



WiGeP

Wissenschaftliche Gesellschaft
für Produktentwicklung

NEWS

Mitteilungen der WiGeP
Ausgabe 1/2024

Nur Ingenieure können die Klimakrise lösen.

- Ulf Kletzin -

Leichtbau im Schienenverkehr trägt signifikant zur Ressourceneffizienz bei und entlastet gleichzeitig die Infrastruktur.

- Dieter Krause -

Die Rolle der Schieneninfrastruktur ist zentral für die Entwicklung zukünftiger Mobilitätskonzepte.

- Alois Stallinger -

Maschinenbau ist Schlüssel für die Systemarchitektur. System Engineering bildet deshalb eine unverzichtbare Kernkompetenz.

- Dietmar Göhlich -

Ein fundiertes Verständnis der Entwicklungsintelligenz ist essenziell, bevor wir diese Computern beibringen können.

-Kilian Gericke -

WiGeP Frühjahrstagung 2024 in St. Gallen

#vorzüglich

Vom 15. bis zum 17. Mai 2024 fand die diesjährige Frühjahrstagung der WiGeP in St. Gallen, Schweiz, statt. Ein herzlicher Dank geht an Prof. Paolo Ermanni und das Unternehmen Stadler in Vertretung durch Herrn Dr. Stalinger für die Einladung der Gesellschaft und die gelungene Veranstaltung.

Am Dienstag vor der eigentlichen Tagung hat Prof. Ermanni zu einer Abschiedsvorlesung an die EHT Zürich eingeladen, welche anschließend mit einem Empfang im Dozentenfoyer abgerundet wurde.

Zum offiziellen Start der WiGeP Frühjahrstagung 2024 wurde am Folgetag zu einem Get-together mit Abendessen geladen. In entspannter Atmosphäre konnten die Teilnehmenden erste Kontakte knüpfen und sich auf die kommenden Tage einstellen.

Der Donnerstag stand im Zeichen der Mitgliederversammlung und dem Kennenlernen der Stadler Rheintal AG. In der Mitgliederversammlung wurden neben den offiziellen Vereinspunkten auch Berichte aus Fach- und Arbeitsgruppen und den WiGeP-nahen Gesellschaften vorgetragen. Die Fachgruppensitzungen boten den Teilnehmenden die Gelegenheit sich in kleinen Gruppen intensiv mit fachspezifischen Themen auseinanderzusetzen. Nach den



Bild 2: Impulsvortrag bei der Stadler Rheintal AG

Fachgruppensitzungen wurde auch der WiGeP-Industriekreis bei der Stadler Rheintal AG mit einem Impulsvortrag begrüßt. Anschließend folgten eine Führung und Besichtigung des Werks, bei der ein spannender Einblick insbesondere in die Lackierung und Montage von Triebwagen und Wagons. Der Donnerstag endete mit einem Gala-Dinner. Bei bestem Essen, kurzweiligen Reden und netter Atmosphäre entwickelte sich ein reger Austausch zwischen der Wissenschaft und der Industrie, sodass der Abend als rundum gelungen wahrgenommen wurde.

Der letzte Tag der Tagung wurde dazu genutzt, das Thema „Nachhaltige Mobilität“ gemeinsam mit der Stadler Rheintal AG zu diskutieren. Dazu wurden drei Impulsvorträge zu den Themen Nachhaltigkeit und Leichtbau, Bauweisen und alternative Antriebe gehalten. In anschließenden Workshops wurde in Kleingruppen zu den Themen kontrovers diskutiert und Inhalte erarbeitet. Diese konnten anschließend in einer Podiumsdiskussion vorgestellt und durch die Expertinnen und Experten eingeordnet werden.



Bild 1: Gruppenbild



Bild 3: Herr Dr. Stalinger und Herr Prof. Krause bei der Übergabe des Gastgeschenks

Die Tagung schloss mit einem letzten gemeinsamen Abendessen in der Weinstube Bäumli in St.Gallen.

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

Für die WiGeP
Kevin Herrmann, M. Eng.

Den Transfer von Entwicklungsmethoden in die Unternehmenspraxis durch Kooperation gestalten

Kooperationsprojekt „Fast Track 2 New Heater Concept“ mit der Eberspächer catem GmbH & Co. KG

AUSGANGSSITUATION

Eberspächer entwickelt und produziert unter anderem elektrische Heizer zur Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums und Konditionierung der Fahrzeugbatterie von BEVs, PHEVs und FCEVs. Unternehmen in diesem Bereich begegnen aktuell mannigfaltige Herausforderungen insbesondere hinsichtlich unterschiedlicher Systemarchitekturen für das Thermomanagement von Fahrzeugen und konkurrierender Technologien.

neue Heizer-Konzepte und testbare Prototypen entwickelt werden. Dazu sollten Prozesse, Methoden und Tools aus der Forschung in das Unternehmen transferiert und Kompetenzen für methodisches, agiles Entwickeln aufgebaut werden.

Seit über 25 Jahren bietet das IPEK das Live-Lab IP – Integrierte Produktentwicklung an, in dem Studierenden-Teams für eine Aufgabenstellung aus der Unternehmenspraxis neue Konzepte und Prototypen entwickeln und dabei durch Methoden-

strukturierende Prozessmodule ausgewählt. Der Entwicklungsprozess wurde durch einen Innovationsworkshop und vier Sprints strukturiert (siehe Bild 2).

Zwei unabhängige, selbstverantwortliche Vollzeit-Entwicklungsteams mit jeweils sechs Mitarbeitenden bearbeiteten die Aufgabenstellung und wurden dabei durch ein cross-funktionales Team von Eberspächer und jeweils einem IPEK-Methodencoach unterstützt. In den Sprints wurden Sprint-Ziele und Aktivitäten vorgegeben und durch Workshops mit zusätzlichen Expertinnen und Experten durch geeignete Entwicklungsmethoden unterstützt. So wurde beispielsweise im Sprint die Konzipierung der C&C²-Ansatz zur Modellierung von Gestalt-Funktion-Zusammenhängen geschult und im weiteren Projektverlauf durch die Teams adaptiert und angewendet.

Zu Beginn jedes Sprints legten die Teams in einem moderierten Planning Event Sub-Ziele fest und definierten zur Durchführung der Aktivitäten Aufgaben und Verantwortlichkeiten im Sprint-Backlog. Der aktuelle Projektstand wurde durch tägliche Abstimmungen innerhalb der Entwicklungsteams (Daily Scrum Meetings) und in unregelmäßigen Abständen teamübergreifend besprochen.

Zum Ende jedes Sprints fand ein Review Event statt, in dem die Teams ihre Zwischenergebnisse präsentierten und vom Product Owner und den anderen Projektbeteiligten Feedback erhielten. Innerhalb

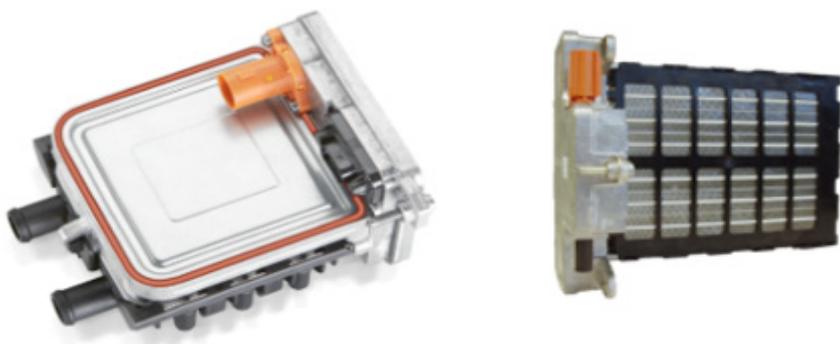


Bild 1: HV PTC Coolant Heizer (links) & HV PTC Luftheizer (rechts)

Coaches begleitet und in Vorlesungen und Workshops Methodenkompetenz vermittelt bekommen.

Dieser Ansatz wurde in einem Kooperationsprojekt mit dem IPEK und Eberspächer in die industrielle Praxis übertragen: Nach dem ASD - Agile Systems Design [1] wurden zur Zielstellung passende agile und

MIT AGILITÄT UND METHODIK IN SECHS WOCHEN ZUM PROTOTYP

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sollten innerhalb von sechs Wochen



Bild 2: Entwicklungsprozess zum „Fast Track 2 New Heater Concept“ bei Eberspächer

der Entwicklungsteams wurde nach dem Review eine Retrospektive durchgeführt, um die Zusammenarbeit zu verbessern. Das Projekt wurde um zwei Wochen verlängert, um Lieferzeiten für die Erstellung von Prototypen und die Testläufe zu berücksichtigen.

ERGEBNISSE UND ERKENNTNISSE

Beide Entwicklungsteams erarbeiteten Heizer-Konzepte, die sich untereinander und zur Vorgängergeneration klar differenzierten und in allen Entwicklungszielen ein besseres Ergebnis im Benchmark zur Vorgängergeneration erreichten.

Die Begleitforschung (Online-Umfrage, teilnehmende Beobachtung, Dokumentenanalyse) zeigte, dass die Methoden, Prozesse und Tools, die geschult und angewendet

wurden, einen hohen bis sehr hohen Einfluss auf den Kompetenzerwerb und die Zielerreichung hatten. Zentrale Erfolgsfaktoren waren zudem die bei Eberspächer geschaffene Entwicklungsumgebung mit Prototyping- und Testing-Möglichkeiten vor Ort, Teambüros und die hohe Motivation der vollständig für das Projekt verfügbaren Entwicklungsteams, die sich trotz des Wettbewerbs um die beste Lösung stets im Austausch befanden.

LITERATUR

[1] Albers, A., Heimicke, J., Spadinger, M., Reiss, N., et al. (2019). A systematic approach to situation-adequate mechatronic system development by ASD-Agile Systems Design. *Procedia CIRP*, 84, 1015-1022.

AUTOREN

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

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Düser

Monika Klippert, M. Sc.

Felix Pfaff, M.Sc.

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

Dr. Karsten Bolz

Andreas Klingebiel

Eberspächer catem GmbH & Co. KG

WEA-RiWa - Prognose der Ringwanderneigung von Wälzlagern in Windenergieanlagen

Entwicklung einer validierten Simulationemethodik zur ringwandensicheren Auslegung des Planetenträgerlagers im Getriebe von Windenergieanlagen

Die Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien erfordert stetige Weiterentwicklungen der dafür nötigen Technologien, um möglichst wirtschaftlich und kompetitiv im Vergleich zu konventionellen Energieträgern zu sein. Nur so werden Anreize für den Ausbau der erneuerbaren Energieanlagen für die Wirtschaft geschaffen, die über den politischen Rahmen hinaus gehen. Die Stromproduktion aus Windenergie trägt bereits heute den größten Anteil an Deutschlands Strommix [1]. Die Wirtschaftlichkeit einer Windenergieanlage (WEA) wird in der Regel anhand der Stromgestehungskosten bewertet. Einer der Treiber der Stromgestehungskosten sind Betriebs- und Wartungs- bzw. Instandsetzungskosten (ca. 30 % [2]). Folglich kann die Wirtschaftlichkeit der WEA erheblich gesteigert werden, wenn die kostenintensiven Instandsetzungsmaßnahmen infolge von Komponentenausfällen reduziert werden.

RINGWANDERN ALS URSACHE FÜR SCHÄDEN AN WEA-WÄLZLAGERN

Der Ausfall eines Wälzlagers im WEA-Triebstrang ist aufgrund der aufwendigen und kostenintensiven Instandsetzung sowie dem durch den Anlagenstillstand bedingten Ertragsausfall besonders kritisch [3]. Eine Ursache für Schäden an Wälzlagern in WEA-Triebsträngen ist das sogenannte Ringwandern [4]. Ringwandern kann Wellenversatz sowie Passungsrost, bis hin zum Ringbruch, zur Folge haben und führt häufig zum Lagerausfall [5]. Anfällig für Schäden durch Ringwandern sind zum Beispiel das Planetenträgerlager (PTL) und die als Hauptlager bezeichnete Lagerung der Rotorwelle.

Beim Ringwandern führt der Lagerring eine tangentielle Relativbewegung zum Passungsitz aus. Sowohl der Innenring als auch der Außenring können betroffen sein. Die Wanderbewegung entsteht infolge von Schlupfzonen, in denen der Reibschluss in der Passung aufgrund der wirkenden Kräfte überwunden wird. Die Schlupfzonen treten lokal am Lagerumfang auf und können sich

axial über die gesamte Lagerbreite erstrecken. Beim Überrollen der Schlupfzone durch einen Wälzkörper, kommt es zu einer Wanderbewegung des Lagerrings, die Mikroschlupf genannt wird. Mit jeder Rotation wird der Mikroschlupf zu einer makroskopisch messbaren Wanderbewegung aufsummiert. Die Wanderbewegung kann wälzkörper- oder strukturinduziert sein: Beim wälzkörperinduzierten Wandern entstehen die Schlupfzonen durch eine Stauchung des Lagerrings zwischen zwei benachbarten belasteten Wälzkörpern. Dadurch wird eine raupenförmige Bewegung des Lagerrings erzeugt (Bild 1).

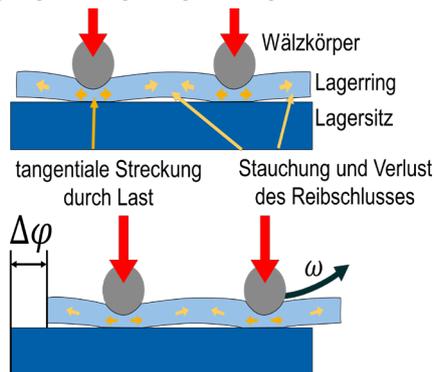


Bild 1: Raupenförmige Wanderbewegung eines Lagerrings aufgrund des wälzkörperinduzierten Wanderns

Strukturinduziertes Wandern wird von der Belastung des Fügepartners des Lagerrings (Welle bzw. Gehäuse) dominiert. Der strukturinduzierte Wandermechanismus wird bei Innenringen häufig durch eine Durchbiegung der Welle hervorgerufen. Bei Außenringen führen externe Belastungen zu einer Deformation des Gehäuses, wodurch der Lagerring partiell den Kontakt zu seinem Fügepartner verliert (Bild 2).

In diesen Schlupfzonen sind geringere Grenzschubspannungen nötig, um eine Wanderbewegung auszulösen. Die Auftretenswahrscheinlichkeit von Ringwandern wird als Wanderneigung bezeichnet. Derzeit existiert keine validierte Methodik zur Abschätzung der Wanderneigung für PTL

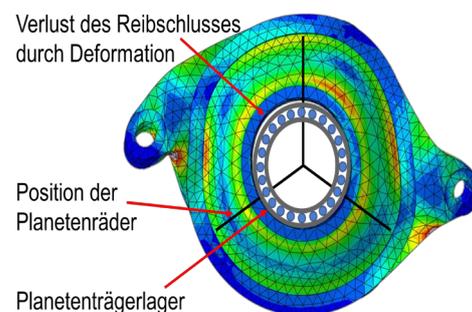


Bild 2: Lokaler Verlust des Reibchlusses in der Passungsfuge durch Deformation des Getriebegehäuses beim PTL

und Hauptlager, weshalb Ringwandern in der Entwicklung von WEA-Triebsträngen bisher nicht ausreichend berücksichtigt wird.

Mit WEA-RiWa wurde am CWD und Fraunhofer IWES ein öffentlich gefördertes Forschungsprojekt ins Leben gerufen, das die Wandermechanismen am Hauptlager und PTL von WEA untersucht. Im Fokus der Arbeiten am CWD steht die simulative und experimentelle Abbildung der Wandermechanismen am PTL, während am IWES die Hauptlagerung untersucht wird.

HISTORIE DER RINGWANDER-UNTERSUCHUNGEN AM CWD

Ringwandern in WEA-Planetenträgerlagern wurde am CWD im Rahmen der Projekte PlaBeD und WEA-GeR simulativ und experimentell untersucht. Im Projekt PlaBeD wurde zur experimentellen Untersuchung von Ringwandern an Planetenträgern ein 3-Wellen-Prüfstand entwickelt, um die Belastung eines WEA-Planetenträgers realistisch abzubilden und dadurch Ringwandern zu provozieren. Auf Basis der Messergebnisse konnten Empfehlungen zur Auslegung gegen Ringwandern von Planetenträgerlagern in WEA-Getrieben abgeleitet werden [6].

In WEA-GeR konnte das Auftreten von Ringwandern in einem WEA-Triebstrang gemessen werden. Neben den Untersuchungen zum Planetenträgerlager wurden auch erste simulative Untersuchungen zum

PTL durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Erkenntnisse zum Ringwandler des Planetenradlagers nicht vollständig auf das PTL übertragbar sind. Von besonderer Bedeutung sind die Belastungen am Lageraußenring sowie am Gehäuse, die zu strukturinduziertem Wandern führen [7].

ERWEITERUNG DES RINGWANDER-KNOW-HOWS DURCH UNTERSUCHUNGEN AM PTL

Im ersten Schritt des neuen Projektes WEA-RiWa werden die Lastverteilungen, die in WEA-GeR simuliert wurden [7], während einer Messkampagne mit dem gesamten WEA-Triebstrang auf dem 4MW-Systemprüfstand des CWDs validiert. Die validierten Lastverteilungen dienen als Ausgangslage, um ein generisches FE-Modell zur Abbildung von Ringwandern am PTL zu erstellen. Mithilfe des FE-Modells können Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, um den Einfluss verschiedener Design- und Betriebsparameter auf die Ringwanderneigung systematisch zu untersuchen. Zudem wird in WEA-RiWa zur Validierung des FE-Modells für weitere Lastfälle und Lagergrößen ein neuartiger Wälzlagerprüfstand entwickelt. Der Prüfstand bildet den speziellen Lastfall am PTL ab und kann neben der Validierung von Wanderkräften und -geschwindigkeiten auch zur Bestimmung von Eingangsparametern des FE-Modells verwendet werden. Ein Eingangsparameter, der besonders im Fokus steht, ist der Reibkoeffizient, da er einen direkten Einfluss auf die Wanderneigung hat und mit Literaturwerten nur unzureichend abgeschätzt werden kann. Die kombinierte Verwendung von FE-Modellen und Prüfstand ermöglicht eine quantifizierte Bestimmung der Ringwanderneigung des PTLs und kann so zur Ableitung einer Auslegungsvorschrift hinsichtlich Ringwandern beitragen.

NEUARTIGER PRÜFSTAND ZUR VALIDIERUNG DES FE-MODELLS

Das Konzept des neuen Prüfstandes zeichnet sich dadurch aus, dass die Verformungen der Passungsfuge des PTLs im Getriebegehäuse in Abhängigkeit des Lastfalles experimentell abgebildet werden. Am Prüfstand können die Einflüsse verschiedener Lastfälle, Geometrien, Materialien und Fertigungsverfahren auf die Deformation der Passungsfuge und die damit verbundene Ringwanderneigung untersucht werden. Im Forschungsinteresse steht beispielsweise

die Anzahl der Planetenräder, die aufgrund des mehrfachen Zahneingriffs am Hohlrad des Planetengetriebes eine komplexe Belastung über den gesamten Umfang des vorgespannten PTLs zur Folge haben [7]. Die dynamische Lagerlast wird auf dem speziell entwickelten Prüfstand durch zwölf über den Umfang verteilte Linearaktoren

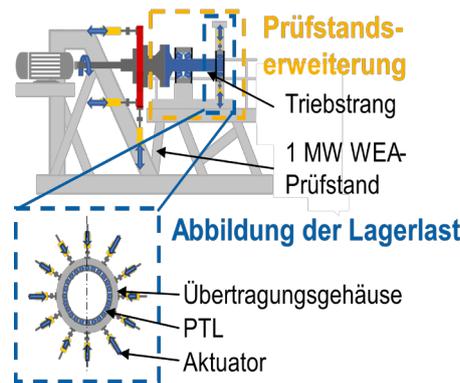


Bild 2: Lokaler Verlust des Reibschlusses in der Passungsfuge durch Deformation des Getriebegehäuses beim PTL

nachgebildet, die ein abstrahiertes Übertragungsgehäuse verspannen (Bild 3).

Bei gegebenen Lagerlasten kann auf dem Prüfstand die gleiche Deformation am Übertragungsgehäuse erzeugt werden, wie sie am Realgetriebe vorliegt. Des Weiteren können durch einfache Modifikationen des Prüfstandes Untersuchungen zum Reibkoeffizienten, zur Skalierung der Lager und zu konstruktiven Maßnahmen gegen das Ringwandern am Realsystem durchgeführt werden.

WEA-RiWa ZUR PROGNOSE DER RINGWANDERNEIGUNG

Das übergeordnete Projektziel stellt die validierte Simulationemethode zur Bestimmung der Ringwanderneigung in Abhängigkeit des Betriebszustandes, der Lagerkenngrößen und der Eigenschaften des Lagersitzes dar. Kernelement der Methode ist ein generisches FE-Modell, das (teil-)automatisiert für verschiedene Randbedingungen aufgebaut wird. Mit dem generischen FE-Modell können Sensitivitätsanalysen durchgeführt und die Ringwanderneigung kann in Abhängigkeit der Modelinputparameter quantifiziert werden, um kritische Parameterbereiche hinsichtlich des Ringwanderns zu identifizieren. Daher kann das generi-

sche FE-Modell im Auslegungsprozess für PTL verwendet werden, um gezielt Maßnahmen gegen das Ringwandern abzuleiten (z.B. Wandersperren oder eine Erhöhung des Reibwerts) und deren Erfolgsaussichten zu beurteilen.

LITERATUR

- [1] Statistisches Bundesamt (2024) Bruttostromerzeugung 2023. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/_Grafik/_Interaktiv/bruttostromerzeugung-erneuerbare-energien.html. Zugegriffen: 23. März 2024
- [2] Tyler Stehly PD 2021 Cost of Wind Energy Review
- [3] Shuangwen (Shawn) Sheng: NREL Report on Wind Turbine Subsystem Reliability - A Survey of Various Databases (Presentation), NREL (National Renewable Energy Laboratory)
- [4] Maiwald A (2019) Special creeping movements of drive train components in wind power gearboxes Conference for Wind Power Drives, CWD 2019: Aachen: conference proceedings, Norderstedt
- [5] Billenstein D, Neidnicht M, Becker D, Liewen C, Rollmann J, Lüneburg B (2023) Advanced, numerical simulation of the bearing ring creeping failure mode and comparison with experimental test results for rotor main bearing applications Conference for Wind Power Drives 2023
- [6] Schlüter F Ringwandern in Planetenradlagern von Windenergieanlagen
- [7] Gnauert J (2020) Investigation of the load distribution on a planetary carrier bearing of a wind turbine gearbox to identify trigger for ring creep. Bearing World - International Conference

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs
Malte Raddatz, M.Sc.
Pascal Bußkamp, M.Sc.
Thomas Decker, M.Sc.
Julian Röder, M.Sc.
CWD - Chair for Wind Power Drives
RWTH Aachen University#

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

CREXDATA – Extreme Daten nutzbar machen

Lagedarstellung, Maßnahmenplanung und Entscheidungsunterstützung auf extremen, unsicheren Daten

Extrêmes Wetter – extreme Lage – extreme Daten: Extremwetterlagen sind zwar anhand von stetig verbesserten Wettervorhersagen antizipierbar, tatsächliche Auswirkungen lassen sich trotzdem nur schwer abschätzen. Auch bei vorausschauender Einsatzplanung stehen Entscheidungsträger vor der Herausforderung, ein aktuelles Lagebild aus globalen Wetterdaten und der lokalen Lageerkundung zu formen – und darauf basierend den Einsatz der begrenzten Einsatzkräfte zu priorisieren. Die Wirkung von vorbeugenden und vorbereitenden Maßnahmen müssen Hand in Hand mit abwehrenden Maßnahmen laufen, um Kommunen besser auf solche Lagen vorzubereiten und ihre Resilienz in Bezug auf den Klimawandel zu stärken.

ZIELSETZUNG DES PROJEKTS

Das EU-Projekt CREXDATA liefert Erkenntnisse zu neuartigen Technologien der Künstlichen Intelligenz – Beispiele sind Complex Event Forecasting, Federated Machine Learning, Interactive Learning und Visual Analytics. Damit sollen Entscheidungen in kritischen Situationen unterstützt werden, wie sie unter anderem bei Extremwetterereignissen entstehen. Die Basis liefert das Informationssystem ARGOS aus dem EU-Projekt ANYWHERE, das Wetterdaten und -vorhersagen sowie Auswirkungsanalysen bereits umsetzt und von Katastrophenschutzbehörden, Kommunen und Unternehmen in Spanien und Irland operativ eingesetzt wird. Technologien reichen dabei von der Datenauswertung z.B. von Rettungsrobotern bis zu einer „erklärenden“ Schicht (Explainable AI/ XAI). Diese kann im Führungsstab auf der Lagekarte eingeblendet, oder im Feld mittels Augmented Reality

sichtbar gemacht werden.

FORSCHUNGSFRAGEN

Die übergeordneten Forschungsfragen zielen im Projekt darauf ab, welchen Einfluss Unsicherheiten in extremen Daten auf die Entscheidungsfindung haben. Für das Beispiel von Gefahrenabwehr und Katastrophenschutz bedeutet das: Müssen Informationen, die mittels Algorithmen der Künstlichen Intelligenz generiert wurden, anders als diejenigen aus der klassischen Lageerkundung und -beurteilung visualisiert werden? Macht es einen Unterschied, ob die Unsicherheit von Informationen auf Algorithmen oder Zeugen vor Ort beruht? Welchen Einfluss hat es auf die Maßnahmenplanung und Entscheidungsfindung, aus welchem Algorithmus eine Handlungsempfehlung resultiert?

METHODISCHES DESIGN

CREXDATA entwickelt innovative Ansätze zur effizienten Nutzung lokaler und globaler Datenquellen, einschließlich Satelliten-, Sensor- und Wetterdaten, um komplexe Ereignisse wie Naturkatastrophen besser verstehen und darauf reagieren zu können. Das Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung von Algorithmen zur Datenerfassung, -verarbeitung und -visualisierung mit Fokus auf die Erklärbarkeit der Ergebnisse. Im Verbund von insgesamt 15 Partnern führt das System Technologien zu einem „Prediction-as-a-Service“-System zusammen. Besonders der Umgang mit Extremwetterereignissen steht im Fokus des Lehrstuhls für Produktentstehung an der Universität Paderborn, die mit der Feuerwehr Dortmund, des Deutschen Rettungsrobotik Zentrums, des Disaster Competence Net-

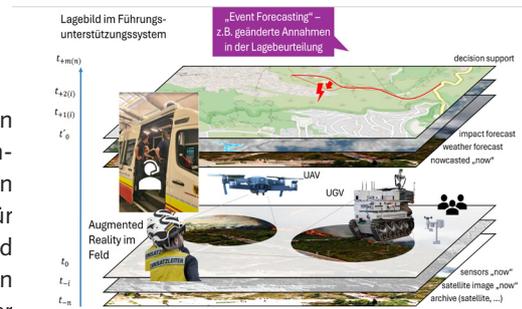


Bild 2: Prüfstand zur Datenerhebung auf Teilsystemebene [1].

works Austria und dem Innenministerium in Finnland im Fallbeispiel der Entscheidungsunterstützung in Extremwetterlagen kooperiert. Das System wird darüber hinaus an den Fallbeispielen Kollisionsvermeidung auf hoher See und der Eindämmung von Infektionsgeschehen in Pandemien erprobt.

ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Initiale Evaluationen von Systemkomponenten mit Anwendern werden im Juni 2024 durchgeführt. Dabei werden reproduzierbare Testszenarien konzipiert und erprobt. Beispiele sind die Kontrolle der Wasserwirtschaft im urbanen Raum, Räumungsmaßnahmen, die Erkennung von Gebäudeöffnungen und die Visualisierung der schnellsten Routen.

AUTOREN

- Univ. Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler
- Dr.-Ing. Jens Pottebaum
- Deniz Özcan, M. Sc.
- Marcel Ebel, M. Sc.
- Heinz Nixdorf Institut
- Lehrstuhl für Produktentstehung
- Universität Paderborn



Bild 2: Workshop zur Verbreiterung der im Projekt erreichten Schlüsselergebnisse in Barcelona

Lastpfadoptimierung von Sandwichstrukturen

Neuartige Gestaltungsansätze zur Verbesserung der lokalen Lasteinleitung

MOTIVATION

Sandwichmaterialien werden aufgrund ihrer hervorragenden gewichtsspezifischen mechanischen Eigenschaften häufig im Leichtbau eingesetzt. Beispielsweise sind sie in der Flugzeugkabine weit verbreitet und werden u.a. für Seitenwände oder Gepäckfächer und Monumente, wie Galleys oder Lavatories, genutzt. Häufig wird dabei ein Aramidwabenkern verwendet, der zwischen zwei dünnen, mit Phenolharz imprägnierten, Glasfaser-Prepregs als Deckschichten verpresst wird.

Metallische Inserts oder Hartgewebeblöcke werden zur lokalen Lasteinleitung in die Sandwichpaneele eingeklebt, um die Übertragung der Lasten durch den schwachen Kern in die Deckschichten zu gewährleisten. Derzeit wird die Übertragung hoher Lasten durch eine Vergrößerung des Durchmessers des Lasteinleitungselementes erreicht. Diese Gestaltung führt zu einem lokalen Steifigkeitssprung am Übergang zwischen dem Kern und dem Insert und zu einer Überdimensionierung. Durch ein lastpfadoptimiertes Design kann eine Gewichtsreduzierung erreicht werden.

LÖSUNGSANSÄTZE

Je nach Art und Ort des Versagens können unterschiedliche Konstituenten und verschiedene Möglichkeiten zur Designoptimierung von Sandwichstrukturen in Betracht gezogen werden, die über einfache Materialanpassungen oder Parameteroptimierung der globalen Sandwichstruktur hinausgehen. In Bild 1 sind beispielhaft verschiedene Gestaltungskonzepte für eine

Sandwichstruktur mit einem Lasteinleitungspunkt dargestellt [1]:

- (1.) Formoptimierung der eingebrachten Kernfüllmasse oder Pottingmasse für die Verklebung im Wabenkern.
- (2.) Formoptimierung von größeren Einsätzen für unterschiedliche Kernarten.
- (3.) Topologieoptimierung von größeren Einsätzen für unterschiedliche Kernarten.
- (4.) Direkte lastpfadoptimierte Integration in additiv gefertigten Sandwichstrukturen.
- (5.) Verstärkung der Deckschichten durch lokales Aufdicken der Schichten.
- (6.) Kombination von Konzepten, wie beispielsweise eine gleichzeitige Optimierung im Kern und an der Deckschicht.

ERGEBNISSE

In verschiedenen Untersuchungen wurde das Potential der einzelnen Gestaltungskonzepte aufgezeigt. Durch die direkte lastpfadoptimierte Integration in einen Sandwichkern, der im Stereolithographie-Verfahren additiv aus Kunstharz gefertigt und mit Aluminiumdeckschichten verklebt ist, können durch das lastpfadoptimierte Design 120% höhere Kräfte im Pull-Out-Test übertragen werden, verglichen mit einem kreisrunden Referenzdesign [2].

Für die aktuell eingesetzten Materialien in der Flugzeugkabine wurde zunächst das Vorgehen einer modifizierten Topologieoptimierung zur Ableitung eines fertigmachen Designs für den Wabenkern entwickelt. Die Versuche an den automatisch gefrästen Sandwichproben zeigen, dass allein

durch die optimierte Form der eingebrachten Pottingmasse eine Erhöhung der übertragbaren Kräfte um über 20% bei gleicher Masse erreicht werden kann [3].

AUSBLICK

Zur Übertragung auf größere Sandwichstrukturen kann der Übergang von den generischen Randbedingungen aus den Komponententests auf produktspezifische Randbedingungen durch die Verwendung geeigneter Testaufbauten ermöglicht werden. Zusätzlich kann die Gestaltungsfindung durch virtuelle Testmodelle unterstützt werden, wobei das virtuelle Testen großflächiger Sandwichstrukturen im konventionellen Design selbst Gegenstand aktueller Forschung ist. Durch diese Kombination von physischen und virtuellen Testmethoden kann eine effizientere und genauere Optimierung von Sandwichstrukturen erreicht werden.

LITERATUR

- [1] Schwenke, J.; Schwan, L.; Hanna, M.; Krause, D.: Ansatz zur lastpfadoptimierten Gestaltung von Sandwichstrukturen mithilfe virtueller Tests und realitätsnahen Testaufbauten, Proceedings of the 33rd Symposium Design for X (DFX2022), Hamburg, Germany, 22-23 September 2022, <https://doi.org/10.35199/dfx2022.05>
- [2] Schwenke, J.; Krause, D.: Optimization of load introduction points in sandwich structures with additively manufactured cores, Design Science, Vol. 6, E13, <https://doi.org/10.1017/dsj.2020.10>
- [3] Schellhorn, J.; Schwan, L.; Krause, D.: Optimization of the potting design using an approach for load path optimized designs of sandwich structures, Proceedings of the Design Society, 2024;4:3013-3022, <https://doi.org/10.1017/pds.2024.305>

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause
Johann Schellhorn (geb. Schwenke), M.Sc.
Lukas Schwan, M.Sc.
Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT)
Technische Universität Hamburg (TUHH)

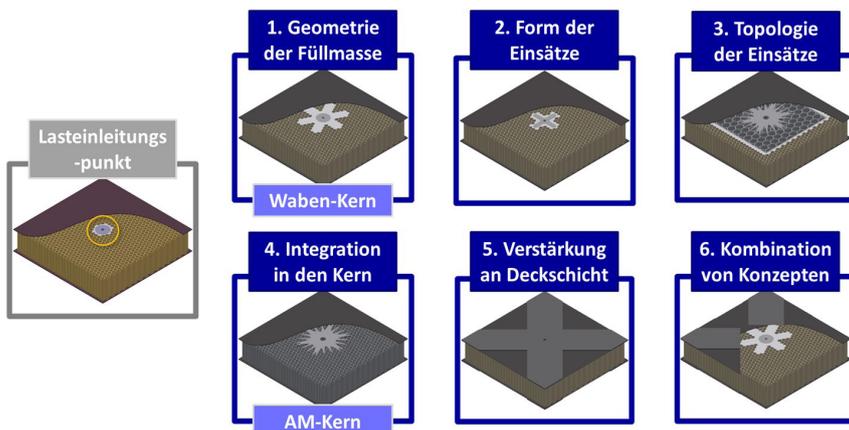


Bild 1: Übersicht über verschiedene Gestaltungskonzepte für einen Lasteinleitungspunkt [1].

Automatisierte Identifikation von Bauteilen für die Additive Fertigung

Software zur Identifikation potenzieller High-Temperature Laser Powder Bed Fusion (h-PBF-LB/M) und Wire-Arc-Additive Manufacturing (DED-ARC/M) Komponenten

Das Forschungsprojekt Nachhaltige Additive Fertigung für Hochtemperaturanwendungen (HTA 2.0) - Phase II ist ein Forschungsvorhaben im Rahmen des Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science. Ziel des Forschungsprojektes ist es die Additive Fertigung für die Produktion von metallischen Bauteilen oder Bauteilgruppen aus Hochleistungswerkstoffen für zukünftige flexible Gasturbinen nutzbar zu machen und diese nachhaltig zu produzieren. Innerhalb des Forschungsprojekts wird am Fachgebiet Industrielle Informationstechnik an der TU Berlin ein Softwareprototyp zur automatisierten Identifikation von Bauteilen für die Additive Fertigung entwickelt. Dies geschieht in Kooperation mit Projektpartnern sowohl von Forschungs- und Entwicklungsinstituten (Brandenburgische Technische Universität, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, TU Berlin Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik) als auch aus der Industrie (Siemens Energy Global GmbH und Co. KG, 3YOURMIND GmbH).

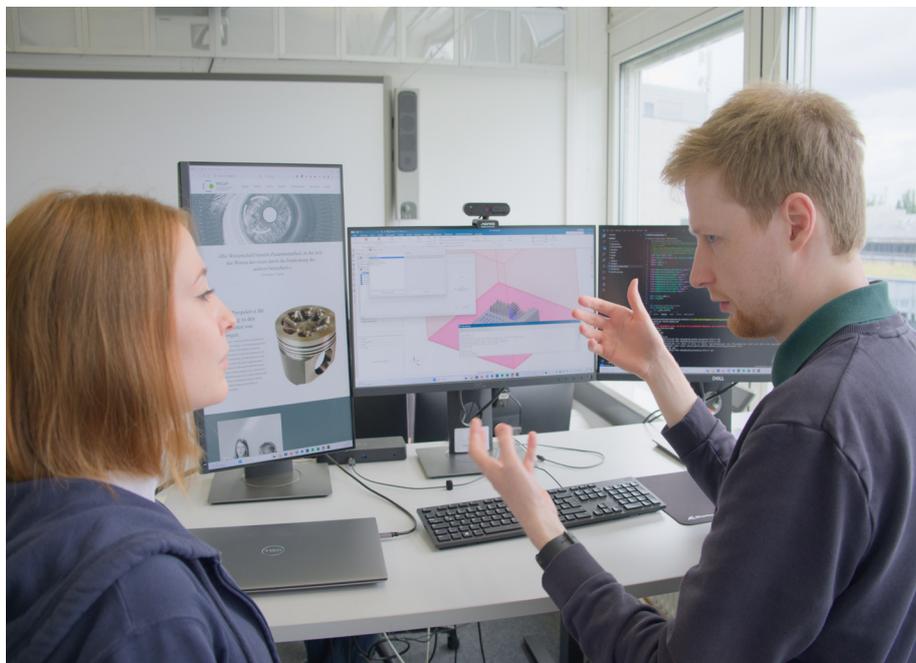


Bild 1: Team am Fachgebiet Industrielle Informationstechnik bei der Arbeit am Projekt

HINTERGRUND

Die Additive Fertigung bietet durch den schichtweisen Aufbau von Bauteilen größere konstruktive Freiheiten im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren

[1]. Somit können Potenziale wie Leichtbau oder Funktionsintegration umgesetzt werden, die zu den globalen Zielen einer nachhaltigeren Fertigung, höherer Kosteneffizienz sowie einer Ressourcenschonung

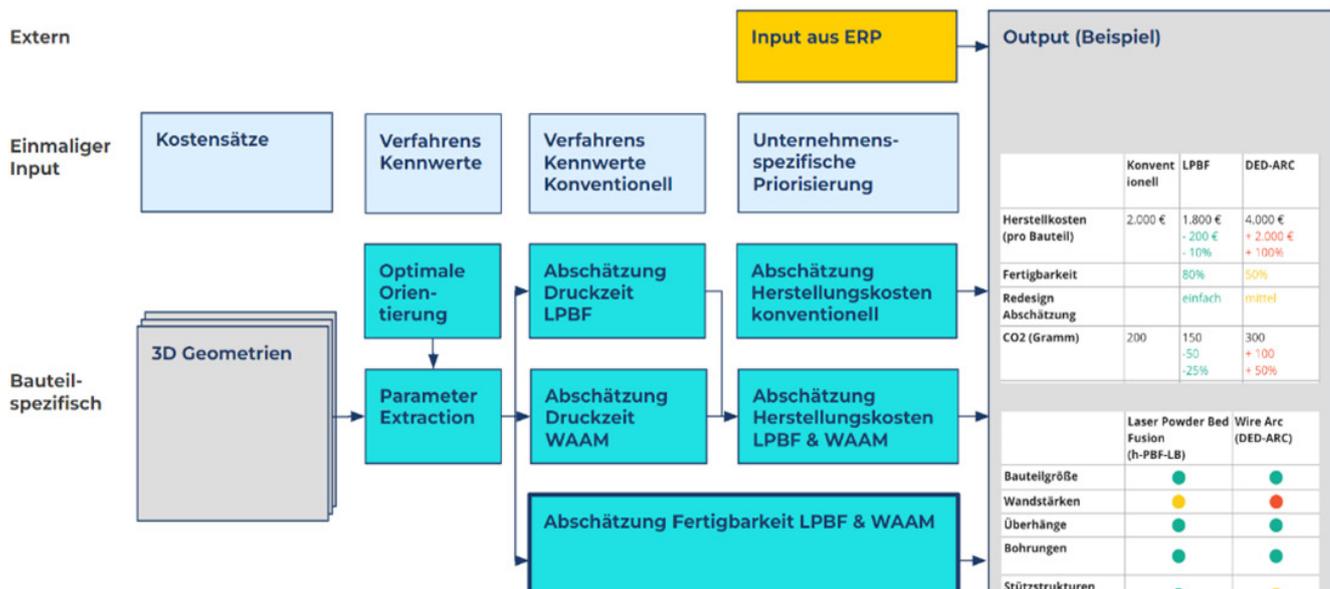


Bild 2: Datenfluss Bauteilidentifikation (vereinfachte Darstellung)

nung beitragen.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass nicht alle Bauteile problemlos additiv gefertigt werden können. Zudem ist die Additive Fertigung nicht für jedes Bauteil, das additiv hergestellt werden kann, das kosteneffizienteste und zeitsparendste Verfahren zur Bauteilherstellung.

Die Verfahren der Additiven Fertigung unterliegen bestimmten Restriktionen, auf denen sich das Design for Additive Manufacturing (DfAM) für die Bauteile gründet. DfAM ist ein Ansatz, der speziell darauf abzielt, Bauteile so zu gestalten, dass sie optimal für die Additive Fertigung geeignet sind. Dabei werden die einzigartigen Möglichkeiten (bspw. Komplexe Geometrien, Topologie-Optimierung, Integration von Hohlräumen und Kanälen, etc.) und Herausforderungen (Oberflächenqualität, Stützstrukturen, Materialauswahl) der Additiven Fertigung berücksichtigt.

Angesichts der hohen Komplexität (Wissen und oft auch Bauteile) ist eine manuelle Analyse sehr aufwändig und nicht immer praxistauglich. Infolgedessen wird hierfür an einer Software zur Unterstützung gearbeitet. Diese stellt Produktionswissen zur Verfügung gestellt, um mehr potenzielle Additive Fertigungskomponenten für die industrielle Additive Fertigung zu identifizieren und zu qualifizieren.

Der bisherige Softwareprototyp stützt sich auf einen Konstruktionskatalog, der vom Fachgebiet MPM der TU Berlin im Rahmen des Projekts entwickelt wurde. Der Konstruktionskatalog beinhaltet Richtlinien für die Konstruktion von Bauteilen für die in diesem Projekt relevanten Verfahren Laser Powder Bed Fusions (h-PBF-LB/M) und Wire-Arc (DED-ARC/M). Auf Grundlage dessen können nun Bauteile analysiert und eine Aussage über deren Fertigbarkeit getroffen werden.

AKTUELLER STAND DER ENTWICKLUNG

Im ersten Schritt wurde die Softwarearchitektur konzipiert und die erforderlichen Softwarefunktionen definiert (siehe Bild 2).

Darüber hinaus wurden bereits erste Algorithmen implementiert (in blaugrün dargestellt). Als Input benötigt die Software 3D-Bauteilgeometrien (links unten im Bild) in Form von STEP- oder STL-Dateien. Dem System werden unternehmensspezifische Daten wie bspw. Kostensätze,

Stückzahl, usw. über eine ERP-Schnittstelle (orange dargestellt) übergeben. Anhand der Kostensätze, der Verfahrenskennwerte sowie einer Zeitabschätzung für Druck und Nachbearbeitung können die Herstellungskosten der einzelnen Verfahren bestimmten werden.

Aus der Geometrie werden verschiedene Parameter (Bauteilgröße, Wandstärke, Bohrungen, etc.) extrahiert (siehe „Parameter Extraction“) und anschließend mehrere Bauteil-Prüfungen durchgeführt. Mittels der Prüfungen wie beispielsweise der Prüfung „Passt das Bauteil in den Bauraum“ kann die Fertigbarkeit des Bauteils abgeschätzt werden.

Es wurde ein Experteninterview mit AM Spezialist*innen geführt, um eine Gewichtung der einzelnen Prüfungen vorzunehmen. Für jede Prüfung wird ein Einzel-Score vergeben, der schließlich zu einem Score für die Fertigbarkeit führt.

Als Endergebnis erhalten Anwender*innen eine tabellarische Übersicht, die einen Vergleich der einzelnen Verfahren (PBF-LB/M, DED-Arc/M und konventionell) darlegt. Dabei werden sowohl restriktive Faktoren wie Fertigbarkeit, Anpassungsaufwand und Bauteilkomplexität als auch opportunistische Faktoren wie Herstellungskosten, Produktionszeit und CO₂-Verbrauch berücksichtigt.

AUSBLICK

Zukünftig werden die benötigten Schnittstellen implementiert, weitere Algorithmen entwickelt sowie Softwarefunktionen bezüglich der „Parameter Extraction“ und Abschätzung der Fertigbarkeit von Projektpartnern in den Gesamtkontext eingebunden. Dazu zählen beispielsweise Prüfungen zur Abschätzung der Pulverentfernbarkeit [2] und Erreichbarkeit durch Werkzeuge zur Nachbearbeitung. Dabei wird Licht auf die Oberfläche eines 3D-Modells projiziert. Dies soll Rückschlüsse auf die Zugänglichkeit der verschiedenen Bauteilregionen ermöglichen. Darüber hinaus soll die Software in Zusammenhang mit der Fertigbarkeit eine Abschätzung des Anpassungsaufwandes, der nötig ist, um ein Bauteil fertigungsge- recht umzukonstruieren, beinhalten.

Abschließend wird der Softwareprototyp zur Identifikation potenzieller DED-ARC/M und h-PBF-LB/M Komponenten in einem industriellen Umfeld mit entspre-

chender Dateninformationsstrukturen an ausgewählten relevanten Baugruppen evaluiert und validiert. Auf diese Weise kann der kommerzielle Nutzen für Industriekunden ermittelt und damit Erkenntnisse zum erweiterten Marktpotential dieser Fertigungstechnologien gewonnen werden.

LITERATUR

- [1] Roland Lachmayer et al., Konstruktion für die Additive Fertigung 2019, Springer-Verlag GmbH, 2020.
- [2] Luke W. Hunter et al., Assessment of trapped powder removal and inspection strategies for powder bed fusion techniques, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark
Claudius Ellsel, M. Sc.

Institut für Werkzeugmaschinen und
Fabrikbetrieb
Fachgebiet Industrielle Informations-
technik

Technische Universität Berlin



EUROPÄISCHE UNION

Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung



WiGeP

Wissenschaftliche Gesellschaft
für Produktentwicklung

Einblicke in das neue „HMS-Lab“ am KIT

Entstehung einer Forschungsumgebung zur Analyse der Symbiose zwischen Mensch und Maschine in der Nutzung handgehaltener Geräte

Seit Frühjahr 2024 entsteht in Karlsruhe am IPEK – Institut für Produktentwicklung das neue, durch die DFG geförderte Mensch-Maschine-Symbiose Labor (eng.: HMS-Lab). Ziel dieses neuartigen Labors ist es, die komplexe Interaktion zwischen Mensch und Maschine tiefgreifend zu erforschen und damit die Vision der Industrie 5.0 zu ermöglichen, in der Mensch und Maschine in einer Symbiose gemeinsam wirken. Das HMS-Lab wird erstmals eine sehr kontrollierte und reproduzierbare Untersuchung des menschlichen Verhaltens in verschiedenen Anwendungs- und Interaktionsszenarien mit handgehaltenen Geräten ermöglichen.

EINZIGARTIGE STUDIENUMGEBUNG

Das HMS-Lab wird mit modernster Technik ausgestattet, um detaillierte Untersuchungen der gegenseitigen Beeinflussung von Mensch und Maschine zu ermöglichen. Ein zentrales Element ist das Robotersystem mit einem 3D-Schwingungserreger. Diese simulieren im Verbund unterschiedlichste Nutzungsszenarien auf haptischer Ebene durch Aufbringen von Kräften, Bewegungen und Vibrationen. Ergänzt wird dies durch eine VR-Umgebung, die sowohl das Geräteverhalten visuell als auch akustisch nachbilden kann und so die Versuchspersonen in eine reale Anwendungsumgebung, beispielsweise auf der Baustelle, versetzt.

MESSTECHNISCHE AUSSTATTUNG

Das IPEK verfügt im HMS-Lab zudem über entsprechend umfangreiche Möglichkeiten, um das Verhalten der Versuchspersonen, ihre körperliche Beanspruchung und ihre psychische Wahrnehmung zu vermessen. Hierzu steht ein auf IR-Markern basierendes Motion-Capture-System zur Verfügung, das die Bewegungen der Versuchspersonen präzise erfasst. Diverse Sensoren ermöglichen die Messung der Anwenderkräfte, während ein umfangreiches EMG-Messsystem die tatsächlichen Muskelaktivitäten messen und mit Ergebnissen aus der Simulation mit digitalen Modellen des menschlichen Körpers vergleichen kann. Durch eine professionelle Befragung mit digitalisierten Fragebögen



Bild 1: Vision zukünftiger Studien im Mensch-Maschine-Symbiose-Labor (HMS-Lab) mit visueller und haptischer Simulation des Arbeitens mit handgehaltenen Geräten

und der Messung von Körperreaktionen lässt sich zudem die Wahrnehmung der Versuchspersonen in den simulierten Situationen detailliert erfassen. Diese Kombination aus physischer Messung und subjektiver Bewertung ermöglicht eine umfassende Analyse der Interaktion zwischen Mensch und Maschine.

ZUKÜNFTIGE STUDIEN

Das HMS-Lab bietet eine ideale Plattform für eine Vielzahl von Studien zur Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Eines der Anwendungsgebiete wird die Untersuchung von Assistenzsystemen wie Exosketten sein, um deren Auswirkung auf die Reduzierung körperlicher Belastungen zu bewerten. Darüber hinaus können Studien zur Objektivierung des Vibrationsdiskomforts durchgeführt und neue Standards und Richtlinien zur Vibrationsbelastung während der Nutzung von handgeführten Geräten entwickelt werden. Diese und viele weitere Studien tragen dazu bei, die Sicherheit und Effizienz von Arbeitsprozessen zu erhöhen und das Erlebnis der Nutzerinnen und Nutzer zu verbessern und Mensch und Maschine zu einer Einheit zu verschmelzen.

sen zu erhöhen und das Erlebnis der Nutzerinnen und Nutzer zu verbessern und Mensch und Maschine zu einer Einheit zu verschmelzen.

AUSBLICK

In den kommenden Jahren plant das IPEK im HMS-Lab die Durchführung umfangreicher Forschungsprojekte, um die Grundlagen der Symbiose zwischen Mensch und Maschine weiter zu erforschen. Diese Projekte werden nicht nur zu wissenschaftlichen Erkenntnissen beitragen, sondern auch praktische Anwendungen in der Industrie finden und neue Kooperationen mit Partnern aus Forschung und Wirtschaft ermöglichen.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
Sebastian Helmstetter, M.Sc.
IPEK – Institut für Produktentwicklung
Lehrstuhl für Gerätekonstruktion und Maschinenelemente
KIT – Karlsruher Institut für Technologie

Thermische Simulation von Transport- und Lagerbehältern

Z88Aurora® als Basis eines Simulationstools zur effizienten thermischen Auslegung von Transport- und Lagerbehältern für abgebrannte Brennelemente

Ein Transport- und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente (T/L-Behälter) muss verschiedene Aufgaben und Anforderungen erfüllen. Dabei stehen sicherheitsrelevante Aspekte, wie die Abfuhr der Nachzerfallwärme, das Verhindern einer Kontamination der direkten Umgebung, das Sicherstellen einer konstanten Unterkritikalität oder die Minimierung der ionisierenden Strahlung im Mittelpunkt. Ein T/L-Behälter besteht aus vielen Komponenten, die alle dem Einhalten der eingangs genannten Anforderungen dienen. Der grobe Aufbau kann jedoch auf drei Hauptbereiche reduziert werden: Ein Tragkorb als Innenteil, welcher die abgebrannten Brennelemente in einzelnen Schächten aufnimmt. Die Anzahl der Schächte unterscheidet sich je nach Behältermodell. Der Tragkorb wird bei der Beladung in einen massiven Außenbehälter platziert. Dieses System wird dann von einem Verschlussystem, welches beispielsweise aus zwei Deckeln besteht, verschlossen. Bedingt durch Fertigung und Nutzung der Behälter entsteht zwischen Außenbehälter und Tragkorb ein schmaler Spalt. Dieser wird bei der Beladung mit Gas gefüllt, meist handelt es sich dabei um Helium. Das geometrische Verhältnis

von Spaltbreite zu Behältergröße sowie die Beteiligung aller drei Wärmeübertragungsmechanismen (Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung) im Spalt führen zu zeit- und rechenressourcenintensiven Simulationen.

Z88ENSI

In Kooperation mit dem Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) wurde am Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD über mehrere Forschungsprojekte hinweg das Simulationstool Z88ENSI entwickelt, welches die thermische Auslegung solcher T/L-Behälter enorm vereinfacht. Grundlage hierfür bietet die nichtkommerzielle Finite-Elemente-Analyse Software Z88Aurora des Lehrstuhls für Konstruktionslehre und CAD. Im Rahmen der bisherigen Entwicklungsarbeiten wurde eine recheneffiziente Methodik entwickelt, durch die die aufwendige Vernetzung des Spalts im T/L-Behälter umgangen wird. Dabei werden analytische Wärmeübertragungsgleichungen als Zwangsbedingungen in die Simulation eingebaut, wodurch sich die Wärmeübertragung im Spalt berücksichtigen lässt.

Die Spaltgeometrie wird dabei anhand der aktuellen Behälterposition variiert. So

hat der Spalt eine kreisförmige Geometrie, wenn der Behälter aufrecht steht und sich der Tragkorb dadurch konzentrisch im Außenbehälter befindet. Dieser Fall liegt beispielsweise in der Zwischenlagerung vor. Während des Transportvorgangs liegt der Behälter seitlich, wodurch der Spalt eine sichelförmige Geometrie annimmt. Diese Änderung der Geometrie wird in Z88ENSI berücksichtigt, da sie sich auf die Wärmeübertragung im Spalt auswirkt. Zu den weiteren Funktionalitäten gehört ein höhenspezifischer Abbrand der Brennelemente, da die abgegebene Wärmemenge meist in der Mitte eines Brennelements höher ist als an den Enden. Weiterhin bietet Z88ENSI eine intuitive Benutzeroberfläche sowie eine automatisierte Berichtsausgabe und die Möglichkeit der visuellen Ergebnisauswertung über das Postprocessing Modul von Z88Aurora .

KOOPERATION MIT ENSI

Die Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD und dem ENSI besteht bereits seit vielen Jahren. Im Rahmen mehrerer gemeinsamer Forschungsprojekte wurde die Entwicklung von Z88ENSI stetig vorangetrieben. Aktuelle Entwicklungsarbeiten umfassen die Erweiterung der Software um transiente thermische FE-Simulationen.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Tremmel
Julian Nimmesgern, M.Sc.
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
Universität Bayreuth

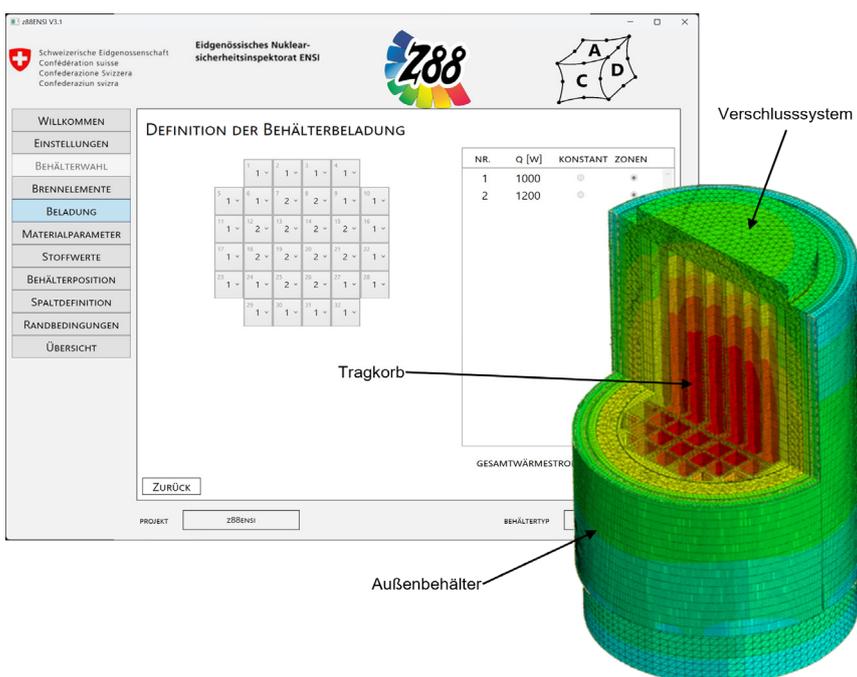


Bild 1: Z88ENSI mit Beispielbehälter.

KI-gestützte Anforderungsformalisierung und Architekturmodellerstellung für das MBSE

Anwendungsorientierte Forschung an der Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg

Im vergangenen Jahr startete das Forschungsprojekt zur KI-gestützten Anforderungsformalisierung und Architekturmodellerstellung für das Model-based Systems Engineering. Die Bearbeitung des Projektes erfolgt am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg gemeinsam mit dem Industriepartner AUDI AG.

ANFORDERUNGS-FORMALISIERUNG

Das Bestreben Alleinstellungsmerkmale zu schaffen und individuelle Kundenwünsche zu befriedigen, steigert die Komplexität in der Produktentwicklung und führt zu einer stetig wachsenden Anzahl an Anforderungen.

Natürlichsprachliche Anforderungen stellen aufgrund der einfachen Zugänglichkeit bislang die vorherrschende Dokumentationsart dar. Deren Anwendbarkeit wird jedoch durch inhärente Mehrdeutigkeiten und Unzulänglichkeiten bei der Beherrschung komplexer Systeme limitiert. [1] Durch die Formalisierung von natürlichsprachlichen Anforderungen lassen sich diese Limitationen weitestgehend aufheben. Begonnen mit der Identifikation und Erstellung von Use-Case-Diagrammen lassen sich Anforderungstexte in eine formale Darstellung überführen. Use-Case-Diagramme werden genutzt, um Systemfunktionalitäten sowie deren Beziehung untereinander und zu Akteuren außerhalb des Systems darzustellen. Um die Abläufe der Use Cases vollständig darzustellen, können anschließend Aktivitäts-

diagramme erstellt werden. Dadurch lassen sich Haupt- und Nebenszenarien des Use Cases sowie Entscheidungspunkte modellieren. Gemeinsam formalisieren Use-Case-Diagramme und Aktivitätsdiagramme somit die Funktion und den Ablauf von Systemfunktionalitäten. Im Rahmen des Model-based Systems Engineering (MBSE) geschieht dies beispielsweise mit Hilfe der Systems Modeling Language (SysML). [1] Da die Anforderungsformalisierung für komplexe Systeme sehr zeitaufwendig ist, soll diese durch Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) unterstützt werden.

VORHABEN

Vor diesem Hintergrund befasst sich das Forschungsprojekt mit der Anwendung von Methoden des Natural Language Processings (NLP) zur Anforderungsformalisierung und Architekturmodellerstellung im MBSE. Die Gliederung des Projektes ist in Bild 1 dargestellt.

Zunächst ist eine Erkennung der Systemfunktionalitäten (Use Cases) aus den natürlichsprachlichen Anforderungsdokumenten notwendig. Die grundlegende Herausforderung besteht in der Identifikation funktional zusammengehöriger Anforderungen. Zusätzlich müssen spezifische Bedarfe der praktischen Anwendung, wie die Berücksichtigung bestehender manuell getätigter Arbeitsergebnisse, untersucht werden. Die KI-basierte Generierung von SysML Use-Case-Diagrammen erfordert die automatische Identifikation der Modellbestandteile sowie deren Beziehungen. Dazu werden Methoden des maschinellen Lernens angewendet, die im Vergleich zu regelbasierten

Ansätzen den praktischen Herausforderungen robuster begegnen [2].

Anschließend werden NLP-Prozessketten entwickelt, um den Entwickler bei der Erstellung der Aktivitätsdiagramme zu unterstützen. Dazu werden geeignete KI-gestützte Methoden verwendet, um Systemfunktionen, deren Abläufe sowie Entscheidungspunkte aus den natürlichsprachlichen Anforderungstexten zu extrahieren. Die Berücksichtigung bereits existierender Modellbestandteile ist essenziell, um widerspruchsfreie Systemmodelle erstellen zu können und somit die Integration in den Entwicklungsprozess sicherzustellen.

Darüber hinaus werden im Forschungsprojekt weitere Anwendungsfelder und Potenziale von KI-gestützten Methoden im Kontext des MBSE identifiziert und systematisch gegenübergestellt. Damit wird die Forschung in den übergeordneten Kontext eingebettet und bietet Anknüpfungspunkte für weitere Forschungsaktivitäten. Die praktische Anwendbarkeit wird insbesondere durch den engen Austausch mit dem Industriepartner AUDI AG sichergestellt.

ANGESTREBTES ERGEBNIS

Das Ziel des Vorhabens ist eine praxisnahe NLP-Prozesskette, die den Entwickler durch die Teilautomatisierung der einzelnen manuellen Tätigkeiten unterstützt. Dies resultiert in einer verbesserten Nachvollziehbarkeit sowie Eindeutigkeit der Anforderungen und ermöglicht eine Verkürzung der Produktentwicklungszeit, da die Anforderungsformalisierung als Teil-

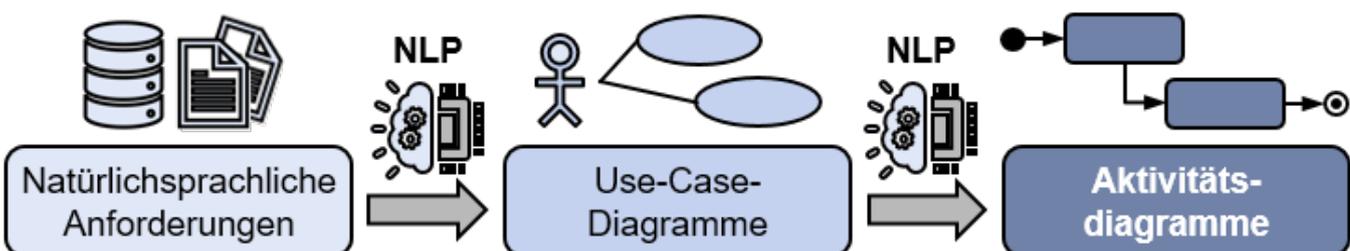


Bild 1: Vorgehen für die automatisierte Anforderungsformalisierung

schritt des MBSE beschleunigt wird.

DANKSAGUNG

Besonderer Dank gilt der AUDI AG für die Unterstützung und Finanzierung des Forschungsprojektes.

LITERATUR

[1] K. Pohl, C. Rupp, „Basiswissen Requirements Engineering,“ 5. Auflage. Heidelberg: dpunkt.verlag, 2021

[2] S. Schleifer, A. Lungu, B. Kruse, S. van Putten, S. Goetz, S. Wartzack, „Automatic Derivation of Use Case Diagrams from interrelated Natural Language Requirements,“ Proc. Des. Soc., Vol. 4, S. 2725 – 2734, 2024.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
Dr.-Ing. Stefan Goetz
Simon Schleifer, M. Sc.

Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Dipl.-Ing. Adriana Lungu
Dr. sc. Benjamin Kruse
Dr.-Ing. Sebastiaan van Putten
AUDI AG

Neue Auflage:

Decker Maschinenelemente: Funktion, Gestaltung und Berechnung (FAU)
Erlangen-Nürnberg

Das jahrzehntelang bewährte Lehrbuch „Decker“ ist in einer neuen Auflage erschienen. Wie bisher stellt es die wichtigsten Maschinenelemente in kompakter und leicht verständlicher Form dar und berücksichtigt den aktuellsten Stand der Technik.

Seit der 21. Auflage bereichert Professor Dr.-Ing. Stephan Tremmel, Ordinarius des Lehrstuhls Konstruktionslehre und CAD in Bayreuth, als Mitautor das Deckerautorenteam.

Ins Auge fällt ein komplett überarbeitetes Layout mit einer nun vollständig farbigen Ausstattung. Darüber hinaus wurden über 250 Verständnisfragen am Ende jedes Kapitels ergänzt, die den Leser bei der Verinnerlichung der wichtigsten Lernziele unterstützen.

In gewohnter Form sind erschienen:
Decker Maschinenelemente Lehrbuch mit Tabellenband (Buch-ISBN: 978-3-446-47230-3),
Decker Maschinenelemente: Formeln (Buch-ISBN: 978-3-446-47331-7) und
Decker Maschinenelemente: Aufgaben (Buch-ISBN: 978-3-446-47332-4).

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Tremmel
Dr.-Ing. Bettina Alber-Laukant
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
Universität Bayreuth



Bild 1: Decker Maschinenelemente.

Neue Forschungskompetenz am IPEK

Das Voranbringen medizintechnischer Systeme und Gesundheitstechnologien ist aufgrund des demografischen Wandels und dem Mangel an Fachkräften von zentraler Bedeutung für unsere Gesellschaft. Steigende Kosten und gleichsam Kostendruck im Gesundheitssystem, die lange Dauer bis zur Marktreife von Medizinprodukten und das stark regulierte Umfeld, stellt die Medizintechnikindustrie vor große Herausforderungen.

Mit dem Ziel, Innovationen der nächsten Generation für die globalen Gesundheits Herausforderungen bereitzustellen, wurde das interdisziplinäre KIT Center of Health Technologies gegründet.

Das IPEK-Institut für Produktentwicklung am KIT unterstützt hierbei den Produktentwicklungsprozess medizintechnischer Lösungen auf System-, Methoden-, und Prozessebene. Die dafür neu gegründete Forschungsgruppe Medical and Health Technology erforscht und entwickelt systemnahe neue Konzepte, um den Herausforderungen im Gesundheitswesen und der Medizintechnikbranche zu begegnen. Als Basis wird dafür der Erfahrungsschatz aus anderen technischen Domänen, wie der Antriebssystemtechnik und den Power-Tools genutzt, in welchen vergleichbar komplexe cyber-physische Systeme mit dem Menschen im Zentrum betrachtet werden. Dabei können Potenziale in der medizintechnischen Entwicklung identifiziert und neue Lösungsansätze entwickelt werden.

HERAUSFORDERUNGEN

Medizinprodukte müssen hohe Ziele und Anforderungen an Sicherheit, Wirksamkeit und Benutzerfreundlichkeit erfüllen. Sie müssen biokompatibel sein, um negative Reaktionen im und am Körper zu vermeiden und eine hohe Präzision und Zuverlässigkeit gewährleisten. Diese Anforderungen werden begleitet von einem strikten regulatorischen Rahmen und einem langwierigen Zulassungsprozess, welches einen aufwändigen Validierungs- und Dokumentationsaufwand zur Folge hat. Es gilt diese branchenspezifischen Hürden unter Nutzung technologischer Trends zu minimieren. Hierbei versteht es sich die Chancen und Risiken von technologischen Entwicklungen, wie unter anderem KI, Telemedizin und digitaler Zwilling, abzuwägen und zu integrieren.

EFFIZIENTE PRODUKTENTWICKLUNG

Die frühzeitige und kontinuierliche Validierung der Produkte stellt eine zentrale Aktivität im Entwicklungsprozess dar. So kann der IPEK-X-in-the-Loop-Ansatz durch variable physische und virtuelle Anteile das zu entwickelnde oder zu analysierende System in der Wechselwirkung mit Patienten, Anwender und Umgebung abbilden. Moderne Simulations- und Prototypentechniken sowie die Integration von Modell-basierter Systementwicklung (MBSE) ermöglichen schnelle Iterationen und Tests, was zu verkürzten Entwicklungszyklen führt. MBSE fungiert als gemeinsame Sprache interdisziplinärer Teams und erleichtert die virtuelle Modellierung und Simulation komplexer Systeme zur frühzeitigen Identifizierung und Lösung potenzieller Probleme. Zusätzlich ermöglichen digitale Zwillinge die detaillierte Analyse und Bewertung von Produkten unter realistischen Bedingungen vor der physischen Produktion. Das IPEK kümmert sich unter Berücksichtigung dieser technologischen Fortschritte in den drei Bereichen, Forschung, Lehre und Innovation, um die Herausforderungen in der Medizintechnik. **VOM SÄUGLINGSDDUMMY ZUR VIRTUELLEN PRODUKTVALIDIERUNG**

In dem laufenden Vorhaben „AHead“ forscht das IPEK, gemeinsam mit Partnern der Gerichtsmedizin und der Zulassungs- und Prüfbehörden, zu dem Thema misshandlungsbedingtes Kopftrauma (Abusive Head Trauma). Bei Kleinkindern ist dies einer der häufigsten nichtnatürlichen Todesursachen in dieser Altersgruppe. Ziel ist die Realisierung eines sensorintegrierten Dummies, welcher virtuelle, gemischt physisch-virtuelle und physische Simulationen von Verletzungsmechanismen ermöglicht. Möglich wird das durch die Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Rechtsmedizin in Heidelberg (UKHD), dem IPEK und Partnern aus der Unfallforschung und Crash-test-Dummy-Entwicklung. Die Partner vereinen Expertise aus Biomechanik, Forensik und Ingenieurwissenschaften.

In einem weiteren Forschungs- und Innovationsprojekt mit einem Unternehmenspartner liegt der Fokus auf der Validierung in der frühen Phase. Hier kann Extended Reality (XR) Technologie entscheidende

Unterstützung bieten, insbesondere durch die frühe Einbindung des Nutzenden in die Produktvalidierung und das effiziente Testen mehrerer Produktvarianten mit minimalem Aufwand. Essenziell ist dabei die Übertragung methodisch ausgewählter Produkteigenschaften in eine virtuelle Umgebung, die spezifisch auf die Validierungsanforderungen abgestimmt ist. Der Einsatz von XR Technologie kann bei sorgfältig ausgewählten Szenarien die Qualität und Effizienz in der Produktentwicklung verbessern.

LEHRE

Um den Bedarf in der Gesundheitsbranche zu begegnen und schnell auf Trends reagieren zu können, engagiert sich das IPEK in der Ausbildung der Ingenieure und Ingenieurinnen von morgen. In einem neu konzeptionierten Fokusfeld werden unter anderem Masterstudierende der Medizintechnik und des Maschinenbaus mit ingenieurwissenschaftlichen Bausteinen auf die Herausforderungen in der Produktentwicklung vorbereitet. Zugleich wird durch die ingenieurpädagogische Forschung im institutseigenen XR-Labor sowohl die realitätsnahe Interaktion in der medizinischen Ausbildung als auch die Entwicklung innovativer medizintechnischer Produkte maßgeblich unterstützt.

NUTZEN UND AUSBLICK

Im spannenden Umfeld der Medizin- und Gesundheitstechnologien unterstützt das IPEK künftig Unternehmens- und Forschungspartner auf Methoden-, Prozess- und Systemebene bei der interdisziplinären Produktentwicklung am und mit dem Menschen im Fokus. Durch diese Partnerschaften und einen kontinuierlichen Austausch wird das IPEK dazu beitragen, die Gesundheitsversorgung zu verbessern und gleichzeitig zukünftige Generationen von Ingenieuren und Medizinern für die Herausforderungen von Morgen zu rüsten.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Albert Albers
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Düser
Dipl.-Ing. Katharina Bause
Dipl.-Ing. Sascha Ott
Raphael Grau, M. Ed.
Laura Link, M. Sc.
IPEK - Institut für Produktentwicklung
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Kollaborations- und Lernumgebung zur Gestaltung digitaler Geschäftsmodelle

Unternehmerischer Erfolg durch neue Schlüsseltechnologien: Potenziale trotz Fachkräftemangel nutzen

Digitale Technologien bieten ein enormes Geschäftspotenzial – sei es für Unternehmensprozesse, Anlagenüberwachung oder Anlagenwartungen. Herausforderungen vor allem für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind dabei das Verständnis für den effizienten Einsatz von Technologien wie Künstliche Intelligenz und Augmented Reality, die Umstellung ihrer bereits erfolgreichen Geschäftsprozesse und der zunehmende Fachkräftemangel. Das vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) geförderte Verbundprojekt „Kollaborations- und Lern-Umgebung für die wertorientierte Geschäftsmodell-Generierung“ (KLUG) setzt sich daher unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler zum Ziel, Kompetenzen zur Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle und der Strategieentwicklung aufzubauen. Die Lösung in KLUG basiert auf drei Säulen: Unternehmer*innen müssen in der Strategieentwicklung befähigt werden, Schlüsseltechnologien nachhaltig auswählen und diese durch Kompetenzentwicklung auf operativer Ebene nutzbar machen.

ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG UND RATGEBER

Zur Entwicklung von digitalen Geschäftsmodellen und zur zukunftsorientierten Strategieentwicklung wird vom Lehrstuhl für Produktentstehung eine Entscheidungsunterstützung für KMU erarbeitet. Ziel ist unter anderem ein Lernportfolio mit verschiedenen Formaten, welches KMU insbesondere durch einen Demonstrator – der DigiTech-Toolbox – sowohl auf strategischer als auch operativer Ebene unterstützt. Unterstützt wird der Lehrstuhl hierbei von der Werkstatt

für Kundenorientierung GmbH. Durch die klare Ausrichtung des Unternehmens auf Kundenbedürfnisse werden die vielfältigen Möglichkeiten der digitalen Wertschöpfung ganzheitlich betrachtet.

Der Kompetenzaufbau erfolgt auf operativer Ebene angepasst an die Bedürfnisse jedes Unternehmens durch die DigiTech-Toolbox. Eine erlebbare Lehrfabrik von ZEUS liefert dabei anschauliche Lehrbeispiele anhand des Demonstrators. Dieser macht Schlüsseltechnologien erlebbar: Neben der Anwendung der Schlüsseltechnologie AR, agiert PerFact Innovation GmbH & Co. KG in dem Projekt als Software-Lösungsanbieter insbesondere in der Prozessdatenanalyse mittels Künstlicher Intelligenz – KMU werden befähigt, komplexe Prozessdaten beispielsweise im Kontext der Instandhaltung von Anlagen zu analysieren. Abgesichert werden die Projektergebnisse durch die Professur für Wirtschaftsrecht der Universität Paderborn. Hier entsteht ein Ratgeber zum rechtskonformen Daten- und Technologiemanagement.

ANWENDUNG MIT PRAXISPARTNERN

Die Ergebnisse von KLUG werden kontinuierlich in die Praxis transferiert: „Wir haben drei starke Anwendungspartner an Bord, arbeiten konsequent an der Schnittstelle von Forschung und Praxis“, so Gräßler. Vorrangige Aufgabe der Anwendungspartner ist es, die Tauglichkeit der Projektergebnisse an eigenen Fallbeispielen aus der Praxis zu validieren. Die Anwendungspartner HARTING Applied Technologies GmbH & Co. KG und Michael Weing AG repräsentieren dabei Unternehmen aus dem produzierenden

den Gewerbe. Der Anwendungspartner



Bild 1: Anwendung von Augmented Reality zur Unterstützung der Instandhaltung

eShoppin Germany GmbH vertritt den Bereich des eCommerce. Die Ergebnisse werden in regelmäßigen Transferveranstaltungen in der Region mit der Zielgruppe KMU präsentiert.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ in der Fördermaßnahme „Entwicklung neuer digitaler Leistungen für datenorientierte Wertschöpfung (DigiLeistDAT)“ (Förderkennzeichen 02K23A050) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin / beim Autor.

AUTOREN

Univ. Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler
Dr.-Ing. Jens Pottebaum
Alena Tušek, M. Sc.
Annika Reich, M. Sc.
Heinz Nixdorf Institut
Lehrstuhl für Produktentstehung
Universität Paderborn



Bild 2: Kick-off Treffen im Februar 2024



Optimierte Antriebsstränge für E-Getriebe

Start des BMWK-geförderten Forschungsvorhabens „Opt4E“ zur multikriteriellen Synthese und Optimierung von Antriebssträngen für elektrische Fahrzeuge

Wie können elektrische Antriebsstränge optimiert werden und was bedeutet in diesem Kontext optimal? Die Annäherung an diese Fragen bildet den Kern des im Oktober 2023 gestarteten Forschungsvorhabens Opt4E. Das Verbundvorhaben basiert auf den gewonnenen Erkenntnissen der Forschungsprojekte Speed2E [1] und Speed4E [2], die unter Leitung der Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebesysteme (FZG) in Kooperation mit renommierten Unternehmen und Forschungseinrichtungen der Antriebstechnik 2016 bzw. 2021 abgeschlossen werden konnten. Die Forschungsreihe leistete Pionierarbeit in der simulativen und experimentellen Erforschung von Hochdrehzahlantrieben für elektrische Fahrzeuge. Als besondere Meilensteine der vergangenen Forschungsprojekte können die Realisierung von maximalen Antriebsdrehzahlen bis zu 30.000 rpm (Speed2E) und bis zu 50.000 rpm (Speed4E) genannt werden. Durch diese Steigerungen ist es möglich, die Leistung des Antriebs bei vergleichbarem Bauraum drastisch zu erhöhen. Im Umkehrschluss lässt sich somit bei gleicher Leistung Bauraum und Gewicht der elektrischen Maschine reduzieren, wodurch in Konsequenz die Getriebeübersetzung steigt. Während aktuelle Getriebe elektrischer Fahrzeuge meist nur einen Gang besitzen, rücken für die untersuchten Hochdrehzahlanwendungen erneut mehr-

gängige Antriebskonzepte in den Entwicklungsfokus, wie sie bereits in sportlichen Getriebekonzepten Anwendung finden [3].

DIE GRENZEN SIND AUSGELOTET, DOCH WO LIEGT DAS OPTIMUM?

Der Betrieb bei höchsten Drehzahlen bringt dabei aber auch Herausforderungen mit sich, die insbesondere das NVH-Verhalten des Getriebes betreffen. Dieses ist bei elektrischen Antrieben von besonderem Interesse, da keine Maskierung des Getriebegeräuschs durch den Antriebsmotor erfolgt. Die Erfahrung aus dem Forschungsvorhaben Speed4E zeigt, dass die Maximaldrehzahl für einen ausgewogen ausgelegten Antrieb vermutlich deutlich unterhalb der erreichten Drehzahl von 50.000 rpm liegt.

In Zeiten hoher Ansprüche an Effizienz, Akustik und Komfort bei gleichzeitig steigender Performance gewinnt die gesamtheitliche Optimierung des Antriebsstrangs immer mehr an Bedeutung. Während für jede der genannten Komponenten individuell leistungsfähige Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung verfügbar sind, ist für die gesamtheitliche Abstimmung und Optimierung des Antriebsstrangs keine Methode und kein Werkzeug öffentlich bekannt.

Bereits der Projektname Opt4E des neu

gestarteten Vorhabens deutet auf einen Wechsel der Zielsetzung innerhalb der Forschungsreihe hin: Anstelle einer weiteren Erhöhung der maximalen Antriebsdrehzahl steht nun die Identifikation von für den Anwendungsfall optimalen Antriebsstrangkonzepthen im Fokus der Forschungsaktivität. Dieses umfasst die elektrische Maschine, Leistungselektronik und Getriebe. Zur Synthese der Komponenten zu optimierten Antriebskonzepten ist es daher in der frühen Phase des Produktentwicklungsprozesses erforderlich, die Auslegungsziele zu objektivieren. Somit wird eine Bewertung des Konzepts anhand der Kerneigenschaften des Antriebsstrangs ermöglicht. Die Gewichtung der Auslegungsziele kann je nach Unternehmen und Produkt variieren und findet Eingang in den geplanten Optimierungsalgorithmus. Das Optimum kann sich daher abhängig vom Entwicklungsziel unterscheiden und ist daher nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich zu bewerten.

HERAUSFORDERUNG OPTIMIERUNG

Ein Blick in die industrielle Praxis zeigt, dass trotz langer Entwicklungszeiten in Konzeption, Auslegung und Konstruktion Antriebsstränge aktueller Elektrofahrzeuge bei weitem nicht alle Anforderungen in vollem Umfang erfüllen. Dabei beeinflussen sich die Auslegung der Einzelkomponenten gegenseitig und sollten gesamtheitlich betrachtet werden. Das Forschungsprojekt setzt es sich daher zum Ziel, eine Optimierung der genannten Komponenten unter Berücksichtigung von Querschnittseinflüssen, wie z.B. einem optimierten Thermomanagement oder einer aktiven Geräuschunterdrückung zu untersuchen. Diese Betrachtungen werden maßgeblich durch simulative und experimentelle Daten gestützt und garantieren somit ein hohes Maß an Übertragbarkeit zu realen Antriebssystemen. Hierbei wird auf den Erfahrungen zur Konzeption und Auslegung sowie den Messergebnissen aus der Forschungsreihe aufgebaut und die Auslegung des Antriebs damit validiert.



Bild 1: Prof. Stahl bei der Eröffnung des ersten Konsortialtreffens Opt4E (Quelle: FZG)

KONSORTIUM UND LÖSUNGS- WEG

Das Konsortium, bestehend aus sieben Industriepartnern (AVL Deutschland; BMW; LSP Innovative Systems; Magna Powertrain, Schaeffler Technologies; Strama-MPS Maschinenbau; Vitesco Technologies) und vier akademischen Instituten (FZG der TU München; IMS der TU Darmstadt; IMKT und IAL der Uni Hannover), stellt sich den genannten Herausforderungen gemeinsam. Dieses wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert und durch den DLR-Projektträger begleitet.

Die Forschungsaktivitäten des Konsortiums sind in sechs Arbeitspakete unterteilt, die nachfolgend skizziert werden.

Fertigungsqualität Getriebe. Während bei der Auslegung elektrischer Antriebe in der Regel abweichungsfreie Systeme angenommen werden, unterliegen reale Getriebesysteme Fertigungsabweichungen. Diese Abweichungen können über eine entsprechende Vorgabe von Toleranzen gesteuert werden, was bei der Auslegung einen Zielkonflikt zwischen Kosten und Qualität darstellt. Das Arbeitspaket umfasst dabei die simulative Untersuchung der Auswirkungen derartiger Toleranzen auf die Tragfähigkeit, Wirkungsgrad und Geräuschverhalten des Getriebesystems.

Akustik. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung des NVH-Verhaltens für elektrische Antriebskonzepte wird im Arbeitspaket Akustik intensiv die ganzheitliche Bewertung und Optimierung des NVH-Verhaltens des Antriebsstrangs batterieelektrischer Fahrzeuge betrachtet. Dies geschieht unter Ausnutzung der Wechselwirkungen zwischen Leistungselektronik, E-Maschine und Getriebe. Dabei werden relevante Einflüsse auf das Geräuschverhalten der Komponenten, aber auch bspw. eine aktive Geräuschunterdrückung und deren Auswirkungen auf das Systemverhalten untersucht.

Thermomanagement. Durch die Entwicklung eines ganzheitlichen Thermomanagementkonzeptes können unter Umständen Effizienzvorteile erzielt werden, die es für die gesamtheitliche Optimierung von Antriebssträngen zu berücksichtigen gilt. Hierzu werden insbesondere an im Vorhaben Speed4E erarbeiteten Komponenten experimentelle Versuche vorgenommen und verschiedene Betriebsszenarien getestet.

Wirkungsgrad und Tribologie. Zur Bewertung der Effizienz des Antriebsstrangs

werden Experimente zu zentralen Maschinenelementen durchgeführt. Hierzu werden Komponentenprüfstände für Verzahnungen, Wälzlager, Dichtungen und nasslaufende Lamellenkupplungen für den Betrieb unter Betriebsbedingungen für elektrische Hochdrehzahltriebe vorbereitet. Die Untersuchungen sollen neben tribologischen Systemen mit konventionellen Schmierstoffen auch Systeme mit relevanten niederviskosen und auch wasserhaltigen Schmierstoffen umfassen, um eine möglichst große Bandbreite abzudecken.

Fahr- und Schaltkomfort. Neben den bisher genannten Zielen ist auch die Wahrnehmung des Antriebsstrangs bzgl. dessen Fahr- und Schaltkomfort essenziell für die Akzeptanz des Antriebsstrangkonzpts durch den Anwender. Die objektive Beurteilung dieses Kriteriums ist hier besonders herausfordernd, aber essentiell, um auch in diesem Punkt eine Bewertung der Antriebskonzepte vornehmen zu können. Im Rahmen des Arbeitspakets werden dazu Probandenstudien zur Wahrnehmung von elektrischen Antriebskonzepten durchgeführt.

Multikriterielle Antriebsstrang-Optimierung. Um die Erkenntnisse aus dem laufenden Forschungsvorhaben für Anwender nutzbar zu machen, werden diese in einem Methodenträger zusammengefasst und einem Optimierungsalgorithmus übergeben. Dieser soll in der Lage sein, Antriebskonzepte zu identifizieren und so entsprechend der Eingabedaten optimierte Antriebsstränge vorzuschlagen. Dabei sollen diese mit zunehmender Genauigkeit modelliert und unter Berücksichtigung aller relevanten Merkmale bewertet werden.

MEILENSTEINE

Bis zum Ende des Projektes im September 2026 sind drei Meilensteine definiert. Zum ersten Meilenstein sind alle Messeinrichtungen zur gesamtheitlichen Erprobung des Antriebsstrangs aus dem Vorprojekt Speed4E, sowie die Komponentenprüfstände und elektrischen Antriebe bereit für Versuche. Ebenso sind bis dahin die grundlegenden Simulationsmodelle vorhanden. Die entsprechenden Messungen und Simulationen sind bis zum zweiten Meilenstein abzuschließen und entsprechende Kennfelder und Betriebsgrenzen auszuwerten. Die Auslegungsmethoden und -richtlinien sind bis zu diesem Zeitpunkt zu definieren. Bis zum dritten Meilenstein verfügt der Methodenträger über alle erforderlichen Daten und kann diese dem entwi-

ckelten Algorithmus zur Optimierung für die gesamtheitlichen Auslegung der elektrischen Antriebe übergeben. Am Ende des Projektes liegt ein experimentell und simulativ abgesicherter Methodenträger vor, der die wesentlichen Erkenntnisse des Forschungsvorhabens zusammenfasst.

Weitere Informationen zum Forschungsvorhaben finden Sie auf der Website des Forschungsvorhabens unter www.opt4e.de.

LITERATUR

- [1] Gwinner, P.; Stahl, K.; Rupp, S.; Strube, A. (2017). Innovatives Hochdrehzahl-Antriebskonzept für hocheffiziente elektrische Fahrzeuge, ATZ, vol. 119, no. 3.
- [2] Schweigert, Daniel; Morhard, Bernd; Otto, Michael; Stahl, Karsten. (2022). Results of the joint project Speed4E, efficiency and vibration behavior of the high-speed gearbox.
- [3] Casper, T.; Spengler, G.; Bromberger, M.: The High-Efficiency Fully Electric Drivetrain of the New Porsche Taycan (2020).

AUTOREN

Patrick Strobl, M.Sc.

Dr.-Ing. Katharina Völkel

Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl

Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebesysteme (FZG)

Lehrstuhl für Maschinenelemente

TUM School of Engineering and Design

Technische Universität München



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kreislauffabrik für das ewig innovative Produkt

Von Gebrauch zu Neu: Prädiktion der Produktfunktion

„Nichts ist so beständig wie der Wandel“
 // Die Ressourcenknappheit und der zunehmende Bedarf einer wachsenden Weltbevölkerung stellen enorme Herausforderungen für unsere Gesellschaft dar. Der Earth Overshoot Day zeigt alarmierend, dass unsere Ressourcennutzung die Regenerationsfähigkeit der Erde bereits weit übersteigt. Angesichts dieser Tatsachen müssen neue, innovative Wirtschaftssysteme entwickelt werden, um den Ressourcenverbrauch vom Wohlstand zu entkoppeln. Ein vielversprechender Ansatz ist die nachhaltige zirkuläre Wirtschaft, bei der der Lebenszyklus von Produkten verlängert und Ressourcen geschont werden. [1]

DIE KREISLAUFFABRIK

Hier setzt der Sonderforschungsbereich (SFB) „Kreislauffabrik für das ewig innovative Produkt“ an. Ziel ist es, die Integration von zirkulären Produktionsprozessen in industriellem Maßstab zu ermöglichen. Diese Vision zielt darauf ab, Gebrauchtsprodukte in aktuelle Produktgenerationen zu überführen und somit der Vision des ewig innovativen Produkts näherzukommen. Dazu werden Teilsysteme des Produkts getestet, demontiert, befundet aufgearbeitet und wieder montiert.

Der SFB wird durch fünf Arbeitsgemein-

schaften (AGs) getragen: Die AG „Prädiktion der Produktfunktion“ entwickelt Modelle zur Zuverlässigkeit und Restlebensdauer, während die AG „Beherrschung von Unsicherheit“ multidimensionale Unsicherheiten adressiert. Die AG „Vom Menschen lernende Produktionstechnik“ überträgt menschliche Problemlösungsstrategien auf Maschinen, die AG „Wandelbares autonomes Produktionssystem“ schafft flexible Produktionsprozesse, und die AG „Wissensmodellierung“ optimiert die Nutzung von Daten für Entscheidungsunterstützungen. [2]

PRÄDIKTION DER PRODUKT-FUNKTION: DER SCHLÜSSEL ZUR ZUVERLÄSSIGKEIT

Ein Produkt, das die Kreislauffabrik verlässt, muss stets als Neuprodukt betrachtet werden, unabhängig davon, dass es aus bereits genutzten Komponenten und Teilsystemen besteht. Um dies zu gewährleisten, müssen während der Produktentwicklung die Wiederverwendbarkeit berücksichtigt und produktgenerations- und variantenübergreifende Produktmodelle entwickelt werden. Dabei ermöglichen Funktions- und Zuverlässigkeitsmodelle Aussagen zur Qualität und Restlebensdauer eines Produkts und seiner Komponenten. Dies erfordert

die Erfassung und Analyse des Ist-Zustands gebrauchter Produkte hinsichtlich Verschleiß und möglicher Defekte sowie die Integration dieser Daten in ein umfassendes Funktionsmodell. Um dies zu erreichen müssen auch Herausforderungen in der Befundung der Gebrauchtsprodukte überwunden werden.

Die Prädiktion der Produktfunktion ermöglicht anschließend der Fabriksteuerung eine zielführende Befundung, konkrete Vorgaben zur Aufarbeitung und die Weiterentwicklung der Produkte im Sinne des „Designs for Kreislauffabrik“.

METHODIK

Als langfristige Vision soll eine Methodik zur individuellen generationsübergreifenden Produktentstehung entwickelt werden. Zudem soll eine integrierte Planung und Steuerung des Produkt-Produktions-CoDesigns sowie eine autonome Funktionsprognose bei der Überführung verschiedener Produkte ermöglicht werden.

Die Prädiktion der Produktfunktion ermöglicht die Schaffung unikatler Funktions- und Zuverlässigkeitsprognosemodelle. Diese Modelle sind entscheidend, um die Vision der Kreislauffabrik zu verwirklichen und den Durchbruch in der zirkulären Produktion zu erreichen. Durch innovative Technologien und neue Ansätze trägt die Kreislauffabrik dazu bei, eine nachhaltige und ressourcenschonende Zukunft zu gestalten.

LITERATUR

- [1] <https://www.sfb1574.kit.edu/>
- [2] Lanza, Gisela, et al. „Sonderforschungsbereich 1574: Kreislauffabrik für das ewig innovative Produkt: Integrierte lineare und zirkuläre Produktion mittels hochvernetztem Produkt-Produktions-CoDesign.“ Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 118.12 (2023): 820-825

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
 Felix Leitenberger, M.Sc.
 Jonas Hemmerich, M.Sc.
 IPEK – Institut für Produktentwicklung
 Lehrstuhl für Gerätekonstruktion und Maschinenelemente
 KIT – Karlsruher Institut für Technologie

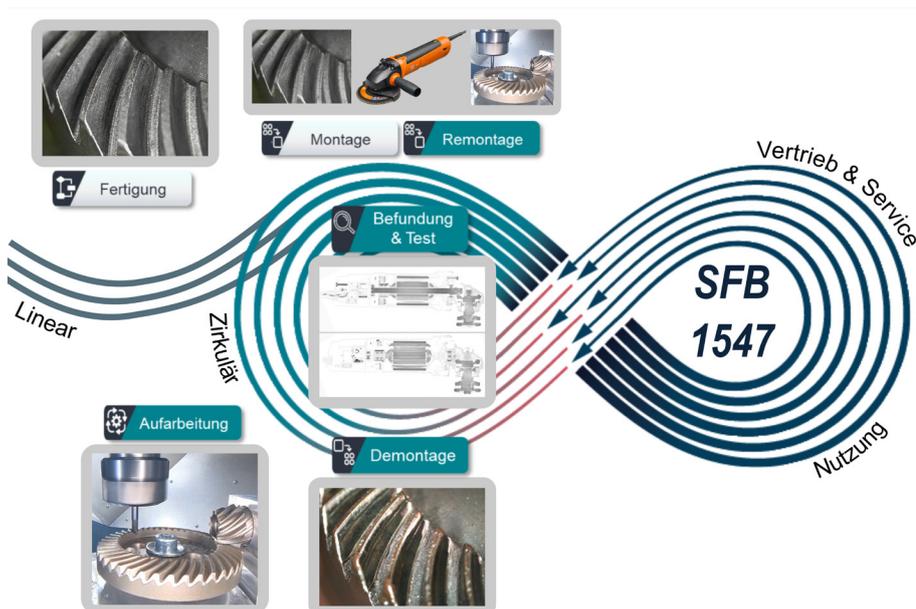


Bild 1: Zirkulärer Prozess der Kreislauffabrik

25 Jahre K-Tag

Der Bayreuther 3D-Konstrukteurstag feiert sein 25-jähriges Jubiläum

Der Bayreuther 3D-Konstrukteurstag stellt bereits seit vielen Jahren eine Plattform für Ingenieurinnen und Ingenieure aus Industrie und Forschung dar, die zum Austausch von Information sowie zum Knüpfen neuer Kontakte einlädt. Der K-Tag bietet 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. Im Vordergrund stehen dabei Themen der virtuellen Produktentwicklung, insbesondere CAD, Auslegung und Simulation sowie Optimierung und Additive Fertigung.

JUBILÄUM

In diesem Jahr steht ein besonderes Ereignis an – der K-Tag wird 25! Wir freuen uns besonders darauf, diesen Anlass gemeinsam mit Ihnen zu feiern. Das 25. Jubiläum des Bayreuther 3D-Konstrukteurstags findet am 11.09.2024 an der Universität Bayreuth statt.

Nähere Informationen sowie die Möglichkeit zur Anmeldung als Besucher, Aussteller oder Referent finden Sie unter www.konstrukteurstag.de. Die Teilnahme als Besucher ist auch im Jubiläumsjahr kostenfrei. Nutzen Sie die Gelegenheit, sich kompakt an einem Tag über die neuesten Trends und Entwicklungen zu informieren und neue Kontakte zu knüpfen.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Tremmel
Julian Nimmesgern, M.Sc.
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
Universität Bayreuth



25 JAHRE **K-TAG**

Der K-Tag – Digital. Kreativ. Innovativ.

**25. Bayreuther 3D-Konstrukteurstag
am 11. September 2024**

Hier geht's direkt zur Anmeldung:
<https://conference.lscad.de>

Bild 1: 25 Jahre K-Tag.

Decide4ECO – nachhaltigkeitsgerechte Produktentwicklung mit Manufacturing-X

Modellbasierte, prädiktive und flexible Entscheidungsunterstützung in der Entwicklung ökologischer, zirkulärer Wertschöpfung durch Datenökosysteme

Nachhaltigkeitsanforderungen sind für Unternehmen mit direktem Endkundengeschäft, aber auch für Zulieferer in der Wertschöpfungskette omnipräsent und werden zunehmend als eine Möglichkeit der Differenzierung gesehen. Unternehmen müssen Nachhaltigkeitsentscheidungen treffen und Nachweise erbringen, wobei die Anforderungen veränderlich und nicht eindeutig festgelegt sind. Dies führt zu Unsicherheit und stellt Industrieunternehmen vor Herausforderungen. Aktuelle Produkte erfüllen häufig nur ökologische Mindestanforderungen, anstatt die Anforderungen der Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit konsequent umzusetzen. Gaia-X, Catena-X und zukünftig auch Manufacturing-X ermöglichen den Akteuren der Fertigungs- und Automobilindustrie zukünftig kollaborative und offene Datenökosysteme. Sie vernetzen die Akteure weltweit zu durchgängigen Wertschöpfungsketten und bieten die Möglichkeit einer ökologischen Transformation.

ZIELSETZUNG DES PROJEKTS

Das Ziel des Forschungsprojekts „Decide4ECO“ sind Methoden und Werkzeuge, die im Rahmen der Produktentstehung eine frühzeitige Entscheidungsfindung hinsichtlich einer nachhaltigen Fertigung und eines nachhaltigen Betriebs unterstützen. Dabei erfolgt eine vorausschauende Bewertung der Nachhaltigkeitsanforderungen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg und entlang der Wertschöpfungskette. Die Daten für die Analyse der Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit müssen daher auch entlang der Fer-

tigungs- und Zulieferkette mit Bezug zum gesamten Produktleben erhoben werden. Der Austausch relevanter Daten soll über das Datenökosystem Manufacturing-X erfolgen. Im Rahmen des Projekts ist es das Ziel der Forschungspartner, Modelle und Schnittstellen zu entwickeln, um die Daten allen Beteiligten über den gemeinsamen Datenraum zur Verfügung zu stellen. Die darauf aufbauenden Lösungen zur Bewertung der Nachhaltigkeit sollen zudem um prädiktive, KI-basierte Auswirkungsanalysen ergänzt werden. Lösungsalternativen können so in der Entwicklung systematisch und frühzeitig hinsichtlich der Nachhaltigkeit und Kreislauffähigkeit verglichen werden.

DAS DECIDE4ECO-KONSORTIUM

Das Konsortium umfasst den Lehrstuhl für Produktentstehung von Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler, die IT-Systemlösungsanbieter CONTACT Software GmbH, PROSTEP AG und Nexpirit GmbH, die Anwendungsunternehmen BOS GmbH & Co. KG und Hadi-Plast GmbH sowie weitere assoziierte Partner. Die Schwerpunkte des Lehrstuhls für Produktentstehung liegen auf der Methodenentwicklung, der Referenzimplementierung und der Informationsmodellierung. Gemeinsam mit den drei IT-Systemlösungsanbietern werden verschiedene Anwendungsfälle in einem Demonstrator abgebildet, der anschließend von den Anwendungspartnern implementiert und getestet wird.

AUSBLICK

Das vom BMWK geförderte Projekt nutzt



Bild 1: Auftaktworkshop in Paderborn

Datenökosysteme zur Unterstützung der Produktentwicklung. Nach dem Kick-off im April 2024 werden in den nächsten Monaten digitale Technologien weiterentwickelt, um nachhaltigkeitsgerechte Entscheidungen in der Produktentwicklung flexibel zu unterstützen und Unternehmen in die Lage zu versetzen, die Nachhaltigkeit eines technischen Systems in der Entwicklung flexibel nachweisen zu können. Zur Sicherstellung der Breitenwirksamkeit der Ergebnisse entwickelt das Konsortium Open-Source-Lösungen, welche einen Beitrag zu Manufacturing-X leisten. Zusätzlich werden zu einem späteren Zeitpunkt Transferworkshops stattfinden, um die Decide4ECO-Lösungen mit weiteren Anwendungsunternehmen zu validieren.

AUTOREN

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

Gefördert durch:



Bild 2: Projekt Kick-off im April 2024

TU Ilmenau entwickelt 2. Auflage der FKM-Richtlinie „Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Federn und Feder-elemente“

Verbesserung der Anwendbarkeit der Richtlinie zur Auslegung von Metallfedern

BESONDERHEITEN BEI DER AUS- LEGUNG VON METALLFEDERN

Die FKM-Richtlinie „Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile“ [1] beschreibt eine allgemeingültige Vorgehensweise für Festigkeitsnachweise, die grundsätzlich auch für Federn und Feder-elemente anwendbar ist. Federspezifische Besonderheiten werden in ihr jedoch nicht bzw. nicht ausreichend berücksichtigt. Dies sind insb.:

- hohe Zugfestigkeiten von 1200 - 3500 MPa, die den Gültigkeitsbereich [1] deutlich überschreiten,
- hohe Kerbempfindlichkeit,
- hohe Mittelspannungsempfindlichkeit (überwiegend Schwellbeanspruchungen),
- große Beeinflussung der Federoberflächen durch Drahtziehen oder Bandwalzen, Federwinden und Wärmebehandlungen, Randabkohlung und Randoxidation,
- Beanspruchungen mit Schwingspielzahlen häufig weit oberhalb von $N=10^7$,
- hohe, für die Lebensdauer maßgebliche Eigenspannungen durch Kaltumformung, Vorsetzen und Kugelstrahlen,
- Randschichtverfestigung und Rauheitssteigerung durch Kugelstrahlen,
- keine vorhersehbaren versagenskritischen Stellen, sondern versagenskritische Bereiche,
- Veränderung der Werkstoffeigenschaften gegenüber dem Ausgangsmaterial während der Herstellung insb. durch Wärmebehandlungsprozesse.



Bild 1: Neue Auflage der FKM-Richtlinie Federn beinhaltet umfangreiche Dauerfestigkeitsschaubilder für Druckfedern und weitere Ergänzungen

ENTWICKLUNG UND ANWEN- DUNG DER FKM-RICHTLINIE FÜR FEDERN

Aufgrund der aufgeführten Besonderheiten

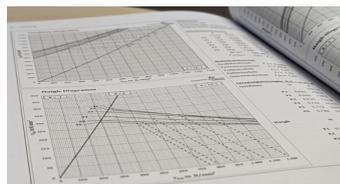
ergab sich die Notwendigkeit der Erstellung der Erstauflage der FKM-Richtlinie „Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Federn und Feder-elemente“ [2] (2020) auf Basis des Forschungsprojekts IGF 18495 BG (2017) [3].

Die Richtlinie gilt inzwischen als etabliertes und sicheres Werkzeug zum Rechnerischen Festigkeitsnachweis für Federn und Feder-elemente. Im Folgeprojekt IGF 19693 BR [4] wurde der Berechnungsalgorithmus zur Entwicklung von Schwingfestigkeitskennlinien für Druckfedern genutzt, um für aktuelle Werkstoffe und Fertigungsverfahren passende Dauerfestigkeitsschaubilder zu erstellen. Zur versuchstechnischen Validierung wurden mehrere tausend statistisch ausgewertet Federbrüche herangezogen. Die Ergebnisse wurden so aufbereitet, dass eine gewohnt einfache Anwendbarkeit sichergestellt ist.

NEUHEITEN DER 2. AUFLAGE

Die weiterführenden Arbeiten bildeten die wesentliche Grundlage für eine Neuauflage der Richtlinie. Obwohl die Erstauflage weiterhin Gültigkeit behält, bietet die Neuauflage einen signifikanten Mehrwert:

- Ergänzung eines umfangreichen Anhangs mit Schwingfestigkeitsschaubildern für Druckfedern aus FDSiCr, VDSiCr, VDSiCrV, DH, 1.4310 und 1.4568. Es wurden Goodman- und Haigh-Diagramme sowohl für nicht kugelgestrahlte als auch kugelgestrahlte Federn inkl. Sicherheitskonzept berechnet und validiert, die genau so einfach anwendbar sind, wie die wenigen und veralteten Diagramme der DIN EN 13906-1.



- Im Sicherheitskonzept wurde eine Tabelle ergänzt, die für Standard-Sicherheitsanforderungen bereits ausgerechnete Werte des Teilsicherheitsfaktors für Zuverlässigkeit j_s enthält (vermindert mögliche Fehlberechnungen).

- Ergänzung eines Berechnungsbeispiels einer zyklisch beanspruchten Blattfeder. Damit sind zusammen mit den schon in Auflage 1 vorhandenen Beispielen für Druckfedern, eine Spiralfeder und eine Schenkelfeder die meisten Standardfedertypen enthalten (Nachweise/Schaubilder für Zugfedern werden aktuell von uns in IGF 22762 entwickelt).

- Ergänzung eines Hinweises zu weiterem Nachweispunkt an Schenkelfedern.

Die Richtlinie konnte von der TU Ilmenau in Zusammenarbeit mit dem FKM-Fachkreis Bauteilfestigkeit, dem Redaktionskreis der FKM-Richtlinien und nicht zuletzt durch Unterstützung unserer Draht- und Federpartnerfirmen sowie dem Verband der Deutschen Federindustrie e. V. (VDFI) überarbeitet werden. Wir freuen uns über eine breite Anwendung. Schulungen, ob in-house oder zu Sammelterminen, können über das STZ Federntechnik, die Autoren und den VDFI angefragt werden.

LITERATUR

[1] FKM FORSCHUNGSKURATORIUM MASCHINENBAU E.V. (Hrsg.): Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile. 7. Auflage. VDMA-Verlag, Frankfurt a. M., 2020

[2] FKM FORSCHUNGSKURATORIUM MASCHINENBAU E.V. (Hrsg.): Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Federn und Feder-elemente – FKM-Richtlinie für Federn und Feder-elemente. VDMA-Verlag, Frankfurt a. M., 2020

[3] Reich, R.; Kletzin, U.; Oechsner, M.; Spies, A.; Klein, M.: Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Federn und Feder-elemente – Forschungsvorhaben IGF 18495 BG. Ilmenau, Darmstadt, 2017

[4] Petrich, M.; Kletzin, U.: Erneuerung der Dauerfestigkeitsschaubilder für kaltgeformte Schraubendruckfedern in DIN EN 13906-1 mit methodisch rechnerischer Herangehensweise – Forschungsvorhaben IGF 19693 BR. Ilmenau, 2021

AUTOREN

Prof. Dr. Ulf Kletzin | Martin Petrich, M. Sc.
FG Maschinenelemente | TU Ilmenau
www.tu-ilmenau.de/maschinenelemente
www.stz-federn.de

Mit biologischer Transformation zur nachhaltigen Industrie 4.0

Anwendung der Prinzipien zur biologischen Transformation im Projekt BioFusion 4.0

Im Mittelpunkt von Industrie 4.0 steht das Konzept der Smart Factory, in dem Mensch und Maschine durch intelligente Systeme zusammenarbeiten. In der industriellen Fertigung strebt die Innovation von Produktions-, Informations- und Kommunikationstechnologien danach, Produktionssysteme zu entwickeln, die hochflexibel, ressourceneffizient und urban-integrierbar sind. Die Konvergenz von bioinspirierter Fertigung und Industrie 4.0 eröffnet bedeutende Möglichkeiten für Innovation und nachhaltige Entwicklung in der Fertigungsindustrie. Das Forschungsprojekt: Biologische Transformation 4.0, oder kurz BioFusion 4.0, hat das Ziel, Prinzipien der Biologischen Transformation (BT) auf die industrielle Produktion zu übertragen. An diesem Verbundprojekt beteiligen sich drei Berliner Industrieunternehmen aus der Automobil-, Anlagen- und Robotikbranche, sechs Technologieunternehmen, zwei assoziierten Kommunalpartnern, sowie das Fraunhofer IPK und das FG Industrielle Informationstechnik der TU Berlin. Durch die Kooperation von Wissenschaft und Industrie entstanden innovative Lösungen, die die Zukunft der Produktionstechnologie nachhaltig prägen werden.

Aufbauend auf aktueller Forschung wurde die Biologische Transformation in der Produktion definiert als: „ein Prozess der Optimierung der industriellen Wertschöpfung in Richtung Nachhaltigkeit mit Konzepten und Technologien, die von der Natur inspiriert sind, biologische Aspekte integrieren und im Zusammenspiel zwischen digitalen und biologischen Systemen funktionieren“ [1].

Die Forschung des FG industrielle Informationstechnik konzentriert sich auf die Entwicklung und Anwendung effektiver Wirkprinzipien für Produktentwicklung für tiefgreifende Veränderung der Produkte und Produktionssysteme. Es werden etablierte Ingenieursdisziplinen mit neuen Technologien aus der Biotechnologie, kognitiven Wissenschaften, künstlichen Intelligenz sowie Informations- und

Kommunikationstechnologien verbunden.

PRINZIPIEN DER BT

Die logische Verschmelzung von Natur-, Technik- und Sozialwissenschaften führt zu einem heterogenen Tätigkeitsfeld mit unklarer Fachtermini. Um die noch undifferenzierten Muster in der naturbasierten Produktion zu klassifizieren, bedarf es einer Präzisierung der Prinzipien der BT, um die Identifikation von Anwendungspotentialen in einem Entwicklungsprozess zu erleichtern. So wurde mit induktiven und deduktiven Verfahren die Taxonomie der Biologischen Transformation der Fertigungsindustrie entwickelt. Sie gliedert sich in drei Grundmodi Bioinspiration, Biointegration und Biointeraktion.

Unter Bioinspiration fallen Unterkategorien wie Konzepte der Resilienz, Prinzipien der Zirkularität, Self-X, funktionale Morphologie und biomimetische Informationsmodellierung und -verarbeitung. Die Kategorien der Biointegration wurden durch moderne Ansätze der Biotechnologie-Klassifikation, als Teil der NBIC-Technologien (Nano-, Bio-, Informations- und Neurotechnologien) für die Bioökonomie, geprägt und durch umfangreiche Literatur zu biotechnologischen Prinzipien erweitert. Biointeraktion wurde mithilfe des IPO-Modells (Input-Prozess-Output) aus der Informatik und Beiträgen aus der deutschen Normungs-Roadmap zu KI sowie der High-Level Expert Group on AI strukturiert.

Insgesamt entstanden 56 Taxa, die sogenannten Prinzipien der Biologischen Transformation für die Fertigungsindustrie. Zur Validierung der Anwendbarkeit der Taxonomie wurden die Prinzipien in Expertenworkshops über iterative Analyseprozesse mit Methoden des Analogie-Mappings den Anwendungsfällen des Projektes BioFusion4.0 zugeordnet.

Da das oberste Ziel der biologischen Transformation in der Fertigung Nachhaltigkeit ist, ist es essenziell, den Industrieakteuren Werkzeuge zur Verfügung zu stellen, die es ihnen ermöglichen, die Prinzipien der

Taxonomie in im Sinne eines nachhaltigen Innovationsprozessen zu identifizieren und anzuwenden.

DER BIOTANSFORMIERTE ENTWICKLUNGSZYKLUS

Der optimale Zeitpunkt zur Integration von Prinzipien der Biologischen Transformation in den Produktentwicklungsprozess ist im frühen Stadium, von der Anforderungsanalyse bis zur Konzeption. Dafür wurde eine Methode entwickelt, die Produktmanagern und Designern hilft, ihr Projekt im Kontext der Biologischen Transformation zu definieren und BT-Prinzipien zur Anwendung zu identifizieren. Der entwickelte Ansatz führt Teilnehmer durch die Definition des Lösungsraums, mit Fokus auf Lösungen zur biologischen Transformation der Industrie, und kombiniert dabei verschiedene biomimetische Designwerkzeuge. Der Zyklus umfasst vier Schritte:

- I. Charakterisierung des technologischen Problems: Funktional und präzise, in universeller, nicht-spezialisierter Sprache, inklusive Rahmen, Anforderungen und Entwicklungsstand.
- II. Auffinden biologischer Analogien: Passende biologische Analogien zum technologischen Problem ermitteln.
- III. Identifizierung biologischer Lösungsstrategien: Geeignete Strategien für die spezifischen Fälle finden.
- IV. Abstrahierung zu technologischen Wirkungsweisen: Biologische Strategien mithilfe der BT-Prinzipien in technologische Wirkungsweisen umsetzen.

Für jeden Schritt wurden Aktivitäten und zu erreichende Wissensartefakte definiert. Zudem wurde analysiert, wie andere Tools aus Bio-inspired Design, wie AskNature, BioTRIZ und DANE, integriert werden können.

Die Methode wurde in sechs Online-Workshops von zwei Stunden angewandt, in denen Technologieexperten durch den BT-gesteuerten Zyklus geführt wurden,

um geeignete BT-Prinzipien für laufende Entwicklungsprozesse zu identifizieren. Die identifizierten BT-Prinzipien fungieren als Lösungsanforderung im Entwicklungsprozess, aus denen sich die Systemanforderungen und anschließend die Systemarchitektur ergeben. Der BT-gesteuerte Zyklus kann als digitales Hilfsmittel auch Schnittstellen zu anderen Entwicklungswerkzeugen bieten, um die Benutzerfreundlichkeit zu verbessern, wie die zuvor genannten. Es ist unbestritten, dass weitere Methoden und Werkzeuge entwickelt werden müssen, die die Nachhaltigkeitspotenziale der BT-Integration berücksichtigen, da dies Teil der eigentlichen Definition der Biologischen Transformation ist. [2]

NACHHALTIGKEIT IN DER ENTWICKLUNG NUTZEN

Anhand einer Korrelationsmatrix auf Basis einer intensiven Literaturanalyse wurde ein allgemeiner Zusammenhang zwischen Indikatoren der nachhaltigen Produktgestaltung mit den Prinzipien der Biologischen Transformation identifiziert. So wurden 29 Indikatoren untersucht, welche den Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte entsprechen. Es konnte ein Zusammenhang zwischen diesen EcoDesign-Kriterien und den 56 Prinzipien zur biologischen Transformation der Fertigungsindustrie aufgedeckt werden. Die Untersuchung der Relationen zeigt, dass die BT Prinzipien in vier Arten auf die Erfüllung der EcoDesign-Kriterien wirken:

1. Kein Effekt für ein nachhaltiges Produkt.
2. Ein Wirkzusammenhang ist theoretisch abbildbar.

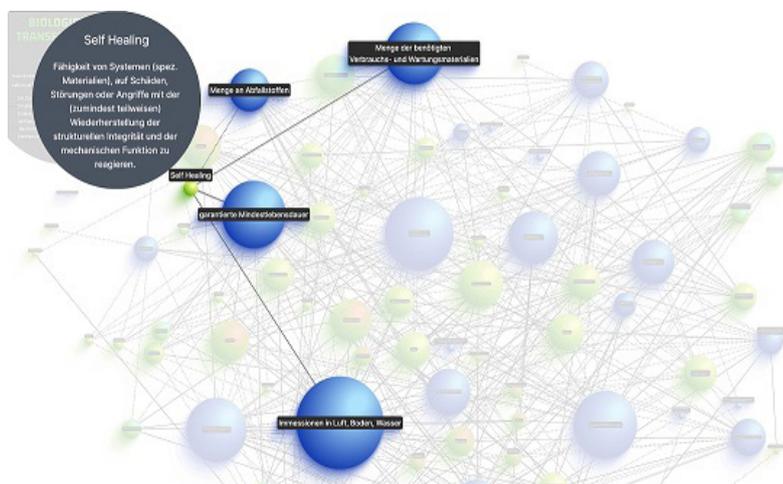


Bild 2: BT Prinzipien - EcoDesign Relations-Modell

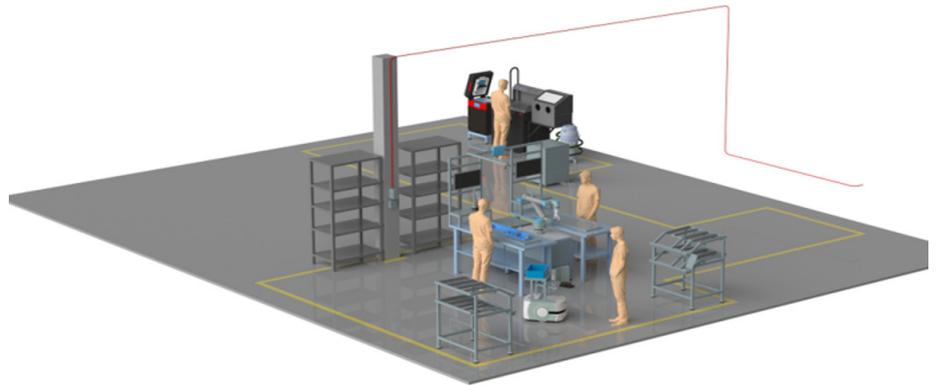


Bild 1: Aufbau des Demonstrators EEC-Montage zur biologischen Transformation

3. In spezifischen Branchen, Szenarien, Komponenten bewirken die BT Prinzipien die Umsetzung von bestimmten Ecodesign-Kriterien, was durch Laborversuche nachweisbar ist.

4. In der Praxis ist allgemein nachgewiesen, dass ein BT Prinzip in einem Produktsystem ein EcoDesign-Kriterium bewirkt.

Um diese Erkenntnisse in einem Entwicklungsprojekt anwendbar zu machen, wurden diese in einem digitalen Entity-Relationship-Modell aufgearbeitet. So werden die Erkenntnisse in einer interaktiven Umgebung für Entwicklungaktivitäten zugänglich.

TECHNISCHE DEMONSTRATION

Im Rahmen des Projekts wurden Anwendungsfälle der biologischen Transformation praktisch umgesetzt und untersucht. Die industriellen Einsatzbereiche des Projekts erstrecken sich über Maschinen- und Anlagenbau sowie Entsorgungswirtschaft, mit einem speziellen Augenmerk auf der Wertschöpfungskette von Produkten und Prozessen. Ein Kernprojekt war die Montage von Batteriesteuerungsmodu-

len (EEC-Modul) für Elektrofahrzeuge, bei dem ein integrierter Technologiedemonstrator die biotransformierte Wertschöpfung für gesteigerte Nachhaltigkeit illustrierte.

Durch die Anwendung von Prinzipien der Resilienz und Self-X, umgesetzt in Multi-Agenten-Systemen und autonomen mobilen Robotern, konnte eine flexiblere und störungsresistentere Produktion realisiert werden, was den Produktionsprozess effizienter und zuverlässiger macht. Mit der Hilfe von Cobots und autonomen mobilen Robotern wurden Prinzipien wie Mensch-Technik-Interaktion sowie Selbstkontrolle und -anpassung getestet, was zu einer sichereren Arbeitsumgebung und verbesserten Arbeitsbedingungen für die Mitarbeitenden führte.

Zudem förderte der Einsatz einer bioinspirierten Konstruktion für eine schützende Fingerorthese aus biogenen Materialien den Ressourceneinsatz und optimierte die Funktionalität. Die biointelligenten Prinzipien der digitalen Biomarker, kombiniert mit adaptiven Funktionen im digitalen Zwilling mit Echtzeit-Ökobilanz, ermöglichten es, den CO₂-Ausstoß in der Montage zu überwachen und Optimierungsmaßnahmen einzuleiten.

Die Demonstration verdeutlicht, dass der Einsatz biologischer Transformationsprinzipien für eine umfassende Veränderung der Fertigung geeignet ist und das Potenzial besitzt, in weiteren Produktionsprozessen noch umfangreichere und nachhaltigere Erfolge zu erzielen.

LITERATUR

- [1] M. Berkahn, G. Kremer, T. Riedelsheimer, K. Lindow, and R. Stark, „Taxonomy for Biological Transformation principles in the manufacturing industry,“

in Proceedings of 18th Global Conference on Sustainable Manufacturing, 2022.

[2] M. Berkahn, I. Peters, and R. Stark, „Applying principles of biological transformation for product development and manufacturing,“ in Proceedings of EcoDesign 2023 International Symposium.

AUTOREN

Magda Berkahn, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark

Fachgebiet Industrielle Informations-
technik

Technische Universität Berlin

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**



PTKA
Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie

Digital Engineering Day 2024 – Zukunft der digitalen Produktentwicklung

Erstmals unter neuem Namen trafen sich dieses Jahr Vertreter aus Forschung, Lehre und Industrie zum intensiven Austausch über Digital Engineering Lösungen in der Produktentwicklung an der FAU Erlangen-Nürnberg

Das Arbeitsumfeld von Produktentwickelnden und Konstruierenden unterliegt einem ständigen Wandel. Die fortschreitende Globalisierung der Märkte, der steigende Innovationsdruck und die erhöhte Individualität und Dynamik lassen die Anforderungen an Produkte sowie Produktentwicklungsprozesse immer differenzierter werden. Eine Möglichkeit zur Unterstützung des Produktentwickelnden bietet dabei das Digital Engineering bzw. die rechnerunterstützte Produktentwicklung. Dies bietet das Potential Ressourcen zu sparen und Kosten zu senken. Um dem stetigen Fortschritt in diesem Bereich Schritt zu halten, ist ein produktiver Austausch zwischen Forschung und Industrie essentiell.

Der Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) hat mit dem Digital Engineering Day (ehemals Data-Mining Day) unter dem Motto „Zukunft der digitalen Produktentwicklung“ am 09. April 2024 erneut eine geeignete Plattform geschaffen, den Wissensaustausch zwischen Industrie und Forschung zu aktuellen Themen und Herausforderungen im Bereich Digital Engineering zu intensivieren. Rund 30 Teilnehmer/-innen aus unterschiedlichen Bereichen der Industrie sowie Forschung und Lehre fanden sich in Erlangen ein, um mit Spannung die abwechslungsreichen Keynote-Vorträge aus der Industrie und Forschungsvorträge des Lehrstuhls zu verfolgen.



Bild 1: Keynote-Vortrag von CADFEM zu Machine Learning Augmented Digital Engineering

INDUSTRIEVORTRÄGE

Im Laufe des Tages haben Vertreter der Industrie Vorträge zu Themen rund um das Digital Engineering gehalten. Die Themen reichten vom Einsatz von Machine Learning in der Simulation über Systems Engineering und Graphdatenbanknutzung bis hin zur virtuellen Absicherung der Fertigungsprozesskette.

Insgesamt boten die Industrievorträge nicht nur interessante Einblicke in die aktuellen Entwicklungen der Branche, sondern auch eine gute Plattform für Diskussionen und Gedankenaustausch über die Zukunft des Digital Engineering.



Bild 2: Angeregter Informationsaustausch der Teilnehmer

FORSCHUNGSVORTRÄGE

Die zahlreichen Forschungsvorträge deckten das breite Spektrum der Forschungsaktivitäten des KTmfk ab. Den Auftakt bildeten Vorträge zur Nutzbarmachung von Systemmodellen und zum methodischen Einsatz der KI im Model-Based Systems Engineering (MBSE). Am Nachmittag folgten Vorträge zur Nutzung von Extended Reality am CAX Arbeitsplatz sowie zur Verknüpfung von Maschine Learning und Simulation. Den Abschluss bildete ein Vortrag zum Thema Ontologien im Produktentwicklungsprozess. Im Rahmen der Vorträge wurden mögliche Ansätze und potentielle Lösungswege für aktuelle Herausforderungen unter Verwendung innovativer Methoden aufgezeigt, wobei thematische Überschneidungen zwischen dem aktuellen Fokus der Industrie und derzeitigen Forschungsschwerpunkten das gemeinsame Interesse hervorhoben.

MARKETPLACE

Im Anschluss an die Vorträge hatten die Teilnehmer/-innen die Möglichkeit, die vorgestellten Forschungsthemen im Rahmen eines Marketplace zu vertiefen. Hierfür standen verschiedene Poster und Demonstratoren des KTmfk als Grundlage für einen offenen und intensiven Wissens- und Meinungsaustausch bereit. Diese konnten vor Ort ausprobiert werden, um ein praktisches Bild der aktuellen Forschung zu bekommen.

Die positive Resonanz der Teilnehmer/-innen



Bild 3: Demonstration des hybriden AR-Bildschirmarbeitsplatzes für CAX

lässt sich auf das breite Spektrum der diskutierten Themen zurückführen, das zusammen mit dem großen Interesse die Relevanz des Digital Engineering für die Zukunft der Produktentwicklung in Forschung und Praxis unterstreicht.

DANKSAGUNG

Wir bedanken uns bei allen Vortragenden sowie allen Teilnehmer/-innen, die den Digital Engineering Day 2024 zu einem vollen Erfolg gemacht haben und freuen uns darauf, diese und noch weitere Gäste auch 2026 wieder am KTmfk begrüßen zu dürfen.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
Dr.-Ing. Stefan Goetz
Marc Behringer, M. Sc.
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Eine Seilbahn nimmt Fahrt auf im Bachelorstudiengang Maschinenwesen an der TUM

Das Lehrkonzept connectTUM zur Vernetzung der Lehre im Maschinenwesen Bachelorstudium wird fester Bestandteil der Studiengangdokumentation und wird in (Lehr-)Veranstaltungen konsequent umgesetzt

Das seit dem Studienjahr 2021/2022 an der School of Engineering and Design etablierte Lehrkonzept connectTUM hat sich als roter Faden im Grundlagenstudium Maschinenwesen gefestigt. Im Mittelpunkt steht dabei eine zentrale maschinenbauliche Anlage, die von Lehrenden und Studierendenvertretern gemeinsam ausgewählt wurde. Die Wahl fiel auf eine urbane Seilbahnanlage, wie sie in manchen Metropolen bereits ein unverzichtbarer Bestandteil der öffentlichen Infrastruktur ist und auch in deutschen Städten zunehmend diskutiert wird. Das Lehrkonzept connectTUM erstreckt sich über das gesamte Studium und durchläuft in umgekehrter Reihenfolge die für die Produktentwicklung entscheidenden Phasen des Produktentstehungsprozesses [1]. Ein Erkennungszeichen, das Studierenden in der Lehre den Bezug zum Lehrkonzept connectTUM aufzeigt, ist der Bezugsstempel im Corporate Design (siehe Bild 1).



Bild 1: Bezugsstempel des Lehrkonzepts connectTUM im Corporate Design

Die Zahl der am Lehrkonzept connectTUM teilnehmenden Lehrstühle, die verpflichtende Lehrveranstaltungen im Bachelorstudium abhalten, steigt von Jahr zu Jahr. Im Studienjahr 23/24 knüpfen 63 % der Lehrstühle im Rahmen von Vorlesungen oder Zentralübungen Bezug zur zentralen Anlage. Die Integration der urbanen Seilbahnanlage im Lehralltag gewinnt daher zunehmend an Bedeutung und trägt zur praxisnahen Ausbildung der Studierenden bei.

CONNECTUM IN DER STUDIENGANGDOKUMENTATION

Mit dem Start der Bewerbungsphase für den neu akkreditierten Bachelorstudiengang Maschinenwesen der School of Engineering and Design an der Technischen Universität München für das Studienjahr 24/25 hat das Lehrkonzept connectTUM Einzug in die Studiengangdokumentation gefunden. Dieses Dokument dient in erster Linie als zentraler Baustein für die Entwicklung und Steuerung des Studiengangs. Gleichzeitig gibt es den Aufbau, Inhalt und die Lehrziele des Studiengangs für eine breite Leserschaft wieder, die von Studieninteressierten über Studierende und Lehrende bis hin zu potenziellen Arbeitgebern reicht. Das Kernelement des Dokuments ist das Qualifikationsprofil der Absolventinnen und Absolventen des Studiengangs. Mit der Integration in die Studiengangdokumentation wird dem Lehrkonzept connectTUM zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt und die Kohärenz der einzelnen Module im Studienplan gezielt gefördert, was in einer kontinuierlichen Verbesserung der Lehrvermittlung und damit der Ausbildung junger Ingenieurinnen und Ingenieure resultieren kann.

SEMESTERBEGLEITENDE INFORMATIONSPLATTFORM

Unterstützt durch eine Förderung für digitale Lehr-, Lern- und Prüfungsformate im Rahmen des TUM Ideenwettbewerbs 2021 zur „Studienbezogene[n] Verstärkung der Exzellenzstrategie“ [2] konnte eine semesterbegleitende Informationsplattform geschaffen werden. Innerhalb des von Anfang 2022 bis Ende 2023 finanzierten Projekts wurden spielerische Lernelemente im TUM Kursmanagementsystem Moodle integriert, um die Motivation der Studierenden bei der Auseinandersetzung mit den Lehrinhalten zu fördern. Der erweiterte Nutzen der semesterbegleitenden Informationsplattform ist die kontextbezogene, für Studierende und Lehrende sichtbare und nachvollziehbare Verknüpfung der Lehrinhalte im Bachelorstudiengang Maschinenwesen. Unterstützend wirkt dabei das connectTUM Corporate Design,

das eine einheitlichere Navigation und verringerte Einarbeitungszeit für Studierende in die angebotenen Moodle-Kurse erreichen soll. Auf der semesterübergreifenden Informationsplattform wurde während der Projektlaufzeit u. a. ein interaktives Pop-over-Wimmelbild mit einem Überblick zum Grundstudium, Infos und Verlinkungen zu den beteiligten Lehrstühlen sowie eine Darstellung des Demonstrators und dessen Baugruppen, die wiederum mit den Lehrinhalten der beteiligten Lehrstühle verlinkt sind, erstellt. Darüber hinaus wurden Foren z. B. zu administrativen Zwecken seitens der Lehrenden und für Fragen der Studierende eingerichtet. Ein Informationsguide zum Aufbau des Grundstudiums veranschaulicht den Studierenden auf übersichtliche Weise den Aufbau des Grundstudiums mit den verpflichtenden Modulen sowie den Wahlfachanteilen. Weiterführend werden auf der Informationsplattform die jeweiligen Lehrveranstaltungen semesterweise aufgelistet, hinsichtlich ihres Aufbaus und der zu vermittelnden Inhalte vorgestellt und mit Download-Links zu aktuellen Unterlagen wie z. B. Skripte oder Formelsammlungen der Vorlesungseinheiten versehen. Über eine Schlagwortliste werden zudem inhaltliche Schnittmengen und Zusammenhänge zwischen einzelnen Modulen ersichtlich.

UMSETZUNG CONNECTUM

Die Leitlinien des Lehrkonzepts connectTUM wurden bereits erfolgreich in das Bachelorstudium Maschinenwesen integriert. So führen aktuelle Lehrveranstaltungen im Studienjahr 2023/24 Bezüge zur Seilbahn in den Vorlesungen auf. Dabei werden z. B. vom Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen (utg) und dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) auf Grundlagenebene relevante Baugruppen und -teile aufgezeigt, bei denen die Anwendbarkeit von spezifischen Fertigungsverfahren wie ur- und umformende Verfahren, Trenn- und Fügeverfahren gegeben ist und welche Vor- und Nachteile der Fertigungsverfahren im jeweiligen Anwendungskontext bestehen. Der Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss

Logistik (fml) stellt den Demonstratorbezug durch ein CAD-Praktikum her, in dem die Aufhängung einer Seilbahn konstruiert werden soll. Der Lehrstuhl für Maschinenelemente (FZG) hat Baugruppen wie z. B. eine 8er-Rollenbatterie im ersten Semester des Moduls Maschinenelemente sowie exemplarische mehrstufige Garagier- und Seilscheibengetriebe im zweiten Semester des Moduls für Berechnungs- und Konstruktionsaufgaben übernommen. Auf der Ebene der Produktentwicklung führt z. B. der Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau (lpl) mit den Studierenden im Rahmen von Vorlesung und Übung eine beispielhafte Entwicklungsaufgabe von der Anforderungsanalyse bis zum Entwurf eines Laufwerks einer Umlaufseilbahn durch.

AUSBLICK

Das Lehrkonzept connectTUM ist in den Lehrinhalten des Maschinenwesenstudiums erfolgreich etabliert und für die Studierenden bereits direkt erlebbar. Um die Vernetzung der Lehre am Beispiel einer Seilbahnanwen-

dung zu unterstreichen, wird derzeit die Möglichkeit geprüft, die Seilbahnanwendung durch ein Anschauungsobjekt auf dem Forschungs-campus in Garching zu manifestieren. Hierzu haben sich die Projektpartner aus der Industrie bereit erklärt, eine Seilbahn-Rollenbatterie zur Verfügung zu stellen, um das Erlernte an einem physischen Objekt hands-on zu erleben. Durch die Einbindung des Demonstrationsobjekts in die Infrastruktur des Forschungscampus hinsichtlich Aufstellungsort und Ausstattung, die mit Vertretern der Lehrenden und der Studierenden diskutiert wurde, soll ein Ort des Austauschs und des gemeinsamen Verweilens geschaffen werden.

LITERATUR

- [1] WiGeP News, Ausgabe 1/2022: wigep.de/wigep-news-ausgabe-1-2022/ (zul. aufgerufen: 02.06.2024)
- [2] TUM Ideenwettbewerb 2021: www.tum.de/studium/lehre/chancen-fuer-die-lehre/ideenwettbewerb (zul. aufgerufen: 23.05.24)

AUTOREN

Nicolai Sprogies, M.Sc.
Dipl.-Ing. Wolfgang Gasplmayr
Dr.-Ing Thomas Lohner
Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl
Lehrstuhl für Maschinenelemente
TUM School of Engineering and Design
Technische Universität München

Zukunft der Wertschöpfung – Maßnahmen für die Produktentwicklung

5. Sitzung des Programmbeirats "Zukunft der Wertschöpfung" – Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Am 27. Juni 2024 fand in Berlin bei der Deutschen Industrie- und Handelskammer (DIHK) die 5. Sitzung des Programmbeirats „Zukunft der Wertschöpfung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) statt. Teil des Fachprogramms ist auch ein Vertreter der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung (WiGeP) sowie der Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP). Für das Fachprogramm, mit Start in 2019, wurde bislang für unterschiedliche Fördermaßnahmen ein Förder volumen von knapp 700 Millionen Euro bewilligt. Dabei werden Fördermaßnahmen unterschiedlicher Formate ausgeschrieben, die einen industriellen Fokus für die wissenschaftliche Forschung unterstützen.

Im Rahmen des Forschungsprogramms „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zur Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ werden Handlungsmöglichkeiten in der Forschung zur Wertschöpfung gesucht, um Produkte, Dienstleistungen und Arbeitsprozesse zu gestalten. Dabei wird das Forschungsprogramm in drei Handlungsfeldern, Kreislauffähige Wertschöpfung, Datenorientierte Wertschöpfung und Resiliente Wertschöpfung umgesetzt. Diese beschreiben den Anwendungsrahmen der Forschung zur Wertschöpfung und adressieren gesellschaftliche Herausforderungen, soziotechnische Herausforderungen oder branchenspezifische Aspekte.

Die jüngste Fördermaßnahme „Dynamiken digital vernetzter Wertschöpfungssysteme (DynaVer)“ geht aus dem Handlungsfeld der Datenorientierten Wertschöpfung hervor, für welche 15 Projekte mit einem Förder volumen von knapp 7 Millionen Euro für einer Förderlaufzeit von 4 Jahren bewilligt wurden.

HANDLUNGSFELD „RESILIENTE WERTSCHÖPFUNG“

In dem Handlungsfeld „Resiliente Wertschöpfung“ werden Lösungen behandelt in denen es darum geht, angemessen reagieren zu können, wenn unvorhersehbare Ereignisse eintreten. Dies bedingt Organisationen und Netzwerke sich so auf-

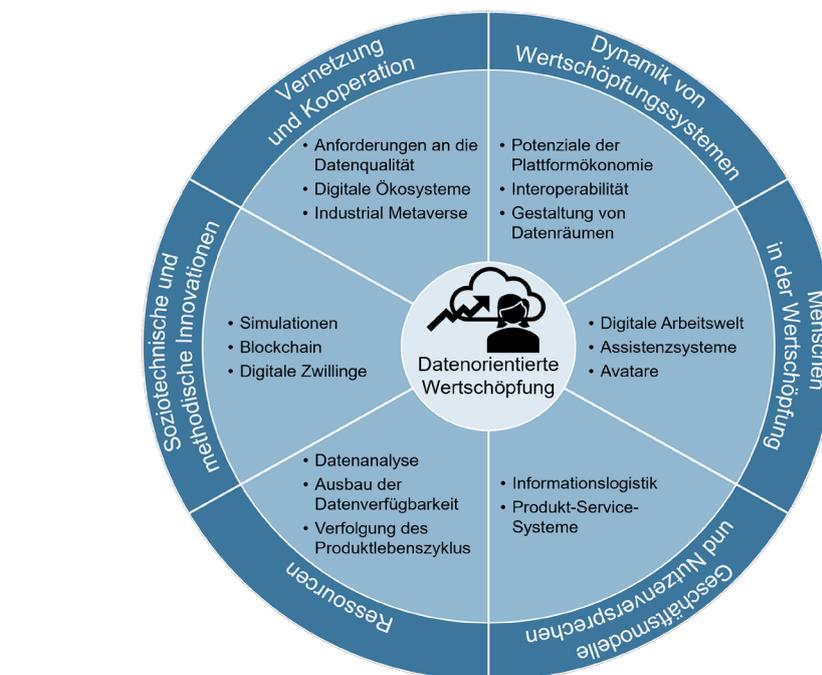


Bild 1: Perspektiven der Datenorientierten Wertschöpfung

zustellen, dass kontinuierlich aus gewonnenen Erkenntnissen gelernt und adaptiert wird, um auch so die Zukunftsfähigkeit abzusichern. Der Einsatz von Dateninfrastrukturen, Digitaltechnologien, entscheidungsunterstützenden Instrumenten sowie neuen Organisations- und Kollaborationskonzepten spielt eine wichtige Rolle. Im Rahmen dieses Handlungsfeldes gilt es, die Resilienzfähigkeit in Produktion und Konstruktion zu verbessern, um so zukunftsfähige und robuste Produktentwicklungen zu sichern und zu gewährleisten.

HANDLUNGSFELD „KREISLAUF-FÄHIGE WERTSCHÖPFUNG“

Das Handlungsfeld „Kreislauffähige Wertschöpfung“ soll die internationale Wettbewerbsfähigkeit und technologische Souveränität ermöglichen. Sie bieten eine Chance für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung durch die Schaffung von Flexibili-

tät für dynamische Anpassungen, wodurch eine nachhaltige Wirtschaftsentwicklung ermöglicht wird, die innovative Lösungen und einen effektiven Klima- und Ressourcenschutz bietet. Um dies zu ermöglichen, gilt es Schnittstellen zwischen einzelnen Schritten zu definieren und digitale Tools zu entwickeln, um den Anforderungen an das Sammeln, Sortieren, Handeln und Verteilen von Daten zu erfüllen. Denn Produkte werden nicht mehr linear, sondern zirkular gedacht und so Daten aus der Nutzungsphase schon direkt in die Entwicklungsphase einbezogen.

HANDLUNGSFELD „DATENORIENTIERTE WERTSCHÖPFUNG“

Daten bilden die Grundlage für Entscheidungen und neues Wissen, um Produkte, Prozesse und Geschäftsmodelle neu zu gestalten. Hierbei steht die Datendurchgängigkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette im Fokus, um die Daten

zielgerichtet und interoperabel in das gesamte System einzubringen. So werden Daten als strategische Ressource anerkannt, um Innovationen und geschäftliche Erfolge voranzutreiben. Dabei entstehen Datenökosysteme, in denen es Werkzeuge und Plattformen bedarf, um Daten zu sammeln, zu verarbeiten, zu analysieren und zu teilen. Hier gilt es fortschrittliche Analysemethoden wie maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz einzusetzen, um bei immer größer werdenden Datenmengen den maximalen Nutzen und Wert daraus ziehen zu können.

HANDLUNGSMAßNAHMEN FÜR DIE PRODUKTENTWICKLUNG

Für uns als Produktentwickler bietet das Förderprogramm mit den zugehörigen Handlungsfeldern Möglichkeiten Innovationen und Lösungen zu erforschen, mit welchen die Wertschöpfung maßgeblich effizienter und digitaler gestaltet werden kann. Die beschriebenen Handlungsfelder zeigen die Wichtigkeit für innovative Lösungen und Potenziale auch in der Produktentwicklung auf. Die beschriebenen Veränderungen wirken sich gesamtheitlich auf die Konstruktion aus und erfordern die Entwicklung resilienzfähiger Produkte und Lösungen. Es ist möglich Daten zu erfassen und mit betriebswirtschaftlichen Daten zu verknüpfen, um daraus Kennzahlen zu ermitteln und das über den gesamten Produktlebenszyklus. Daten verändern die Produkteigenschaft sowie den Produktentwicklungsprozess, da Unternehmen ihre Kundinnen und Kunden besser verstehen und der Nutzen von Produkten und integrierten Produkt-Service-

Systemen erhöht werden kann. Auch bieten Daten die Grundlage um Produktmodelle KI-basiert zu entwerfen und so die Effizienz der Produktentwicklung zu steigern. Auf diese Weise stehen Produktentwickler vor der Herausforderung Wertschöpfung zukunftsorientiert auszurichten.

FORSCHUNGSPROGRAMM

Das disziplinübergreifende Forschungsprogramm läuft noch bis 2027.

Link zu dem Forschungsprogramm: https://www.zukunft-der-wertschoepfung.de/wp-content/uploads/2024/02/BMBF_Broschüre_Zukunft_Wertschoepfung_n-Vorwort.pdf (online Abrufbar)

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer
Max Leo Wawer, M. Sc.
Institut für Produktentwicklung & Gerätebau
Leibniz Universität Hannover



WiGeP

Wissenschaftliche Gesellschaft
für Produktentwicklung



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 1 762 3471
E-Mail: lachmayer@ipeg.uni-hannover.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause
(Sprecher des Vorstands und für Me-
thoden & Prozesse in der Produktent-
wicklung)
Institut für Produktentwicklung und
Konstruktionstechnik
Technische Universität Hamburg
Denickestraße 17
21073 Hamburg
Tel.: +49 (0) 40 1 42878 3231
E-Mail: krause@tuhh.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulf Kletzin
(Sprecher für Lehre & Weiterbildung)
Fachgebiet Maschinenelemente
Technische Universität Ilmenau
Max-Planck-Ring 12
98693 Ilmenau
Tel.: +49 (0) 3677 1 69-2471
E-Mail: ulf.kletzin@tu-ilmenau.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kirchner
(Sprecher für Maschinenelemente und
-systeme)
Fachgebiet Produktentwick-
lung und Maschinenelemente
Technische Universität Darmstadt
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt
Tel.: +49 (0) 6151 1 1621171
E-Mail: kirchner@pmd.tu-darmstadt.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard
(Sprecher für Virtuelle Produktentwick-
lung)
Lehrstuhl für Digital Engineering
Ruhr Universität Bochum
Universitätsstraße 150
44801 Bochum
Tel.: +49 (0) 234 1 32-27009
E-Mail: detlef.gerhard@rub.de

Ordentliche Mitglieder:

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

Mitglieder im Ruhestand:

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl (Technische Universität Darmstadt), Prof. Dr.-Ing. Fatih Babalik (Uludağ Üniversitesi), Prof. Dr.-Ing. Bernd Bertsche (Universität Stuttgart), 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 Dieters (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), Prof. em. Dr.-Ing. Heinz Peeken, Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart (Technische Universität München), Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg (Universität Bayreuth), Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Laurenz Rinder, Prof. Dr.-Ing. Bernd Sauer (Technische Universität Kaiserslautern), Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Schorcht (Technische Universität Ilmenau), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dieter

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

Industriekreis:

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

Stand: Juli 2024
Internet: www.wigep.de
Auflage: 800 Exemplare
ISSN 1613-5504
Redaktion: Kevin Herrmann, Max Leo Wawer

Herausgeber: Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP e.V.
c/o Institut für Produktentwicklung und Gerätebau

An der Universität 1
30823 Garbsen

