Best Paper Award 2025 für herausragende Forschungsarbeiten an den Großgeräten. Ausgezeichnet wurden zwei Forschende für ihre Beiträge. Besonders erfreulich ist die Ehrung eines Teams unter Beteiligung unseres Mitarbeiters Herrn Niedermeyer, dessen Arbeit in Kooperation mit dem Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) entstanden ist. Am zweiten Workshoptag standen ein gemeinsames Brainstorming sowie vertiefende Gruppenarbeiten zu den am Vortrag vorgestellten Themen und Ideen im Mittelpunkt. Die vier Leitperspektiven SCALE Effects in Materials, Scalable Production, Scalable Mobile Systems und Scalability in System Engineering wurden dabei erneut aufgegriffen und gemeinsam mit den Teilnehmenden weiterentwickelt. Auf dieser Grundlage entstanden konkrete Ansätze

für zukünftige Kooperationen, mögliche Forschungsanträge sowie die weitere Ausgestaltung der Aktivitäten im geplanten Graduiertenkolleg. Die Ergebnisse des Workshops bilden damit eine wichtige Grundlage für die weitere strategische und wissenschaftliche Entwicklung des Forschungsbaus SCALE. Sie zeigen zugleich das große Potenzial der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Instituten.

Das IPeG bedankt sich herzlich bei allen Teilnehmenden für den intensiven fachlichen Austausch und die konstruktive Zusammenarbeit während der zwei Workshoptage. Wir freuen uns auf den nächsten SCALE Workshop.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer (IPeG)
Jens Niedermeyer (IPeG)

Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung

NEUER WIGEP-SAMMELBAND ZEIGT WEGE ZUR ZUKUNFTSFÄHIGEN GESTALTUNG TECHNISCHER SYSTEME

Wie kann Nachhaltigkeit bereits in der Produktentwicklung systematisch berücksichtigt werden? Dieser Frage widmet sich der neue Sammelband „Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung“, der im Sommer 2026 bei Springer Vieweg erscheint. Das Werk vereint die Expertise zahlreicher Professorinnen und Professoren der WiGeP und zeigt aktuelle Ansätze, Methoden und Werkzeuge für die nachhaltige Gestaltung technischer Produkte.

Die Idee für das Buch geht auf Professor Roland Lachmayer zurück. Aus diesem Impuls entstand ein gemeinsames Vorhaben der WiGeP, das die vielfältigen Forschungsaktivitäten der deutschsprachigen Produktentwicklungscommunity zum Themenfeld Nachhaltigkeit zusammenführt. Herausgegeben wird der Sammelband von den Professoren Nikola Bursac, Oliver Koch, Benjamin Schleich und Sandro Wartzack.

Die insgesamt 20 Fachbeiträge decken ein breites Spektrum aktueller Forschungsthemen ab. Behandelt werden unter anderem verantwortungsorientierte Produktentwicklung, Kreislaufwirtschaft, Lebenszyklusanalysen, Recyclingstrategien, Modularisierung, nachhaltige Werkstoffauswahl, Leichtbau, Tribologie sowie digitale Technologien für die nachhaltige Produktentwicklung.

Weitere Beiträge widmen sich modellbasierter Systementwicklung (MBSE), Product Lifecycle Management (PLM), Digitalen Zwillingen und dem Einsatz Künstlicher Intelligenz zur Unterstützung nachhaltiger Entwicklungsentscheidungen.

Der Sammelband zeigt, wie breit Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung heute verstanden wird: als methodische, technische und gesellschaftliche Gestaltungsaufgabe. Die Beiträge verbinden Grundlagen mit konkreten Anwendungsbeispielen und machen deutlich, dass nachhaltige Produkte nicht durch Einzelmaßnahmen entstehen, sondern durch Entscheidungen entlang des gesamten Lebenszyklus. Damit richtet sich das Buch gleichermaßen an Studierende, Forschende und Fachleute in der Praxis.

Der Sammelband begleitet die gleichnamige WiGeP-Ringvorlesung „Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung“, die im Sommersemester 2026 mit zahlreichen Universitäten stattfindet. Die digitale Veröffentlichung auf SpringerLink ist noch vor



Bild 1: Cover des Sammelbandes

Vorlesungsende im Juli 2026 vorgesehen. Offiziell vorgestellt wird das Buch auf der WiGeP-Herbsttagung 2026, anschließend ist es regulär im Buchhandel erhältlich.

Ein zusätzlicher Dank geht an die Mitwirkenden der Ringvorlesung „Nachhaltige Produktentwicklung“:

- Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack (Einführung in nachhaltige Produktentwicklung)
- Frau Prof. Dr.-Ing. Beate Bender (Umweltwirkungen in der Nutzungsphase)
- Prof. Dr.-Ing. Armin Lohrengel (R-Strategien, etc.)
- Prof. Dr.-Ing. Frank Mantwill (Mehrgenerationenproduktentwicklung)
- Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen (Konstruktion für circuläre Fabriken)
- Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause (Modularisierung als Basis für die Circular Economy)
- Prof. Dr. sc. ETH Alexander Hasse (Nachhaltige Materialauswahl und-entwicklung)
- Frau Prof. Dr. Iryna Mozgova (Leichtbau)

- Prof. Dr.-Ing. Oliver Koch (Tribologie als Kernkompetenz für nachhaltige Antriebstechnik)
- Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer (Umwelt- und soziale Auswirkungen von Produkten)
- Prof. Dr.-Ing. Jens Göbel (Digitale Technologien für nachhaltige Produktentwicklung)

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Nikola Bursac

Felix Förster, M. Sc.

ISEM – Institut für Smarte Entwicklung und Maschinenelemente, TU Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Oliver Koch

Lehrstuhl für Maschinenelemente, Getriebe und Tribologie, RPTU Kaiserslautern-Landau

Prof. Dr.-Ing. habil. Benjamin Schleich

Fachgebiet Product Life Cycle Management, TU Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack

Lehrstuhl für Konstruktionstechnik KTMfK, FAU Erlangen – Nürnberg



Bild 2: Buchseite des Sammelbandes im SpringerLink (ISBN 978-3-658-52116-5)

Buchvorstellung: Finite-Elemente-Analyse für Ingenieure

Das bewährte Standardwerk „Finite-Elemente-Analyse für Ingenieure – Grundlagen und praktische Anwendungen“ von Professor Dr.-Ing. Frank Rieg, Dr.-Ing. Bettina Alber-Laukant, Professor Dr.-Ing. Stephan Tremmel und Dipl. -Wirtsch.-Ing. Reinhard Hackenschmidt ist im Frühjahr 2026 in der aktualisierten 7. Auflage im Hanser Verlag erschienen.

Neu im Autorenteam ist Professor Dr.-Ing. Stephan Tremmel, der ab der kommenden Ausgabe als Mitautor das Team fachlich ergänzt. Das aktualisierte Buch bietet einen erweiterten Funktionsumfang von Z88Aurora V6 und berücksichtigt aktuelle Entwicklungen, wie beispielsweise die Berechnung von Leichtbaustrukturen in Form von Sandwichverbünden und erwei-

tert so die bewährten Inhalte rund um die Finite-Elemente-Methode für das Studium und die ingenieurwissenschaftliche Praxis. Weiterhin erstmalig hinzugekommen ist eine neue Version des Open Source Programmes Z88 in der Version Z88Adria. Der Quellcode von Z88Adria erlaubt ambitionierten Anwendern, das Programm individuell anzupassen. Beide Programme können gleichermaßen mit Windows, Linux und macOS genutzt werden.



HANSER

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg
Dr.-Ing. Bettina Alber-Laukant
Prof. Dr.-Ing. Stephan Tremmel
Dipl. Wirtsch.-Ing. Reinhard Hackenschmidt

Finite-Elemente-Analyse verstehen und anwenden

Einladung zum 27. Bayreuther 3D-Konstrukteurstag

VIRTUAL REALITY, KÜNSTLICHE INTELLIGENZ, ADDITIVE FERTIGUNG – DIESE TECHNOLOGIEN SPIELEN LÄNGST AUCH IM INGENIEURWESEN UND IN DER KONSTRUKTIONSTECHNIK EINE WICHTIGE ROLLE. EINEN ÜBERBLICK ÜBER DIE NEUESTEN ENTWICKLUNGEN UND AKTUELLE FRAGESTELLUNGEN GIBT DER BAYREUTHER KONSTRUKTEURSTAG DES LEHRSTUHL FÜR KONSTRUKTIONSLEHRE UND CAD, DER UNIVERSITÄT BAYREUTH AM 16. SEPTEMBER 2026 STATTFINDET.

Der Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD an der Universität Bayreuth unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Stephan Tremmel möchte klassische und aktuelle Fragestellungen verknüpfen und Antworten hierfür liefern. Dazu bietet er mit dem seit Jahren etablierten Bayreuther 3D-Konstrukteurstag eine bundesweit wohl einzigartige, neutrale Plattform zum Informationsaustausch und zur Informationsgewinnung für Ingenieurinnen und Ingenieure aus Industrie und Forschung an.

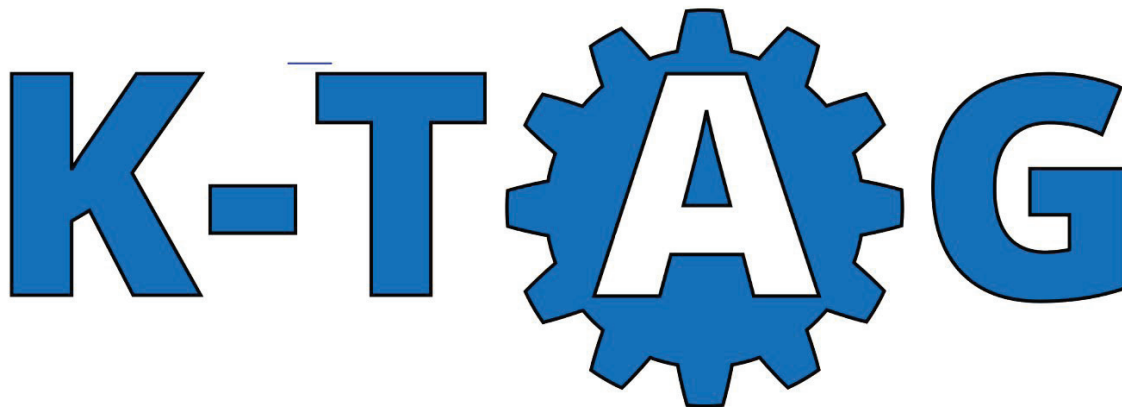
Im Vordergrund stehen dabei Themen der virtuellen Produktentwicklung, insbesondere CAD, Auslegung und Simulation sowie Optimierung und Additive Fertigung. Dabei stellt der Lehrstuhl für Konstruktionslehre auch seine Eigenentwicklungen vor. Diese Lösungen wenden sich sowohl an kleine und mittlere Unternehmen, finden jedoch auch in Behörden und großen Unternehmen ihren Einsatz.

Der 27. K-Tag findet am 16. September 2026 an der Universität Bayreuth statt und

DATUM/ZEIT/ORT:

27. Bayreuther 3D-Konstrukteurstag
16. September 2026, 8:00 bis 18:00 Uhr
FAN B Gebäude der Universität Bayreuth
Universitätsstraße 30, 95447 Bayreuth
KONTAKT:

Professor Dr.-Ing. Stephan Tremmel
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
Universität Bayreuth
TEL.: +49 (0) 921 / 55-7191
E-MAIL: konstruktionslehre.cad@uni-bayreuth.de



Auch dieses Jahr bietet der K Tag eine umfangreiche Fachausstellung, bei der die Möglichkeit besteht, sich über die neuesten Entwicklungen und Innovationen am Markt zu informieren und auszutauschen. Weiterhin gibt es neben der Fachausstellung ein spannendes und abwechslungsreiches Programm aus Anwendervorträgen, welche in drei parallelen Sessions mit unterschiedlichen Themenschwerpunkten stattfinden.

ist auch dieses Jahr für Besucher kostenfrei. Nähere Informationen sowie die Möglichkeit zur Anmeldung als Besucher, Aussteller oder Referent finden Sie unter www.konstrukteurstag.de.



WiGeP

Wissenschaftliche Gesellschaft
für Produktentwicklung

Mehr Innovationskraft durch Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft

Besuchen Sie die Website der WiGeP: 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 | 762 3471

E-Mail: lachmayer@ipeg.uni-hannover.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold-
Byhain (Sprecherin für Methoden & Pro-
zesse in der Produktentwicklung)

Institut für Maschinenelemente
und Maschinenkonstruktion
Technische Universität Dresden

George-Bähr-Straße 3c
01069 Dresden

Tel.: +49 (0) 351 | 463-33775

E-Mail: kristin.paetzold@tu-dresden.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 | 69-2471

E-Mail: 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 | 1621171

E-Mail: kirchner@pmd.tu-darmstadt.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard
(Sprecher des Vorstands und für Virtuelle
Produktentwicklung)

Lehrstuhl für Digital Engineering
Ruhr Universität Bochum

Universitätsstraße 150
44801 Bochum

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

E-Mail: detlef.gerhard@rub.de

Ordentliche Mitglieder:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Abramwici (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. Nikola Bursac (Technische Universität Hamburg), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Düser (Karlsruher Institut für Technologie), 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. Stephan Husung (Technische Universität Ilmenau), 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. Oliver Koch (RPTU Kaiserslautern-Landau), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Kreimeyer (Universität Stuttgart), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer (Leibniz Universität Hannover), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Liebich (Technische Universität Berlin), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Lohrengel (Technische Universität Clausthal), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Balazs Magyar (Universität Paderborn), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Mantwill (Helmut-Schmidt-Universität), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthies (Karlsruher Institut für Technologie (KIT)), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirik Meboldt (Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Iryna Mozgova (Universität Paderborn), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold-Byhain (Technische Universität Dresden), 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. Benjamin Schleich (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. Roman Teutsch (Technische Universität Kaiserslautern), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Tremmel (Universität Bayreuth), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Feldhusen (RWTH Aachen), Prof. em. Dr.-Ing. Hans-Joachim Franke (Technische Universität Braunschweig), Prof. Dr.-Ing. Thomas Victor (Technische Universität Braunschweig), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Wallaschek (Leibniz Universität Hannover), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen), Univ.-Prof. Dr. Markus Zimmermann (Technische Universität München)

Mitglieder im Ruhestand:

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl (Technische Universität Darmstadt), Prof. Dr.-Ing. Fatih Babalik (Uludağ Üniversitesi), Prof. Dr.-Ing. Bernd Bertsche (Universität Stuttgart), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lucienne Blessing, Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Paolo Ermanni (Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich), Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz (Universität Stuttgart), Prof. Dr. h. c. Dr. h. c. Dr.-Ing. 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 Ehrlenspiel, 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), Univ.-Prof. Dr. Athanasios Mihailidis (Aristotle University of Thessaloniki), Univ.-Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h.c. Jivka Ovtcharva (Karlsruher Institut für Technologie (KIT)), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Poll (Leibniz Universität Hannover), 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 Schorch (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), Univ.-Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Michael Weigand (Technische Universität Wien), Univ.-Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Klaus Zeman (Johannes Kepler Universität), Prof. Dr.-Ing. Detmar Zimmer (Universität Paderborn)

Industriekreise:

Dirk Adamczyk (ZF Friedrichshafen AG), Thomas Albrecht (KRONES AG), Dustin Schröder (Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V.), Alfred Katzenbach (Katzenbach Executive Consulting), Alfred Schreiber (C. & E. Fein GmbH), Alois Starlinger (Stadler Rheintal AG), André Bahl (DS Deutschland GmbH), Andreas Siebe (Zukunftsingenieur), Andreas Weber (Vestas Nacelles Deutschland GmbH), Bernd Pätzold (ProSTEP AG), Bernhard Eberl (Onshape by PTC), Burkhard Pinnekamp (RENN AG), Clemens Birk (TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG), Dirk Slama (Robert Bosch GmbH), Ehard Bock (Freudenberg FST GmbH), Emil Heyden (Vibracoustic SE), Frank Koch (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI), Frank Thielemann (UNITY AG), Franz Völkel (Schaeffler), Gerd Fricke (PEKU Folien GmbH), Gunnar Ebner (Capgemini Deutschland GmbH), Gunnar Gödecke (VULKAN Kupplungs- und Getriebebau Bernhard Hackforth GmbH & Co. KG), Gunnar Handing (RINGSPANN GmbH), 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)), Johannes Schulz (Brose), Johann Paul Stempler (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 (RSBG SE), Knut Tracht (Körber Technologies GmbH), Kristin Sittig (Volkswagen AG), Kurt Bengel (Cenit AG), Kurt Bengel (Cenit AG), Marc Kessler (Körber Technologies GmbH), Marcus Krastel (em engineering methods AG), Martin Stark (ms invcon Beteiligungs- und Beratungsgesellschaft mbH), Matthias Gatten (Baker Hughes, a GE Company), Michael Bitzer (Siemens Industry Software GmbH), Michael Grethler (EES GmbH), Michael Ketting (IBAF GmbH), Michael Kleinkes (Hella KGaA Hueck & Co.), Nicolas Gebhardt (thyssenkrupp Marine Systems GmbH), Niklas Halfmann (Diehl Aviation), Olaf Schadoffsky (HILTI Entwicklungsgesellschaft mbH), Ottmar Müller (VAT Vakuumventile AG), Patrick Müller (CONTACT Software GmbH), Peter Fietkau (Porsche AG), Peter Post (Festo AG & Co. KG), Peter Robl (Siemens AG), Ralf Hambrecht (Flender GmbH), Razvan Olosu (b1 Engineering Solutions GmbH & Co. KG), Richard Einstmann (Bechtle GmbH), Robert Fischer (AVL), Robert Plank (Horiba Europe GmbH), Robert Schulte (Volkswagen AG), Roland Gerhards (ZAL - Zentrum für angewandte Luftfahrtforschung GmbH), Rolf Döbereiner (AVL List GmbH), Rudolf Schubert (Continental AG), Sabine Muschik (Trumpf Werkzeugmaschinen), Sebastian Handschuh (Mercedes-Benz AG), 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), Stephan Arndt (XPLM Solution GmbH), Thomas Bertolini (Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG Antriebssysteme), Thomas Schneider (TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG), Tim Hosenfeldt (Schaeffler AG), Urban August (Siemens PLM Software)

Stand: Juni 2026

Internet: www.wigep.de

Auflage: 800 Exemplare

ISSN 1613-5504

Redaktion: Kevin Herrmann

Herausgeber: Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP e.V.

c/o Institut für Produktentwicklung und Gerätebau

An der Universität 1

30823 Garbsen

