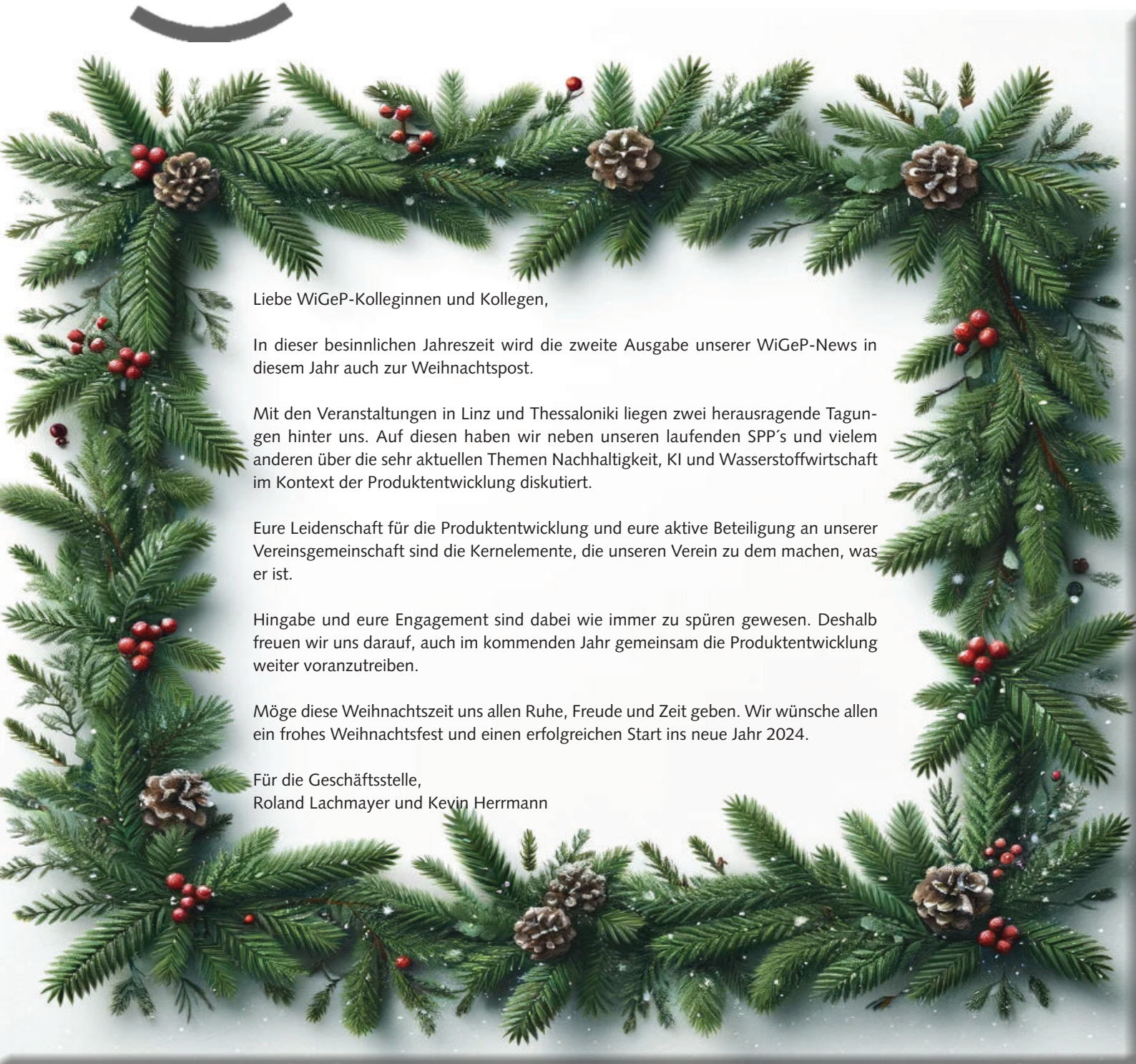
WiGeP
Wissenschaftliche Gesellschaft
für Produktentwicklung

NEWS

Mitteilungen der WiGeP
Ausgabe 2/2023



Liebe WiGeP-Kolleginnen und Kollegen,

In dieser besinnlichen Jahreszeit wird die zweite Ausgabe unserer WiGeP-News in diesem Jahr auch zur Weihnachtspost.

Mit den Veranstaltungen in Linz und Thessaloniki liegen zwei herausragende Tagungen hinter uns. Auf diesen haben wir neben unseren laufenden SPP´s und vielem anderen über die sehr aktuellen Themen Nachhaltigkeit, KI und Wasserstoffwirtschaft im Kontext der Produktentwicklung diskutiert.

Eure Leidenschaft für die Produktentwicklung und eure aktive Beteiligung an unserer Vereinsgemeinschaft sind die Kernelemente, die unseren Verein zu dem machen, was er ist.

Hingabe und eure Engagement sind dabei wie immer zu spüren gewesen. Deshalb freuen wir uns darauf, auch im kommenden Jahr gemeinsam die Produktentwicklung weiter voranzutreiben.

Möge diese Weihnachtszeit uns allen Ruhe, Freude und Zeit geben. Wir wünsche allen ein frohes Weihnachtsfest und einen erfolgreichen Start ins neue Jahr 2024.

Für die Geschäftsstelle,
Roland Lachmayer und Kevin Herrmann

WiGeP Herbsttagung 2023 in Thessaloniki

Vom 27. bis zum 29. September 2023 fand die diesjährige Herbsttagung der WiGeP in der geschichtsträchtigen Stadt Thessaloniki, Griechenland, statt. Ein herzlicher Dank geht an Prof. Athanassios Mihailidis für die Einladung der Gesellschaft und die gelungene Veranstaltung.

Den Start machte bereits am Dienstagabend ein Get-together mit Abendessen. In entspannter Atmosphäre konnten die Teilnehmer erste Kontakte knüpfen und sich auf die kommenden Tage einstimmen.
Am Mittwoch, vor der eigentliche WiGeP-Tagung, fand ein erfolgreicher SPP-Workshop statt. Bei diesem war das Ziel unterschiedliche zukunftsweisende Themen der Produktentwicklung zu identifizieren, um für diese Förderungsideen zu beantragen. Am Abend folgte ein herzlicher Empfang in der Sky Bar und ein gemeinsames Abendessen im MET-Hotel, bei dem nicht nur kulinarische Genüsse, sondern auch fachliche Gespräche im Mittelpunkt standen.

Der Donnerstag stand ganz im Zeichen der Mitgliederversammlung. In dieser wurden neben den offiziellen Vereinspunkten auch Berichte aus Fach- und Arbeitsgruppen und den WiGeP-nahen Gesellschaften vorgetragen. Ein spannender Gastbeitrag von Prof. Kirsten Tracht, Vorsitzende unserer Partnergesellschaft der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Montage, Handhabung und Industrierobotik (WG MHI) rundete die Beiträge ab. Ein wichtiger Programmpunkt war die Wahl des neuen Vorstands der WiGeP. Für die Fachgruppe Virtuelle Produktentwicklung übernimmt Prof. Detlef Gerhard das Amt von Prof. Sandro Wartzack. Für die Querschnittsgruppe Lehre und Weiterbildung Prof. Ulf Kletzin das Amt von Prof. Sven Matthiesen. Damit setzt sich für das kommende Jahr 2024 der Vorstand aus Prof. Roland Lachmayer, Prof. Dieter Krause, Prof. Eckhard Kirchner, Prof. Detlef Gerhard und Prof. Ulf Kletzin zusammen.
Die Teilnehmer diskutierten über aktuelle Vereinsthemen, tauschten sich in Kaffeepausen und beim Mittagsimbiss aus. Zum Abschluss berichtete Prof. Paolo Ermanni von der kommenden Frühjahrstagung in St. Gallen mit dem Gastgeber Stadler Rheintal AG unter dem Thema nachhaltige Mobilität.

Der Abend wurde mit einem Galadinner im B-Restaurant abgerundet. Hier wurde Prof. Athanassios Mihailidis herzlichst gedankt für die tolle Veranstaltung und das herausragende Begleitprogramm. Weiterhin stand auf der diesjährigen Herbsttagung der WiGeP nicht nur der fachliche Austausch und Wissenstransfer im Mittelpunkt, sondern auch die Ehrung von herausragenden Leistungen und innovativen Projekten.

Bild 2: Prof. Mihailidis und Prof. Krause bei der Übergabe des Gastgeschenksmen

Der renommierte Pahl-Beitz-Preis wurde in diesem Jahr an Andreas Lindenmann verliehen. Seine herausragende Dissertation widmet sich dem Schwingungsverhalten des menschlichen Hand-Arm-Systems. Seine Arbeit hebt sich nicht nur durch ihre wissenschaftliche Tiefe hervor, sondern auch durch ihren Beitrag zur Verständniserweiterung in diesem wichtigen Forschungsbereich. Die WiGeP würdigt damit nicht nur den Forscher selbst, sondern auch die Relevanz seiner Arbeit für die Produktentwicklung.
Die Innovation-Awards der drei Fachgruppen gingen dieses Jahr an ein herausragende Nachwuchsforschenden. Ihre innovativen Leistungen tragen maßgeblich zur Weiterentwicklung der Produktentwicklung bei. Die Preisträger im Bereich Maschinenelemente und -systeme sind

Bild 1: Gruppenbild

Bild 3: Preisträger zusammen mit ihren Betreuer*innen

Emil Heyden und Urs Hofmann für die Veröffentlichung des ersten additiv gefertigten Hydraulikdämpfers. Philipp Sembdner und Stefan Holtzhausen im Bereich Methoden und Prozessen für die Nutzung von Bildgebungsdaten für die individuelle Implantatentwicklung. Im Bereich virtuelle Produktentwicklung Benjamin Kraus für die Nutzung von sensorischen Funktionen in Designelementen.

Der letzte Tag der diesjährigen WiGeP Herbsttagung begann mit den Fachgruppensitzungen, die den Teilnehmern die Gelegenheit boten, sich in kleinen Gruppen intensiv mit spezifischen Themen auseinanderzusetzen. Im Anschluss kam es zu spannenden Demonstrationen und Vorträgen zu den Innovationen bei BETA CAE Systems SA. Das Unternehmen ermöglichte den Teilnehmern Einblicke in ihre neuesten Entwicklungen und Technologien. Der Ausklang des Tages und der gesamten Veranstaltung fand im Ergon-Agora, in einem stimmungsvollen Ambiente mit köstlichen griechischen Spezialitäten, statt. Ein gelungener Abschluss für drei Tage intensiven Austauschs und Wissenstransfers.

Der Vorstand dankt allen Teilnehmenden, Referenten und Organisatoren für ihr Engagement und freut sich auf die kommende Frühjahrstagung in St. Gallen.

Für die WiGeP
Emil Heyden, M.Sc.
Kevin Herrmann, M. Eng.

Kreislaufwirtschaft durch digitale Plattformen

Förderung nachhaltiger Geschäftsmodelle und Open Innovation in der Möbel- und Ausstattungsbranche

Die Möbel- und Ausstattungsindustrie steht heute vor einer Vielzahl von Herausforderungen, darunter die Notwendigkeit flexiblerer Geschäftsmodelle im Zeitalter von Coworking-Büros sowie das steigende Umweltbewusstsein und strengere Umweltauflagen. Dies wirft die Frage auf, wie die Branche ihre Produkte in Kreislaufsysteme integrieren kann. Das Forschungsprojekt „PERMA“ - Plattform zur effizienten Ressourcenauslastung in der Möbel- und Ausstattungsindustrie, gefördert im Rahmen des ReziProk-Programms des BMBF [1], widmete sich diesen Herausforderungen. Ziel des Projekts war es, geeignete Geschäftsmodelle zur Verlängerung der Produktnutzungsdauer u.a. in den Bereichen Möbel und Ausstellung zu entwickeln und diese auf einer digitalen Plattform umzusetzen.

KREISLAUFFÄHIGE GESCHÄFTSMODELLE

Diese entwickelten Geschäftsmodelle sind an den sogenannten „R-Strategien“ ausgerichtet und zielen darauf ab, den Lebenszyklus des Produktes zu verlängern, den Verbrauch von Primärressourcen zu reduzieren und die Wiederverwertung von Materialien zu fördern. Auf der Plattform sind sie im Sinne des „Product-as-a-Service“-Ansatzes gestaltet, bei dem das Produkteigentum beim Hersteller bleibt, und das Produkt gegen eine Nutzungsgebühr für die Kunden bereitgestellt wird. Ein Planer fungiert als Vermittler zwischen Hersteller und Kunden und koordiniert Logistik- und Serviceunternehmen für alle im Produktlebenszyklus anfallenden Reparatur- und Wiederaufbereitungsmaßnahmen.

PLATTFORMGESTALTUNG

Die PERMA Plattform zur Förderung von Kreislaufwirtschaft vernetzt alle Stakeholder der Branche, indem sie den Austausch von ressourceneffizienten Konstruktions- und Produktionslösungen für den Möbelbau ermöglicht. Hierfür ist die Plattform zwei Bereiche geteilt (siehe Bild 1): dem PERMA Binnenmarkt und der Open Innovation Plattform. Der PERMA Binnenmarkt fungiert als zentraler Knotenpunkt für die Bündelung von Aktivitäten, die es den Hauptstakeholdern (Hersteller, Planer und Dienstleister) ermöglichen, die entwickelten Geschäftsmodelle in die Praxis umzusetzen und einen Kreislauf zu etablieren. Die Aktivitäten zur Vermittlung der Möbel und Herstellung der Kreislaufwirtschaft sind je nach Stakeholder unterschiedlich. So hat z.B. der Planer u.a. die Möglichkeit einen Merkzettel zu erstellen, den Hersteller über die Plattform anzufragen und den Dienstleister zu beauftragen. Der Hersteller wiederum kann die Möbel auf die Plattform stellen (vgl. Bild 3). Hierfür müssen verschiedene Angaben wie Zustand, Anzahl der Nutzungsperioden und Verfügbarkeit gemacht werden. Währen ein Dienstleister über die Plattform beauftragt werden kann,umfassen seine Aufgaben auch das Hochladen der Dokumentation wie Lieferungsschein oder Wartungsschein. Um diese Aktivitäten und Geschäftsmodelle auf der Plattform umzusetzen, wurden zunächst IST und SOLL Zustände aufgenommen, diese in benötigte Plattformprozesse umgewandelt, in BPMN 2.0 beschrieben und anschließend als User Stories formuliert [2]. Die digitale Plattform erhält somit entscheidende Kernfunktionen und erforderliche Datenschnittstellen, die in ein umfassendes Detailkonzept integriert wurden. Auf der Grundlage dieser Prozesslandschaft wurde erfolgreich ein Design-Prototyp der Plattform entwickelt, der kontinuierlich weiterentwickelt wird (vgl. Bild 2). Die Open Innovation Plattform

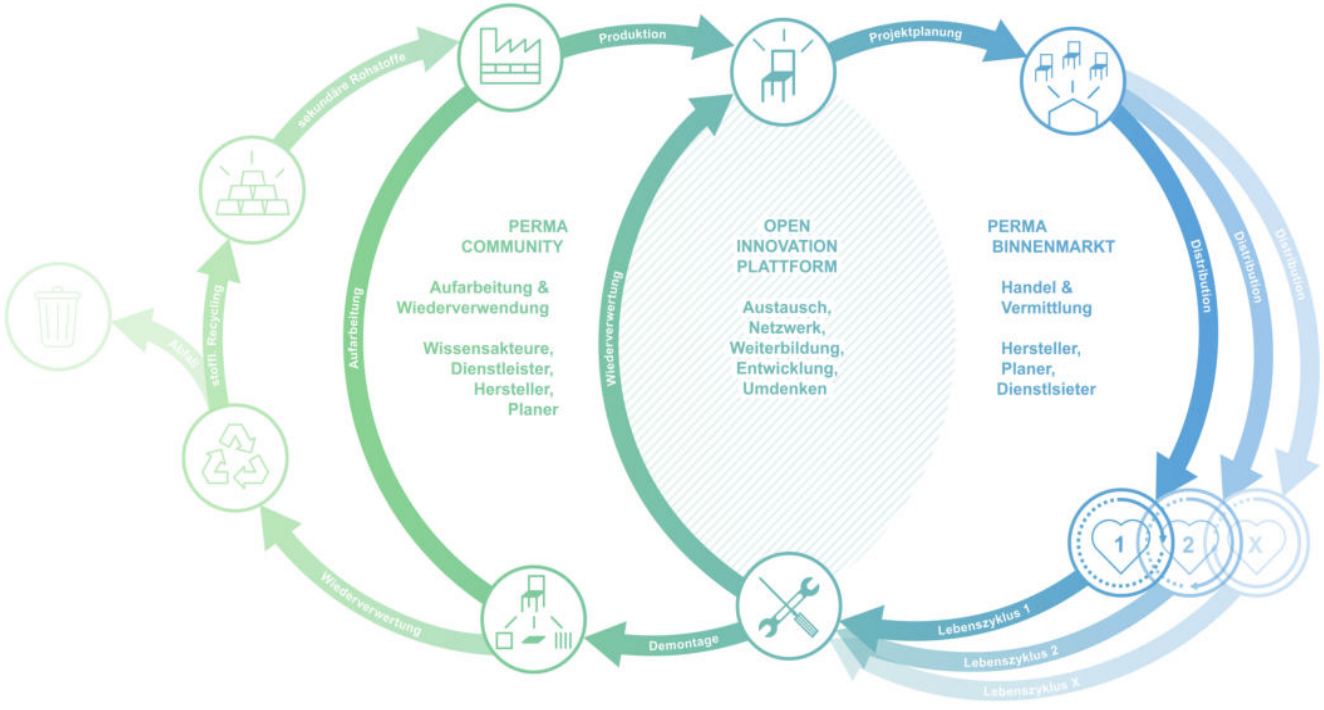


Bild 1: Aufbau der digitalen Plattform zur Förderung von Kreislaufwirtschaft und Open Innovation

dient zum Austausch, Netzwerken, Weiterbildung und vor allem zum Entwickeln und Umdenken.
Es wurde untersucht, wie ein Community-Bereich gestaltet werden muss, in dem ein offener Austausch von Ideen und Inhalten stattfinden und gefördert werden kann. Der Bereich der Open Innovation Plattform bietet hierfür Funktionen wie ein WIKI zur gemeinschaftlichen Sammlung und Dokumentation von Erfahrung und Wissen, eine Wissensbasisbibliothek und die Möglichkeit zur aktiven Teilnahme an einem Wissensaustausch und Vernetzen durch Foren und Blogbeiträge (vgl. Bild 4).
Auf der Open Innovation Plattform sind neben den Hauptstakeholdern auch alle anderen an Kreislaufwirtschaft Interessierten willkommen. Denn um Kreislaufwirtschaft zu erreichen, muss neben den direkten Stakeholdern auchandere Stakeholder eingebunden werden. Diese Stakeholder, auch Community genannt, bestehen neben den Hauptsstakeholdern aus Wissensakteuren, Kunden, Kammern und Vereinen, Journalisten und mehr. Der Prototyp ist unter der Webadresse https://perma-mvp.anaqor.io/#/ zu erreichen.

Bild 2: Landingpage des Prototypen

FAZIT

Die Erkenntnisse aus dem Projekt „PERMA“ tragen dazu bei, nachhaltigere und ressourceneffizientere Geschäftsmodelle in der Möbel- und Ausstattungsindustrie zu etablieren und die Auswirkungen auf die Umwelt zu minimieren.

LITERATUR

[1] ReziProk, PERMA. [Online]. Available: https://innovative-produktkreislaeufe.de/Projekte/PERMA.html (accessed: Nov. 4 2022).
[2] J. Balder, C. Mathi, L. Hagedorn, and R. Stark, “Digital platform engineering to enable circular-economy core mechanism,” Procedia CIRP, vol. 119, pp. 199–204, 2023, doi: 10.1016/j.procir.2023.03.092.

AUTOREN

Juliane Balder
Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark
Fachgebiet Industrielle Informationstechnik
TU Berlin

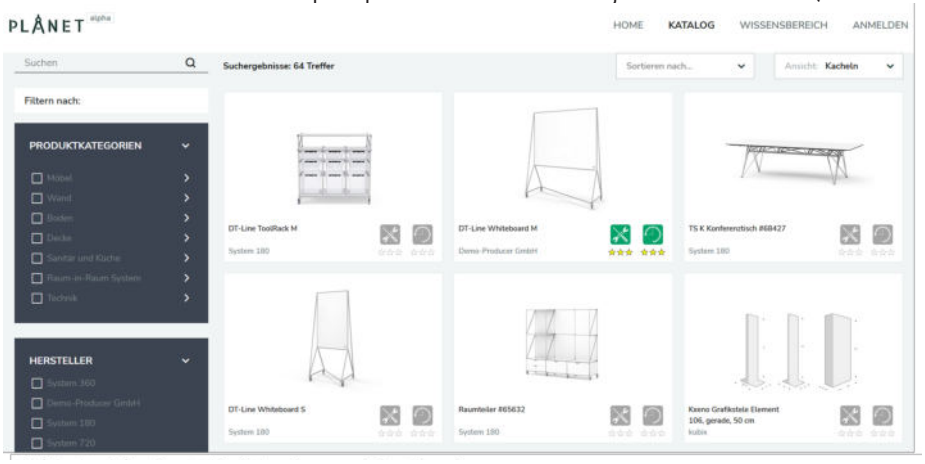


Bild 3: Ansicht des Möbel-Katalogs auf der Plattform

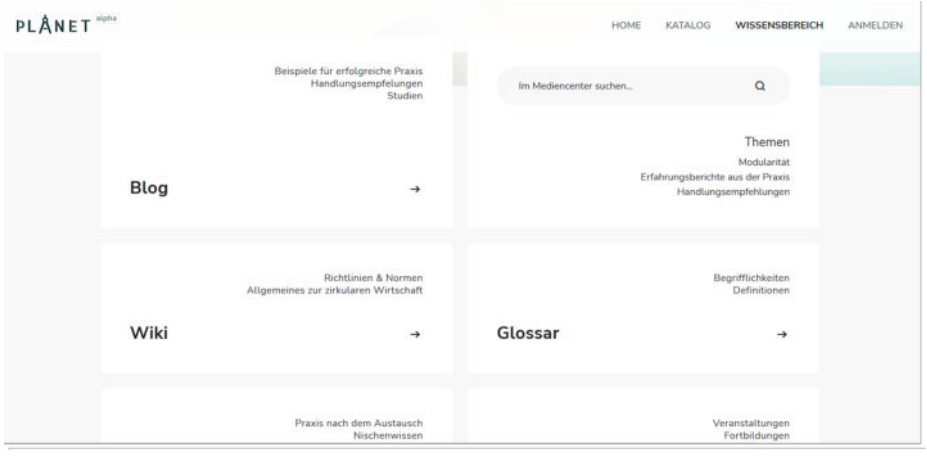


Bild 4: Ansicht des Möbel-Katalogs auf der Plattform

Schwerpunktprogramm SPP 2305 „Sensorintegrierende Maschinenelemente“ der DFG

Bericht zum Zwischenkolloquium im Oktober 2023 und Ausblick auf die weitere Forschung

Zur Erforschung der wissenschaftlichen Grundlagen für sensorintegrierende Maschinenelemente (SiME) und deren methodisch gestützte Konzeptionierung und Systemintegration wurde seitens der DFG im Mai 2020 das Schwerpunktprogramm „Sensorintegrierende Maschinenelemente als Wegbereiter flächendeckender Digitalisierung“ (SPP 2305) beschlossen. In einer deutschlandweiten Ausschreibung wurden zehn Verbundvorhaben zur Erforschung der Grundlagen zur Integration von Sensorsystemen in standardisierte Maschinenelemente wie Schrauben, Lager und Zahnräder ausgewählt.

ZWISCHENKOLLOQUIUM NACH ZWEI JAHREN GEMEINSAMER FORSCHUNG

Seit mittlerweile zwei Jahren läuft die erste Förderperiode des SPP 2305. Im bisherigen Programmverlauf fanden bereits eine Vielzahl von Arbeitskreistreffen und Kolloquien statt, in denen sich Doktoranden wie Professoren über die aktuellen Themen und Fragestellungen im Bereich der Sensorintegration in Maschinenelemente austauschen konnten.

Als jüngste Zusammenkunft wurde das dritte Kolloquium im Oktober 2023 in den Räumlichkeiten der Technischen Universität München am Campus Garching abgehalten. Während des zweitägigen Formats standen wegweisende Themen zur ersten und zweiten Förderperiode auf der Agenda. Besonders hervorzuheben ist hierbei die erfolgreiche Positionierung der Kernthemen des SPP 2305 in der internationalen Forschungslandschaft.

Auf Initiative von Prof. Dr.-Ing habil. Thomas Wallmersperger (TU Dresden) konnte aus sieben Projekten auf der ECCOMAS/SMART2023 Konferenz im Juli 2023 in Patras, Griechenland berichtet werden. Aus dem SPP 2305 heraus wurde zudem erfolgreich ein Review-Paper ‚A Review on Sensor-integrating Machine Elements‘ mit 44 Autoren zu sensorintegrierenden Maschinenelementen verfasst und zur Publikation angenommen.

Zur Dokumentation der Ergebnisse des SPP 2305 und den Transfer in die Öffentlichkeit wird bis zum Abschluss der ersten Förderperiode eine Wissensdatenbank in Form eines Wikis aufgebaut. Im Vordergrund stehen dabei die Vernetzung und Verlinkung des erarbeiteten Wissensschatzes im interdisziplinären Kontext. Für eine große Reichweite wird das Wiki in englischer Sprache verfasst und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Damit werden die Ergebnisse des SPP 2305 die zukünftige Forschung auf diesem Themengebiet maßgebend prägen.

Einen Blick über den Tellerrand der eigenen Forschung konnten die Teilnehmer während des Impulsvortrages von Dr. Hirokuni Hachiuma (Komatsu Ltd.) werfen. Dessen Präsentation über das System einer sensorintegrierende Ölablassschraube mit thermoelektrischem Energy Harvester, welches bereits erfolgreich zur drahtlosen Überwachung eingesetzt wird, sorgte für eine rege Diskussion.

Im kommenden Jahr 2024 können sich die Projekte auf Initiative von Prof. Dr.-Ing. Berthold Schlecht (TU Dresden) in einer eigenen Session auf dem Dresdner Maschinenelemente Kolloquium (DMK) präsentieren. Im Vorfeld des DMK werden zudem die Gewinner des Studierendenwettbewerbs ermittelt. Der Wettbewerb sieht vor, eine sensorintegrierende, 3D-gedruckte Kugel für verschiedene Messaufgaben zu entwerfen und zu programmieren [1]. An zahlreichen Hochschulen der beteiligten Projekte konnten sich Studierendenteams zusammenfinden und für den sechsmonatigen Wettbewerb bewerben.

ZWEITE FÖRDERPERIODE

Im Herbst 2024 steht die Summer School sowie das Abschlusskolloquium der ersten Förderperiode in München an. Das Ende der ersten Förderperiode ist aber gleichzeitig der Startschuss für die zweite Förderperiode, dann mit Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kirchner als Sprecher. So starten ab Anfang 2025 wieder eine Reihe von Projekten, um auf Basis der Ergebnisse der ersten Förderperiode, beziehungsweise basierend auf anderen Vorarbeiten, autarke Sensorsysteme in Maschinenelementen zu entwickeln. Waren in der ersten Förderperiode noch kabelgebundene Systeme toleriert, so werden in der zweiten Förderperiode völlig autarke Systeme entwickelt, die ohne kabelgebundene Energie- und Signalübertragung voll funktionsfähig sind. Wichtig ist dabei neben der Autarkie die Fähigkeit der sensorintegrierenden Maschinenelemente zur drahtlosen Aktualisierung der Software, um auch langfristig im Systemkontext voll funktionsfähig zu bleiben.

ROLLE DER ARBEITSKREISE

Die in der ersten Förderperiode des SPP 2305 initiierten Arbeitskreise mit den The-

Bild 1: Gruppenfoto der Teilnehmer des dritten Kolloquiums im Oktober 2023

menfeldern „Wechselwirkung von Sensorsystem und Maschinenelement“ (Sprecher: Dr.-Ing. M. Otto, TU München), „Betriebsstrategie“ (Sprecher: Dr.-Ing. F. Keil, TU Darmstadt) und „Mikrosystemtechnik“ (Sprecher: P. Welzbacher, TU Darmstadt; Vorgänger: Dr.-Ing. T. Gwosch, KIT) werden im Rahmen der zweiten Förderperiode weiterhin eine zentrale Rolle innerhalb des SPP einnehmen. Um einen projektübergreifenden Wissensaustausch zwischen den Bearbeiterinnen und Bearbeitern zu fördern und forcieren, werden neben den regelmäßigen Online Diskussionstreffen auch weiterhin Arbeitskreistreffen stattfinden. Die Online Diskussionstreffen haben sich dabei bereits in der ersten Förderperiode als niederschwellige Austauschplattform der Bearbeiterinnen und Bearbeitern zu relevanten, aktuellen Themenkomplexen bewährt, die durch die Arbeitskreissprecher vorbereitet und moderiert werden. Demgegenüber bieten die zweitägigen Arbeitskreistreffen in Präsenz eine Plattform für umfangreichere Diskussionen insbesondere hinsichtlich des prinzipiellen systematischen Vorgehens bei der Entwicklung, Integration und Erprobung sensorintegrierender Maschinenelemente. Hierdurch ist es möglich einen regelmäßigen projektübergreifenden Wissensaustausch zu gewährleisten, um die Effektivität und Effizienz der jeweiligen Projektbearbeitungen zu maximieren.

DANKSAGUNG

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

LITERATUR

[1] https://www.spp2305.de/studierendenwettbewerb/

AUTOREN

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

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

Nachhaltige Kreislaufwirtschaft durch Zuverlässigkeitsprognosen

Prognose der Zuverlässigkeit ermöglicht Entscheidungsgrundlage für die Aufarbeitung von Produkten

Die Aufarbeitung von Produkten und deren Teilsystemen im Remanufacturing gewinnt angesichts der Bedeutung von langfristiger Ressourcennutzung für die Wertschöpfung in Hochtechnologiestandorten zunehmend an Bedeutung. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Entscheidung, wie Produkte aufgearbeitet werden können, um ihre Funktionen in der erforderlichen Güte in der nächsten Nutzungsphase erfüllen zu können. Dies beinhaltet beispielsweise die Frage, welche Teilsysteme ausgetauscht oder aufgearbeitet werden müssen. Dazu ist eine Prognose der Zuverlässigkeit auf Teilsystem- und Systemebene erforderlich.

GÜTE DER FUNKTIONSERFÜLLUNG ZENTRAL FÜR ZUVERLÄSSIGKEIT

Die Zuverlässigkeit eines Systems ist definiert als seine Fähigkeit, eine geforderte Funktion unter bestimmten Bedingungen und über einen bestimmten Zeitraum zu erfüllen. Von zentraler Bedeutung ist dabei, dass sich die Zuverlässigkeit nicht nur auf strukturelle Ausfälle beschränkt, sondern insbesondere auf die Güte der Funktionserfüllung abzielt. Diese ist beispielsweise auch bei zu starken Vibrationen nicht mehr gegeben, obwohl das Produkt prinzipiell noch funktioniert. Dabei müssen unterschiedliche Nutzergruppen und Anwendungsfälle mit ihren spezifischen Produktanforderungen berücksichtigt werden.

ZUVERLÄSSIGKEITSMODELLE FÜR FUNDIERTE ENTSCHEIDUNGEN

Um Zuverlässigkeitsmodelle als Grundlage für Entscheidungen zur Aufarbeitung nutzen zu können, müssen sie mit relevanten Daten parametriert werden. Die Daten können aus unterschiedlichen Quellen, wie Datenloggern, Digital Twins, Prüfstandsversuchen oder Analysen von Gebrauchtprodukten stammen. Die Erfassung und Verarbeitung von Daten auf Komponenten- und Teilsystemebene stellt eine Herausforderung dar. Ein Ansatz zur Lösung dieser Herausforderung ist die Datenerfassung an X-in-the-Loop-Prüfständen [1,2]. Auch die Integration virtueller und physikalischer Sensoren, beispielsweise als Teil sensorintegrierter Maschinenelemente [3], kann dabei unterstützen, relevante Größen für die Zuverlässigkeitsprognose auch in schwer untersuchbaren Teilsystemen erfassen zu können.

BERÜCKSICHTIGUNG VON UNSICHERHEITEN

Die Einzigartigkeit von aus dem Feld zurückkehrenden Produkten und der daraus resultierenden Daten beeinflussen die Zuverlässigkeitsprognose erheblich. Eine umfassende Verarbeitung der entstehenden Unsicherheiten und ihre Integration in die Zuverlässigkeitsmodelle sind entscheidend. Durch die Integration von Unsicherheiten und die Parametrisierung mit unterschiedlichen Daten, unter anderem aus sensorintegrierten Maschinenelementen und Daten aus X-in-the-Loop-Prüfständen, schaffen diese Modelle eine praxisrelevante Basis für die Weiterentwicklung im Bereich der Zuverlässigkeitsprognose auf Teil- und Systemebene.

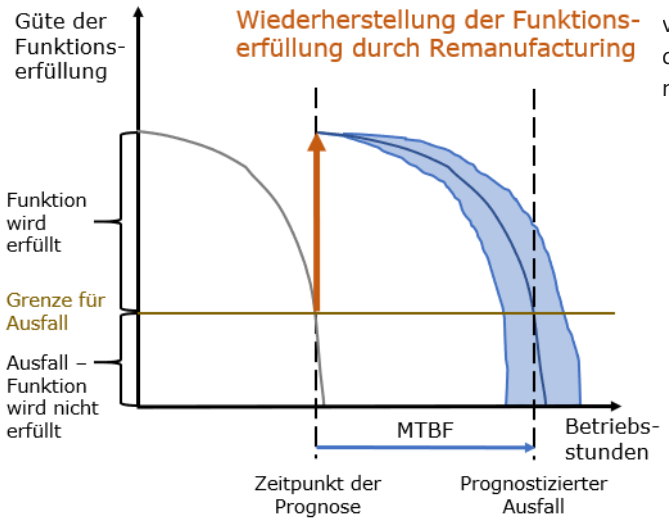


Bild 1: Zuverlässigkeitsprognose für nächste Nutzungsdauer. Eine zentrale Kennzahl ist der Erwartungswert der mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen (MTBF).

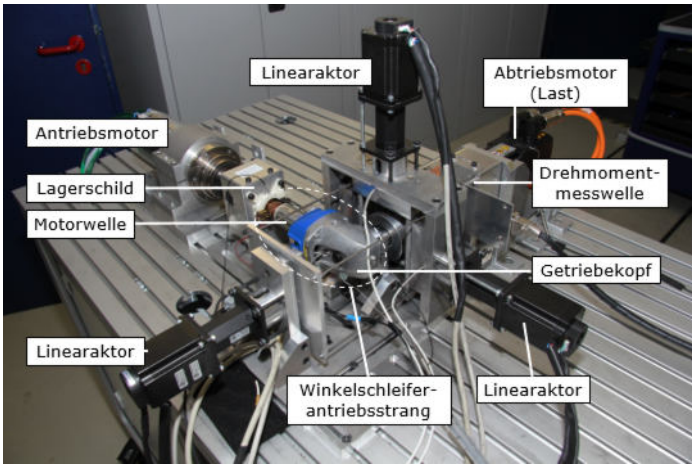


Bild 2: Prüfstand zur Datenerhebung auf Teilsystemebene [1].

LITERATUR

[1] Matthiesen, S.; Gwosch, T.; Mangold, S.; Dültgen, P.; Pelshenke, C.; Gittel, H.-J., Realitätsnahe Komponententests zur Unterstützung der Produktentwicklung bei der Validierung von Power-Tools, 2017. Konstruktion, 69 (7-8), 76–81. DOI: 10.1007/s10010-016-0203-z

[2] Steck, M.; Gwosch, T.; Matthiesen, S., Scaling of Rotational Quantities for Simultaneous Testing of Powertrain Subsystems with Different Scaling on a X-in-the-Loop Test Bench, 2021. Mechatronics, 71 (4). DOI: 10.1016/j.mechatronics.2020.102425.

[3] Peters, J.; Ott, L.; Dörr, M.; Gwosch, T.; Matthiesen, S., Sensor-integrating gears: wear detection by in-situ MEMS acceleration sensors, 2022. Forschung im Ingenieurwesen, 86 (3), S. 421–432. DOI: 10.1007/s10010-021-00575-7.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
Matthias Dörr, M.Sc.
Dr.-Ing. Patric Grauberger
IPEK – Institut für Produktentwicklung
Lehrstuhl für Gerätekonstruktion und Maschinenelemente
KIT – Karlsruher Institut für Technologie

Forschungsbau SCALE - skalierbare Produktionssysteme der Zukunft

Die Skalierung von Produkten stellt große Herausforderungen für die Produktentwicklung und darin etablierte Methoden, aber auch einsetzbare Produktionssysteme dar. Somit resultieren steigende An-forderungen an die Flexibilität der einzusetzenden Maschinen und Herausfordeungen für eine skalen-übergreifende Produktion, welche im Forschungsbau SCALE (siehe Bild 1) der Leibniz Universität Hanno-ver adressiert werden. Hierzu werden große Maschinen zur Fertigung, Montage und Prüfung von so-wohl großen als auch kleinen Bauteilen entlang der Wertschöpfungskette und des Produktlebenszyklus eingesetzt. Insgesamt 11 Institute sind hierfür mit Großgeräten und Mitarbeitenden am SCALE beteiligt. Auch die WiGeP-Mitglieder Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer (Institut für Produktentwicklung und Gerätebau, IPeG) und Prof. Dr.-Ing. Gerhard Poll (Institut für Maschinenkonstruktion und Tribologie, IMKT) sind für spannende Forschungsprojekte im SCALE-Forschungsbau vertreten. Seitens des IPeG um Prof. Lachmayer steht eine Anlage zur metallbasierten Additiven Fertigung von bis zu 2.000 mm großen Bau-teilen sowie ein mehrachsiger, dynamischer Belastungsprüfstand (Bild 2) für bis zu 5.000 mm große Bauteile unter Lasten von bis zu 110 kN und 100 Hz für

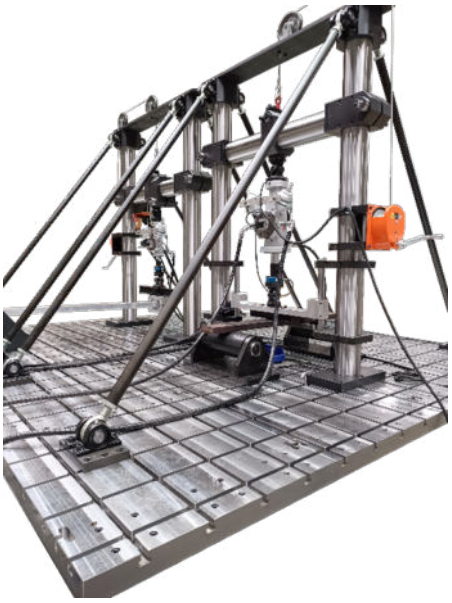


Bild 2: Mehrachsiger, dynamischer Belastungsprüf-stand.

Bild 1: Gebäude des Forschungsbau SCALE

spannende Forschungsprojekte bereit. Das IMKT um Prof. Poll wird ebenso mit seinen Getriebe- und Großlagerprüfstand weitere Forschungsprojekte im Bereich der Großbauteile betreiben.

Ein Beispiel zur Abbildung der anvisierten Forschungsprogrammatik im SCALE lässt sich an sensorinteg-rierenden, gentelligenten Großbauteilen erklären. Ein solches könnte u. a. ein Flügelmittelkasten als Teil einer Flugzeugtragfläche darstellen. Dieses Bauteil lässt sich auf der modularen Werkzeugmaschine vom IfW im SCALE fertigen. Anschließend lassen sich Dehnungsmessstreifen (DMS) als Sensoren mit der mobilen Beschichtungsanlage des IMPT auf die Bauteiloberfläche aufbringen. Am mehrachsigen dyna-mischen Belastungsprüfstand des IPeG werden anschließend Nutzungsszenarien abgebildet, wobei die DMS sowohl anliegende Belastungen als auch auftretende Schäden erfassen sollen. Treten solche Schä-den auf, stellt das CT mit einer Co-60 Strahlenquelle vom IW eine Analysemöglichkeit dar, um betroffe-ne Bereiche zu identifizieren. Werden diese abgetrennt, kann das Bauteil auf der Anlage zur Additiven Fertigung des IPeG mittels Additive Repair repariert werden. Durch Nutzung der Pulververdüsungsanlage des IW kann das dazu benötigte Pulver aus den Spänen des Fertigungsprozesses des Flügelmittelkastens gewonnen werden. Dieses Beispiel demonstriert, wie die Anlagen der verschiedenen Institute im SCALE gemeinsam entlang der Wertschöpfungskette eingesetzt werden können. Ebenso lassen sich For-schungsprojekte, wie das Teilprojekt „Integrierte Sensorik für Großwälzlager“ von Prof. Poll im SPP 2305 mit der vorhandenen Ausstattung im SCALE Forschungsbau umsetzen. Die WiGeP freut sich in je-dem Fall ihren beiden Mitgliedern zu den Flächen, Anlagen und Forschungsmöglichkeiten im SCALE zu gratulieren und zukünftig von spannenden Projekten darin zu berichten.

AUTOREN

Sören Meyer zu Westerhausen, M. Sc.
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer
Institut für Produktentwicklung und Gerätebau
Leibniz Universität Hannover

Effiziente, virtuelle Entwicklung individueller Medizinprodukte

motego als Wegbereiter für die zertifizierungsgerechte Entwicklung innovativer Medizinprodukte

Individuelle Medizinprodukte versprechen Patientinnen und Patienten eine optimal abgestimmte Versorgung [1]. Die moderne Medizin erhebt bereits während der Diag-nostik umfassende Daten zu dem Men-schen und seinem Krankheitsbild. Auf Basis dieser Daten können individualisierte Medi-zinprodukte entwickelt werden. Die Entwick-lung individualisierter Medizin-produkte stellt Hersteller und Zulieferer allerdings vor ver-schiedene Herausforderungen: Erhobene Daten, wie die patientenindividuelle Geo-metrie des Skeletts und seine Belastungen oder individuelle Bedürfnisse (beispielsweise der Bedarf an eine zügige Rehabilitation oder minimale Beweglichkeitseinschrän-kung) liegen in verschiedenen Unterlagen oder unabhängigen Modellen vor, deren Schnittstellen nur teilweise kompatibel sind. Eine effiziente Individualisierung ist daher durch den derzeitigen Entwicklungsansatz nicht möglich. Teilprozessschritte der Indivi-dualisierung, wie beispielsweise die Anpas-sung und Optimierung des Designs hinsicht-lich der individuellen Belastung, können aufgrund intransparenter Datenschnittstellen nur durch zeitaufwändige Iterationsprozesse erfolgreich durchgeführt werden. Für die letztendliche Marktzulassung müssen indivi-dualisierte Medizinprodukte strenge, regula-torische Anforderungen erfüllen, die u.a. Prüfungen zum Nachweis der Sicherheit oder Nachweise der klinischen Leistung und des Nutzens erfordern. Diese Nachweise können jedoch nicht für jedes individualisier-te Produkt vollumfänglich durch den Her-steller erbracht werden, da sie zeit- und kostenaufwändig sind und das Produkt oft zeitnah zur Verfügung stehen muss. Daher bieten Ansätze zur modellbasierten Prädik-tion der Funktionalität und Wirksamkeit von Medizinprodukten das Potential, die Einfüh-rung individualisierter Medizinprodukte in die klinische Versorgung zu beschleunigen und in mehr Anwendungsgebieten zu ermögli-chen.

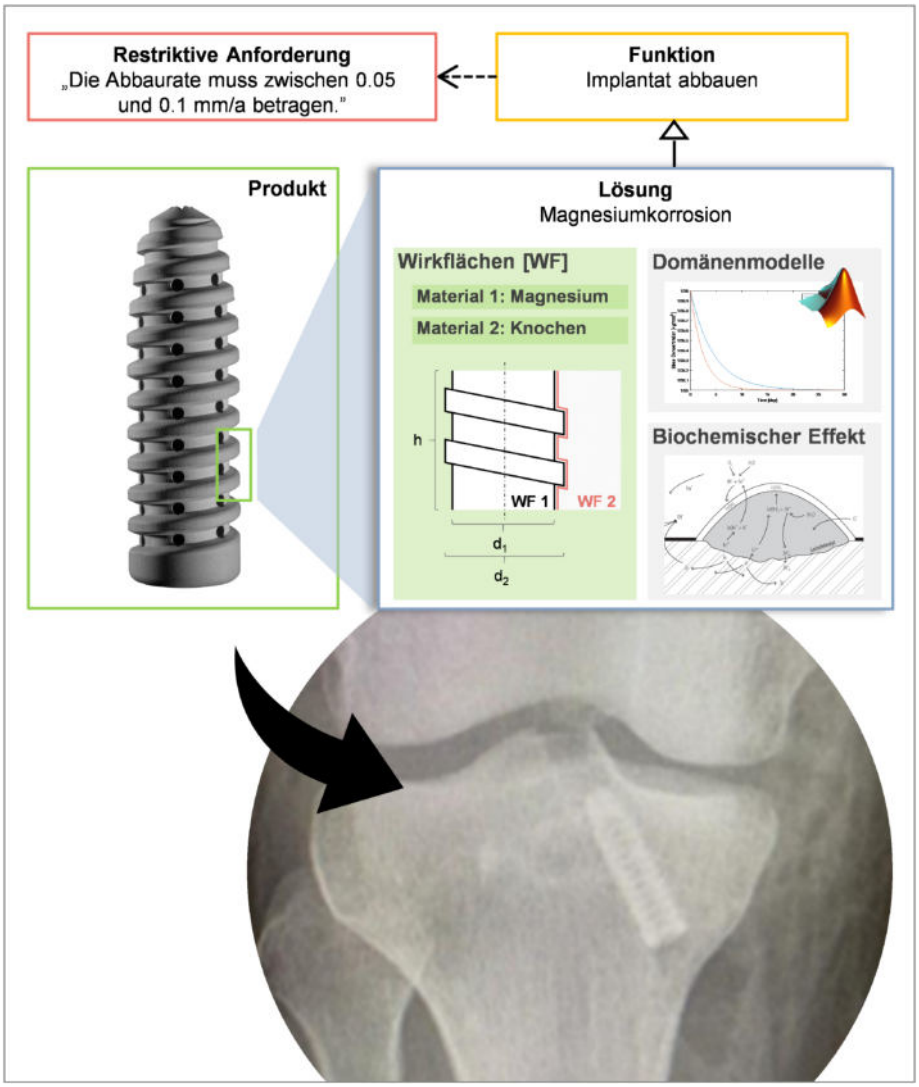


Bild 1: Virtuelle Medizinprodukteentwicklung mit motego. Darstellung eines resorbierbaren Implantats am Beispiel einer Interferenzschraube unseres Projektpartners Medical Magnesium [4].

MOTEGO FÜR MEDIZINPRODUKTE

Zur Überwindung dieser Herausforderungen werden am Institut für Maschinenelemente und Systementwicklung der RWTH Aachen (MSE) modellbasierte Systementwick-lungsmethoden für die effiziente, zertifizie-rungsgerechte Produktentwicklung individu-alisierter Medizinprodukte entwickelt. Diese Methoden basieren auf der ganzheitlichen Systementwicklungsmethode motego, wel-che am MSE initial für die Entwicklung mechatronischer Produkte entwickelt wurde (wir berichteten in WiGeP News, Ausgabe 2, 2022). Die Grundidee von motego besteht aus den Schritten Model, Test und Go, aus denen der Name der Methode gebildet worden ist. Im Schritt Model werden Ent-wicklungsdaten in einem Systemmodell in vier Kategorien (Anforderungen, Funktio-nen, Lösungen, Produktrealisierung) struktu-riert und durchgängig vernetzt. Die durch-gängige Verknüpfung erhöht die Transpa-renz von Abhängigkeiten, Entscheidungen und Individualisierungen in der Entwicklung. Im zweiten Schritt (Test) werden Simulati-onsmodelle zur virtuellen Absicherung inte-griert und diese im dritten Schritt (Go) au-tomatisiert in Workflows ausgeführt [2, 3].

Im Rahmen des RUBIN-Projektes „reACT – Resorbierbare Lösungen aus der Aachener Technologieregion" wird motego zur Entwicklung resorbierbarer Implantate für die optimale Versorgung von Weichteildefekten angewendet und erweitert. motego wird

hierfür im Wesentlichen um medizinische Daten und Modelle sowie um Analysen und Bewertungen des Risikos für die erfolgreiche Zertifizierung (Processes for Risk Assessment) erweitert:

Model. Das Systemmodell wird für die Entwicklung individualisierter Medizinprodukte um zertifizierungsrelevante sowie patientenindividuelle Anforderungen und Bedürfnisse erweitert und mit Restriktionen und funktionalen Anforderungen verknüpft. Funktionen und physikalische Effekte, auf deren Basis Lösungen entwickelt werden, sind für die Anwendung im Bereich der Mechanik endlich und bekannt und können mit motego gut abgebildet werden. Für die Anwendung von motego im Bereich der Medizintechnik konnten biochemische Funktionen identifiziert und formalisiert werden. Effekte, die diese spezifischen Funktionen umsetzen, können empirisch ermittelt und modelliert werden (beispiels-weise die Resorption von Magnesium durch den Organismus).

Test. Simulationsmodelle aus der medizinischen Domäne (z. B. biomechanisches Modell zur Berechnung der spezifischen Belastung, Modell zur Berechnung der Fes-tigkeit von Magnesium während der Resorp-tion) können äquivalent zu Modellen aus dem Engineering in das Systemmodell integriert und strukturiert werden. Um die biochemischen Prozesse während der Ein-heilung von resorbierbaren Implantaten nachvollziehbar in die Entwicklung zu integrieren und über die Zeit zu prüfen, wird das zeitlich veränderliche Produktverhalten abgebildet. Beispielsweise verändert sich die Festigkeit von Magnesium während der Resorption, die jedoch für eine erfolgreiche Versorgung einen spezifischen Grenzwert nicht unterschreiten sollte.

Go. Die konsistente Verknüpfung des Sys-temmodells mit den medizinischen Modellen bildet die Grundlage für die Definition von ausführbaren Workflows. Für die Anpas-sung des Medizinproduktes an patientenin-dividuelle Anforderungen werden folgende Workflows erarbeitet: Workflows zur Opti-mierung des patientenindividuellen Produkt-designs, Workflows zur Testung der patien-tenindividuellen Lösung und Workflows zur Überprüfung der Fertigbarkeit und Nutzung der Lösung. Durch die erarbeiteten Work-flows wird ein automatisierter Änderungs-prozess ermöglicht. Ergebnis des Ände-rungsprozesses ist ein individualisiertes Medizinprodukt, welches die patientenindivi-duellen und produktspezifischen Zulas-sungsanforderungen erfüllt.

Processes for Risk Assessment. Die neue EU-Medizinprodukteverordnung for-dert nicht nur ein technisch verifiziertes Produkt, sondern insbesondere ein für die Patienten technisch sicheres Produkt [2]. Um die Sicherheit des individualisierten Produktes nachzuweisen, wird motego um Prozesse der Risikoanalyse und -bewertung erweitert. Durch die Erarbeitung einer Schnittstelle zwischen dem Systemmodell und einer modellbasierten FMEA werden Daten aus der Produktentstehung an erforderliche Prozesse des Risikomanagements für Medizinprodukte weitergeleitet. Die technische Sicherheit kann somit auf Basis der weitergeleiteten Daten bereits prozessbegleitend bewertet werden.

Wir freuen uns, motego zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung weiter in die Anwendung zu bringen und kontinuier-lich auch für die Entwicklung innovativer Medizinprodukte weiterzuentwickeln.

LITERATUR

[1] acatech (Hrsg.) (2017): Individualisierte Medizin durch Medizintechnik (acatech POSITION). München: Herbert Utz Verlag.

[2] Jacobs, G., Konrad, C., Berroth, J., Zerwas, T., Höpfner, G. und K. Spütz (2022): Function-Oriented Model-Based Product Development. In: Krause, D., Heyden, E. (Hrsg.). Design Methodolo-gy for Future Products. Berlin: Spring-er, Cham.

[3] Lehrstuhl und Institut für Maschinene-lemente und Systementwicklung der RWTH Aachen. motego. URL: https://www.motego.info/

[4] Medical Magnesium GmbH. mm.IF Interference Screw. URL: http://www.medical-magnesium.com/produkte/

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing Georg Jacobs
Thilo Zerwas, M. Sc.
Franziska Wieja, M. Sc.
Lehrstuhl und Institut für Maschinenelemen-te und Systementwicklung
RWTH Aachen

RUBin
Regionale unternehmerische Bündnisse für Innovation

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Entwicklung nachhaltiger Produkte am Beispiel autonomer urbaner Serviceroboter

Projekt MURMEL (Mobiler Urbaner Roboter zur MüllEimer Leerung)

Service-Roboter und künstliche Intelligenz (KI) verändern zunehmend die Art und Weise, wie wir mit Technologie interagieren. Jede Art von Automation bringt einen tiefgreifenden Wandel mit sich. Neu ist in diesem Zusammenhang, dass zukünftige Roboter nicht mehr nur in der Fertigung oder in abgeschirmten und begrenzten Bereichen zum Einsatz kommen, sondern in der Öffentlichkeit operieren. Am Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik der Technischen Universität Berlin untersuchen wir am Beispiel des Projekts MURMEL nicht nur, wie ein Serviceroboter die Abfallwirtschaft in Großstädten verbessern kann, sondern auch wie ein zukünftiges System aus Robotern und intelligenter Infrastruktur in Bezug auf Nachhaltigkeit einzuordnen ist. Neben der funktionalen Entwicklung des Prototyps zur Machbarkeitsdemonstration analysieren wir daher bereits in der frühen Phase der Produktentstehung alle drei Dimensionen, die ökologische, die ökonomische und die soziale Nachhaltigkeit:

FUNKTIONALER PROTOTYP

Der Entwicklungsprozess des Prototyps orientierte sich an den VDI-Richtlinien 2221 und 2206. MURMEL wurde auf Basis einer modularen Produktarchitektur entwickelt [1]. Wir nutzen eine mobile Plattform des Herstellers Innok [2] mit Batterie-elektrischem Antrieb und Sensorik für die Navigation. MURMEL navigiert autonom zu Mülleimern mithilfe von Lidar, Ultraschallsensoren, GPS und Tiefenkameras. Ein Roboterarm, ebnenfalls mit einer Tiefenkamera bestückt, erkennt und öffnet Mülleimer, der Müll wird in einen drehbaren Auffangkorb gesammelt und in einer Längspresse verdichtet. Ein Extraktor entfernt den verdichteten Müll. Die erforderliche Software wurde komplett Rahmen des Projekts auf Basis von ROS entwickelt. Abbildung 1 zeigt den funktionalen Prototyp bei Funktionstests in Berlin. Für die Integration von MURMEL in den Müllentsorgungsprozess wurde ein „Mutterschiff-Konzept“ entwickelt. In einem Hilfsfahrzeug (Mutterschiff) wird der komprimierte Müll gesammelt und es werden, falls notwendig, Batteriewechsel von einem Service-Mitarbeiter durchgeführt. Ferner überwacht der Operator den reibungslosen Betrieb einer Flotten von Servicerobotern.

Bild 1: Funktionaler Prototyp von MURMEL bei Einsatztests in Berlin

ÖKOLOGISCHE NACHHALTIGKEIT

Für die ökologische Bewertung des Prototyps und des Prozesses wurde eine vollständige Lebenszyklusanalyse (LCA) mit dem Programm openLCA durchgeführt [3]. 18 ReCiPe-Indikatoren messen ökologische Auswirkungen, basierend auf definierten Anforderungen und Projektzielen [4]. Die Produktionsphase wurde anhand der CAD-Daten und der Stückliste des Prototyps mit der Datenbank Ecoinvent 3.8 und einer detaillierten Materialflussanalyse untersucht. Für unterschiedliche Sammelbezirke in Berlin wurden Prozesssimulationen durchgeführt und es wurden die Energiebedarfe sowohl für die Service Roboter als auch für das Mutterschiff ermittelt. Gegenüber dem bisherigen Prozess, Müllwerker entleeren die Papierkörbe manuell und transportieren den Müll zu dieselmotorisch betriebenen Sammelfahrzeugen, ergeben sich erhebliche Unterschiede. Im bisherigen Prozess dominieren die Emissionen der Dieselfahrzeuge, während im komplett elektrifiezierten Prozess mit MURMEL-Robotern die Emissionen aus der Produktionsphase stark ins Gewicht fallen. In Summe fallen gegenüber dem bisherigen Prozess ca. 50% weniger Treibhausgase an.

ÖKONOMISCHE NACHHALTIGKEIT

Die ökonomische Bewertung erfolgte mittels Life Cycle Costing (LCC). Basierend auf dem vorhandenen Prototyp und CAD Modellen wurden zahlreiche Verbesserungen konzipiert, die in ein zukünftiges Serienprodukt Service-Roboter einfließen werden. Dadurch können sowohl die Herstellungs- als auch die wartungs- und Instandhaltungskosten verringert werden. Ferner wurden die Kosten für Software-Entwicklungen sowohl für die Roboter als auch für ein zukünftiges „Operation Management Tool“ (siehe Abbildung2) abgeschätzt.
Die Betriebskosten des Gesamtsystems, bestehend aus Robotern, Assistenzfahrzeugen, und gegebenenfalls „intelligenten Mülleimern“, wurden auf Basis von umfangreichen Prozesssimulationen ermittelt und mit dem bisherigen Betrieb verglichen. Große Unsicherheiten bestehen dabei allerdings noch bei den zukünftigen Personalkosten.

SOZIALE NACHHALTIGKEIT

Im MURMEL-Projekt wird die soziale Nachhaltigkeit anhand einer eigens entwickelten Methodik analysiert, da bisher keine geeigneten Bewertungsmethoden für die soziale Dimension verfügbar waren [5]. Der Fokus liegt auf der Analyse sozialer Einflüsse und Risiken im frühen Entwicklungsstadium. Die Umfeld- und Funkti-

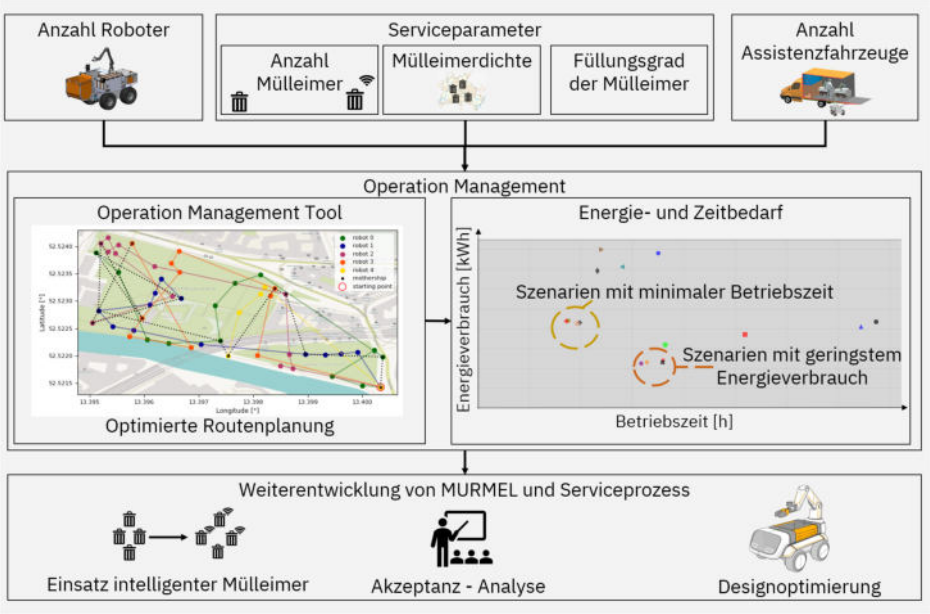


Bild 2: Routenplanung, Betriebsmanagement und Folgeprozesse

onsanalyse identifizierte die relevanten Stakeholder-Gruppen: Neben der direkten Arbeitsumgebung auch der öffentliche urbane Raum mit Anwohnern und Passanten. Die soziale Einfluss- und Risikoanalyse erfolgt anhand von zehn Indikatoren, die die Auswirkungen auf die Arbeit, Qualität der Arbeitsplätze, periphere Effekte und Zugang/ Gleichberechtigung umfassen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz autonomer Systeme wie MURMEL für die Arbeitskräfte Herausforderungen aber auch potenziell positive Effekte mit sich bringen. Die Einführung autonomer Systeme im öffentlichen Raum erfordert eine sorgfältige Bewertung ethischer Fragen und potenzieller sozialer Auswirkungen. Daher schlagen wir vor, die Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit in den Entwicklungsprozess autonomer Systeme zu integrieren [3].

SOZIALE AKZEPTANZ

Die soziale Akzeptanz des MURMEL-Projekts wurde durch Interviews mit Passanten (siehe Bild 1) und Mitarbeitern der Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR) durchgeführt. Bei den Passanten gab es zwar kritische Stimmen hinsichtlich Funktionalität und Design aber nur in sehr wenigen Fällen „grundsätzliche Ablehnung". Bei der BSR wurde die geringe Arbeitsgeschwindigkeit des Roboters kritisiert. Es wird darauf vertrautet, dass ein zugelassener Roboter alle Sicherheitsstandards einhält. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der BSR stehen neuen Tätigkeitsprofilen (Systemüberwachung, Batteriewechsel, Wartung etc.) positiv gegenüber. Auch hier wurde Kritik am Design geübt und es wurden Sorgen hinsichtlich der technischen Komplexität und hinsichtlich möglicher Arbeitsplatzverluste geäußert.

BETRIEBSMANAGEMENT

Für MURMEL und die Assistenzinfrastruktur wird ein Betriebsmanagementsystem entworfen (siehe Bild 2). Es unterstützt den Betrieb in verschiedenen Serviceszenarien mit unterschiedlichen Merkmalen (z. B. Anzahl und Füllgrad der Mülleimer). Relevante Parameter wie die Anzahl der Roboter, Mutterschiffe und die Attribute des Servicebereichs, inklusive der Unterscheidung zwischen konventionellen und intelligenten Mülleimern mit Füllstandsinformationen werden berücksichtigt. Algorithmen für Aufgabenverteilung und Routenplanung simulieren und analysieren Szenarien basierend auf Kriterien wie minimalem Energieverbrauch und Betriebszeit [6].

Das Betriebsmanagementsystem nutzt maschinelles Lernen zur Vorhersage des Mülleimerfüllstands. Auf der Basis umfangreicher Datenerhebungen aus einem Berliner Servicebereich wurden relevante Parameter (Mülleimerdichte, Wetter, Events in der Stadt) ermittelt. Damit wird eine Vorhersage der Mülleimerfüllstände ermöglicht. Eine Strategie, die die Entleerung von Mülleimern mit weniger als 25% Füllstand vermeidet, führt zu einer erheblichen Reduktion des Energieverbrauchs (ca. 30 %) und der Betriebszeit (ca. 25 %). In einem nächsten Schritt sind Testphasen im „Echtbetrieb" in wenig frequentierten Bereichen Berlins geplant.

LITERATUR

[1] Göhlich, D., Syré, A.M., and et al. (2022), "Design Methodologies for Sustainable Mobility Systems", in Design Methodology for Future Products, Springer, Cham, pp. 123–144.

[2] Innok Robotics GmbH, "Innok robotics: Mobile innovation," (2023). [Online]. Available: https://www.innok-robotics.de/

[3] van der Schoor, M.J. and Göhlich, D. (2023), "Integrating sustainability in the design process of urban service robots", Frontiers in Robotics and AI, Vol. 10, p. 1250697.

[4] Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., and et al. (2017), ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. The International Journal of Life Cycle Assessment, 22, 138-147.

[5] Kohl, J.L., van der Schoor, M.J., Syré, A.M. and Göhlich, D. (2020), "Social Sustainability in the Development of Service Robots", Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, Vol. 1, pp. 1949–1958.

[6] Gupta, A., van der Schoor, M.J. and et al. (2022), "Autonomous Service Robots for Urban Waste Management - Multi-agent Route Planning and Cooperative Operation", IEEE Robotics and Automation Letters, Vol. 7 No. 4, pp. 8972–8979.

DANKSAGUNG

Projekt „MURMEL" wurde im Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE) aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung und des Landes Berlin gefördert (Förderkennzeichen 1247-B5-O).

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Göhlich
Abhishek Gupta, M.Sc.
Fachgebiet Methoden der Produktentwicklung und Mechatronik
Technische Universität Berlin

Gefördert durch: be Berlin, Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz; Europäische Union, Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
Kooperation Partner: BSR

Einsatz von gedruckten Sensoren zur Messung der Dehnung in Wälzlagern unter isolierten Randbedingungen

Forschung an der FAU Erlangen-Nürnberg

Die zunehmende Digitalisierung führt zu einer Weiterentwicklung mechanischer Komponenten und Systeme, mit dem Ziel, intelligente, mechatronische Systeme zu schaffen. Diese Systeme sind durch die Verknüpfung von Sensorik, Aktorik und Informationsverarbeitung geprägt und zeichnen sich durch eine vorausschauende, vernetzte und selbständige Komponente aus. Dies ermöglicht nicht nur die Planung von Wartungs- und Reparaturintervallen, sondern auch eine Selbstdiagnose und -regelung sowie die autonome, bedarfs- und energieeffiziente Regelung von instationären Prozessen. Eine zuverlässige Erfassung aussagekräftiger Prozess- und Zustandsdaten durch geeignete Sensoren hat dabei eine hohe Bedeutung, um Entscheidungen für das System treffen zu können.

Im Kontext des Condition Monitoring und der Predictive Maintenance technischer Systeme sind Sensoren insbesondere an Wälzlagern relevant, da diese als Kernkomponenten einen sicheren Betrieb, bei gleichzeitiger Einsparung von Ressourcen und Kosten, gewährleisten müssen.

PROBLEMSTELLUNG UND LÖSUNGSANSATZ

Während einige Betriebsparameter wie Drehzahl und Öltemperatur gut mit modernen Messverfahren erfasst werden können, gestaltet sich die Messung von manchen Größen, wie der Verformung in der Nähe der Lastzone, während des Betriebs als schwierig. Diese Probleme können z. B. durch die Unzugänglichkeit der Einbau-Position oder eine geforderte Bauraumneutralität verursacht werden, was den Sensor beeinflussen und die Messposition verfälschen kann. Ein möglicher Lösungsansatz stellen gedruckte Sensoren dar, da diese sehr dünn sind und somit in sehr engen Bauräumen im Wälzlager eingesetzt werden können. Ein weiterer Vorteil gedruckter Sensoren ist eine große Gestaltungsfreiheit, das heißt eine individuelle Anpassbarkeit, auch an gekrümmten Oberflächen. Durch die direkte und exakte Positionierung entfällt zudem der Aufwand zum manuellen Ausrichten und Montieren herkömmlicher Sensoren.

Bisher finden solch gedruckte Sensoren jedoch kaum Einsatz in Wälzlagern. Deshalb wurde in einer Kooperation mit dem Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) ein Dehnungsmessstreifen (DMS) zur Erfassung von Verformungen mittels des Nanojet-Druckverfahrens [1] auf den Bord des Außenrings eines Wälzlagerrings gedruckt. Ziel war, die Machbarkeit und Eignung anhand experimenteller Tests unter isolierten Laborbedingungen zu untersuchen. So konnten auch die grundlegenden Möglichkeiten und Herausforderungen beim Einsatz des Nanojet-Verfahrens zur Herstellung solcher Sensoren sowie deren wesentlichen Vor- und Nachteile aufgezeigt werden [2].

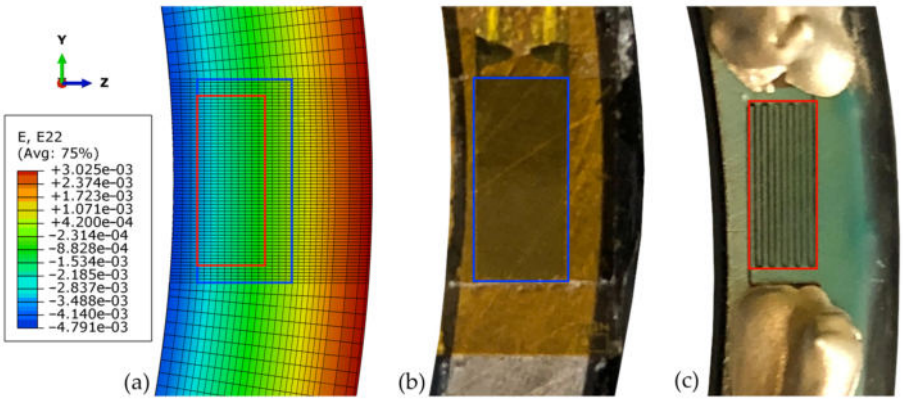


Bild 1: FEM Modell mit den markierten Bereichen der ausgewerteten Elemente (a) und Detailauf-nahmen des zugekauften (b) und gedruckten (c) DMS Sensors in gleichem Maßstab.

VERSUCHSAUFBAU

Für den Versuch wurden auf dem Bord eines Wälzlageraußenringes (NU 210) der gedruckte DMS sowie ein handelsüblicher Folien DMS in einem Winkelversatz von 180° gegenüberliegend aufgebracht. Der Außenring wurde in einer handbetriebenen Hydraulikpresse mit taktilem Wegaufnehmer zwischen zwei flachen Haltern eingespannt und der Wegaufnehmer auf null gestellt.

Anschließend wurde der Außenring so ausgerichtet, dass die gegenüberliegenden Sensoren um 90° zur Richtung der Krafteinleitung positioniert waren. Nach dem Starten der Messung wurde der Außenring zunächst um 2 mm in Schritten von 0,1 mm zusammengestaucht. Nach dem Erreichen der Stauchung von 2 mm wurde der Außenring in 0,5 mm Schritten wieder entlastet und die Messung beendet. Während des gesamten Stauchungs- und Entlastungsvorgangs wurden die Sensordaten der zwei Sensoren mit jeweils einem Messgerät aufgezeichnet.

Zur Validierung der experimentellen Untersuchungen wurde eine FE-Simulation durchgeführt. Dafür wurde die Deformation-Zeit-Abfolge des von Hand gesteuerten Versuchsablaufs nachgebildet. Ausgewertet wurde die mittlere Dehnung in Y-Richtung, was der Messrichtung der DMS entspricht, siehe auch Bild 1. Ebenso wurde bei der Auswertung der FE-Simulation die Position und Fläche der Sensoren aus dem Versuch berücksichtigt.

ERGEBNISSE

Zunächst wurde ein Vergleich der mittleren Dehnung zwischen dem kommerziellen DMS und der FE-Simulation angestellt. Wie im Diagramm in Bild 2 zu erkennen ist, liegt qualitativ und quantitativ eine gute Übereinstimmung vor, wobei eine leichte Vorbelastung durch das Gewicht des Hydraulikkolbens zur Ausrichtung des Wälzlagerrings vor der Messung berücksichtigt wurde. Es konnte damit nachgewiesen werden, dass die FE-Simulation den Versuch korrekt abbilden kann.

Ebenfalls im Diagramm in Bild 2 ist der Vergleich zwischen der FE-Simulation und

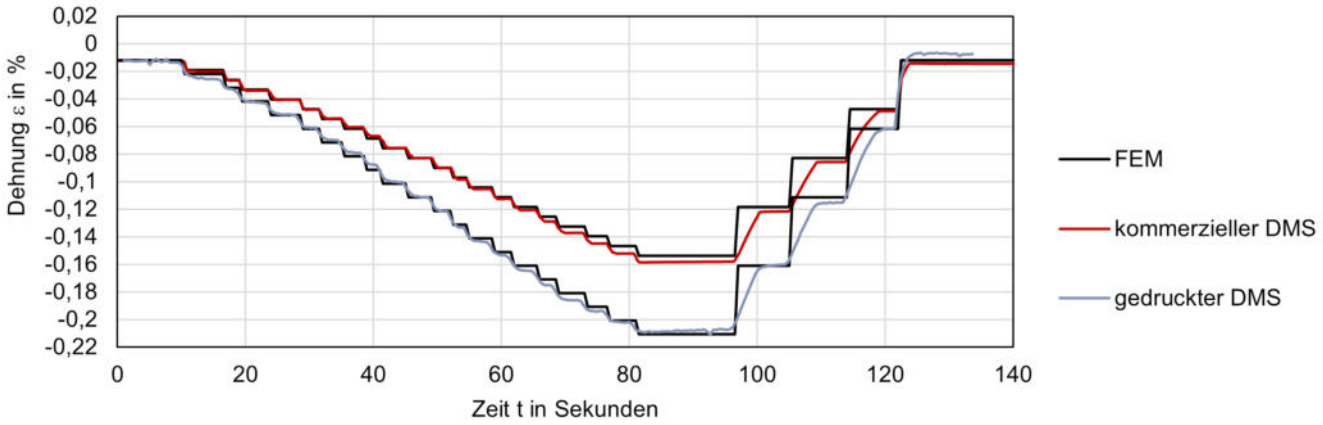


Bild 2: Vergleich der mittleren Dehnung zwischen der FEM Simulation (schwarze Linie) und des kommerziellen DMS (rote Linie) sowie gedrucktem DMS (blaue Linie).

dem gedruckten DMS dargestellt. Beim gedruckten Sensor konnte die dargestellte Dehnung jedoch nicht unmittelbar aus der gemessenen Änderung des elektrischen Widerstands während der Verformung des Lagerrings berechnet werden. Im Gegensatz zum kommerziellen Referenzsensor war für den gedruckten Sensor der Umrechnungsfaktor (K-Wert) zwischen gemessener Widerstandsänderung und Dehnung nicht bekannt. Die Bestimmung des K-Werts, im Sinne einer Kalibrierung, erfolgte anhand der Ergebnisse der FE-Simulation, deren Korrektheit zuvor durch den Referenzsensor nachgewiesen wurde. Ein direkter Vergleich zwischen kommerziellem und gedrucktem DMS war in diesem Fall nicht möglich, da die zwei DMS, wie in Bild 1 zu erkennen ist, unterschiedliche Flächen aufwiesen. Durch den Gradienten der Dehnung in radialer (z-)Richtung resultierten für die zwei ungleichen Flächen unterschiedliche mittlere Dehnungswerte.

Mit dem bestimmten K-Wert ergab sich für den gedruckten Sensor über die gesamte Versuchszeit hinweg ebenfalls eine sehr gute qualitative und quantitative Übereinstimmung mit der FEM. Im Vergleich mit dem kommerziellen Referenzsensor fällt auf, dass der gedruckte Sensor ein qualitativ gleiches Verhalten bei durchweg größeren Dehnungen aufzeigt. Dies war zu erwarten und ist erneut auf den bereits genannten Unterschied der Sensorflächen bei inhomogener Dehnungsverteilung zurückzuführen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sowohl die Dehnungsmessungen mit dem Referenzsensor als auch mit dem gedruckten Sensor gültige Werte lieferten, womit belegt ist, dass die gedruckten Sensoren erfolgreich als Dehnungsmessstreifen eingesetzt werden können. Deutlich wurden dabei auch zugehörige Herausforderungen, wie u. A. die effiziente und genaue Bestimmung des K-Faktors und eine vorteilhafte Positionierung der Sensoren vor dem Hintergrund der zu messenden Größen.

AUSBLICK

Nach ersten positiven Erfahrungen sollen die Untersuchungen zu gedruckten Sensoren für deren Eignung zur Sensorintegration in Maschinenelementen intensiviert werden. Das Hauptaugenmerk wird dabei zunächst auf der Anwendung im Wälzlager beibehalten, wobei insbesondere die Druckposition der Sensoren und deren Einfluss auf die dadurch messbaren Größen und erreichbaren Ergebnisgüten genauer betrachtet werden sollen. Auch der Einfluss der Umgebungsbedingungen und die allgemeine Charakteristik der gedruckten Sensoren bei unterschiedlichen Beanspruchungen, wie Zug vs. Druck etc., werden Inhalt weiterer Forschungsbemühungen sein.

Langfristig werden Ansätze zum Einsatz gedruckter DMS für Condition Monitoring und Predictive Maintenance insbesondere im Bereich der Windenergietechnik angestrebt.

KOOPERATIONSPARTNER

Wir danken dem Institut OHM-Chemie, Material- und Produktentwicklung (OHM-CMP) der TH Nürnberg für die produktive Zusammenarbeit.

LITERATUR

[1] M. Ankenbrand et al., „Generation of 3D Functional Structures for High- Frequency Applications by Printing Technologies," 2018 13th International Congress Molded Interconnect Devices (MID), Würzburg, Germany, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICMID.2018.8527052.

[2] Bartz, M.; Häußler, F.; Halmos, F.; Ankenbrand, M.; Jüttner, M.; Roudenko, J.;Wirsching, S.; Reichenberger, M.; Franke, J.; Wartzack, S. Use of Printed Sensors to Measure Strain in Rolling Bearings under Isolated Boundary Conditions. Lubricants 2023, 11, 424, doi: 10.3390/lubricants11100424

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
Dr.-Ing. Marcel Bartz
Fabian Halmos, M. Sc.
Michael Jüttner, M. Sc.
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke
Markus Ankenbrand, M. Sc.
Felix Häußler, M. Sc.
Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS)
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Workshop IPDAM in Hannvover

Zwei spannende Tage liegen hinter uns. Der Workshop Innovative Product Development by Additive Manufacturing wurde in diesem Jahr vom Institut für Produktentwicklung und Gerätebau (IPeG) und dem Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) am Campus Maschinenbau in Garbsen ausgerichtet.
Am 20. und 21. September drehte sich alles um das Hauptthema Printed Effects. 15 Wissenschaftler*innen aus ganz Deutschland und Österreich präsentierten Ihre Forschungsergebnisse zu den Leitthemen:

- Design and Optimization for Additiv Manufacturing
- Additive Manufacturing Process
- Printed Optics und Innovative Applications for Additive Manufacturing.

Für die rund 40 Teilnehmende gab es neben den Vorträgen zusätzlich 9 Poster-Pitches von Nachwuchswissenschaftler*innen aus dem Promotionsprogramm: School for Additiv Manufacturing (SAM) der Fakultät für Maschinenbau - Leibniz Universität Hannover.
Am Ende des ersten Tages bekamen die Teilnehmenden in der Rally „Discover Additive Manufacturing“ einen aktiven und hochinformativen Einblick in die Forschungslandschaft des IPeG. An 5 Stationen diskutierten die Teilnehmenden mit den Forschenden des IPeG zu Themen:

- Multi-Material-PBF-LB
- Multiphysics Component Testing
- Elastic Lattice Structures
- Additive Manufacturing of Optics
- Mono-Material-PBF-LB and Additive Repair.

Wir bedanken uns bei allen Teilnehmenden und Vortragenden für den anregenden Austausch und freuen uns auf die Veröffentlichung der wissenschaftlichen Beiträge im Springer Vieweg Verlag.
Ermöglicht haben den Workshop insbesondere Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer (IPeG), Prof. Dr.-Ing. Stefan Kaierle (LZH) sowie Dr.-Ing. Florian Nürnberger (SAM).

AUTOREN

Dr. -Ing. Tobias Ehlers
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer
Institut für Produktentwicklung und Gerätebau
Leibniz Universität Hannover

Bild 1: Gruppenbild

Vorhersage der subjektiven Vibrationsbewertung als Grundlage für die Mensch-Maschine Symbiose

Den Menschen verstehen und als objektive Produktentwicklungszielgröße abbilden können

Zukunftsorientiert forscht das IPEK nach dem Leitbild „Industrie 5.0“ der Europäischen Kommission an einer neuen Entwicklungsstufe der physischen Mensch-Maschine-Interaktion, in welcher beide Akteure gemeinsam und sich ergänzend eine Aufgabe ausführen. In dieser sog. Mensch-Maschine Symbiose sind Mensch und Maschine in der Lage, gegenseitig die nächsten Handlungsschritte zu prädiktieren und sich Feedback über Leistungsparameter sowie der Wahrnehmung zu geben. Damit eine echte Kollaboration entstehen kann und die jeweiligen Stärken ausgespielt werden können, ist ein genaues Verständnis über die komplexe Mensch-Maschine Interaktion notwendig. Der Mensch stellt mit seinen stark individuellen physischen, physiologischen und psychologischen Eigenschaften eine große Herausforderung in hierfür notwendigen Analysen dar. Viele Wechselwirkungen beeinflussen die menschliche Wahrnehmung und Bewertung, sodass die Ableitung einer objektivierbaren, validen und reproduzierbaren Größe über viele Probanden eine sehr schwierige Aufgabe darstellt. Erstmals ist es im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF), innerhalb des Projekts Objektive Bewertung Vibrationskomfort (OBAS), gelungen, eine objektive Größe für die subjektive, frequenzabhängige Bewertung des Vibrationsdiskomforts für Hand-Arm-Vibrationen abzuleiten.

VORGEHEN

Zunächst wurde in einer umfangreichen manuellen Probandenstudie die Mensch-Maschine Interaktion mit den Systemen Bohrhammer und Winkelschleifer Wissen aufgebaut, mögliche Wechselwirkungen analysiert und Störvariablen für die Vibrationsbewertung ermittelt (Bild 1). Im nächsten Schritt wurde das Wissen iterativ durch verschiedene Probandenstudie vertieft und anschließend überführt in den Aufbau einer physisch simulierten Versuchsumgebung am Anwender-Interaktions-Prüfstand (AIP; Shakerprüfstand; Bild 1) sowie in ein detailliertes und standardisiertes Studiendesign.

In einer umfangreichen Probandenstudie am AIP wurden daraufhin die subjektiven Bewertungen von Schwingungen unterschiedlicher Frequenzen untersucht. Es wurden zwei unterschiedliche Griffsysteme und damit einhergehend Körperhaltungen verglichen, welche eine Bohrhammer- und eine Winkelschleiferanwendung nachbilden sollten. Zuvor ermittelte Einfluss- und Störvariablen wurden gezielt eingestellt, kontrolliert oder eliminiert. Beispielsweise wurden die Ankopplungskräfte sowie die Griffgeometrien– und haptiken konstant eingestellt und audiovisuelle Umgebungsreize wurden gezielt durch Maskierungen eliminiert.

ERGEBNISSE

Die Versuchsumgebung stellt in Kombination mit dem Studiendesign ein hochsensibles Messinstrument für den Vibrationsdiskomfort dar. Über die verschiedenen Griffe, Probanden und über den Zeitverlauf hinweg konnte der frequenzabhängige Vibrationsdiskomfort konsistent bewertet und objektive Bewertungsgrößen abgeleitet werden (Bild 2). Zudem konnte die Versuchsumgebung durch eine zusätzliche Bewertung originaler Schwingungsprofile aus der manuellen Probandenstudie am Shaker validiert werden. Durch ein gemessenes Beschleunigungssignal kann nun – ohne Aufwand – der Vibrationsdiskomfort objektiv vorhergesagt werden und dient als Grundlage für die Mensch-Maschine Symbiose.

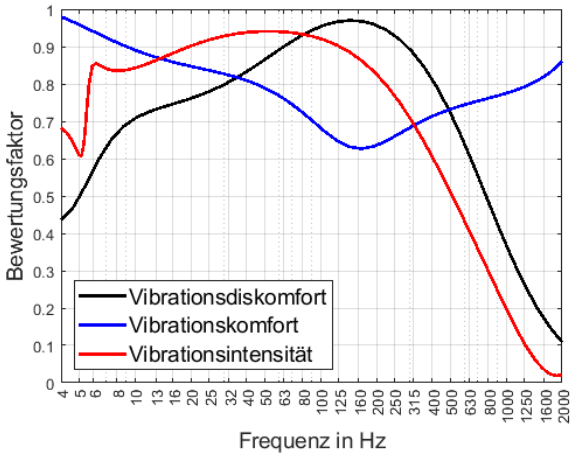


Bild 2: Objektive, frequenzabhängige Bewertungs-größen: Vibrations-diskomfort, -intensität

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing- Sven Matthiesen
Diana Fotler, M.Sc.
IPEK - Institut für Produktentwicklung
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Bild 1: Physisch reale (links) und physisch simulierte (rechts) Versuchsumgebun-gen für Winkelschleiferanwendungen

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

SFB Convide

Konsistenz in der sichtenbasierten Entwicklung von Cyber-Physischen Systemen

Cyber-Physische Systeme (CPS) als Ergebnis einer zunehmenden Digitalisierung technischer Systeme sind gekennzeichnet durch die Kombination von Hardware und Software. Sie verknüpfen elektronische und mechanische Teilsysteme mittels Software und ermöglichen einen Datenaustausch mit der System-Umwelt über das Internet. Eine solche Verknüpfung führt gleichzeitig aber auch zu einer steigenden Komplexität in der Produktentwicklung, da zwischen den einzelnen Teilsystemen zahlreiche Wechselwirkungen bestehen und unterschiedliche Domänen an dem Entwicklungsprozess beteiligt sind. Durch die unterschiedlichen Modelle und Modellierungssprachen der Domänen entstehen viele isolierte Sichten auf das zu entwickelnde System.

MOTIVATION

Die Konsistenz zwischen den verschiedenen Sichten und Modellen, die an der CPS-Entwicklung beteiligt sind, ist ein zentrales, noch ungelöstes Problem. Abhängigkeiten zwischen den Sichten und Modellen sind oft nicht dokumentiert oder gar unklar.
Mit diesem Problem beschäftigt sich der neue DFG-Sonderforschungsbereich (SFB) „Consistency in the View-Based Development of Cyber-Physical Systems“ – kurz Convide.
Im Rahmen des SFB wird die Konsistenz beim Zusammenführen interdisziplinärer Sichten während des Entwicklungsprozesses von CPS beleuchtet. Ziel ist ein umfassendes Verständnis über Konsistenz zwischen den beteiligten Domänen und die Entwicklung von Mechanismen zur Identifikation und automatisierten Beseitigung von Konsistenzverletzungen.
Basierend auf bereits vorhandenen Arbeiten zur Konsistenz in der Softwareentwicklung, wird untersucht, wie diese Ansätze verallgemeinert, erweitert und auf die Systemtechnik, besonders im Hinblick auf CPS, übertragen werden können. Dabei werden Metamodelle aus der Informatik für andere Domänen, wie Mechanik und Elektrotechnik erweitert und standardisiert und dabei das Meta-Modell Systemgenerationsentwicklung SGE aus der Produktentstehung als gemeinsames Fundament der Domänen ausgebaut und integriert.

V-SUM

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind zwei Ansätze in der Softwareentwicklung vertreten, um die Konsistenz in einem System zu wahren. Bei dem projektiven Ansatz (Bild 1 Links) werden die verschiedenen Sichten bei der Entwicklung durch ein Single Underlying Model (SUM) Metamodell verbunden. Durch die hohe Abstraktion des Ansatzes können Informationen teilweise nicht abgebildet oder einzelne Modelle nicht integriert werden.
Bei dem synthetischen Ansatz (Bild 1 Mitte) wird das Metamodell direkt mit anderen Metamodellen verknüpft. Existieren viele Verknüpfungen, kommt dieser Ansatz an seine Grenzen, da die Komplexität zur Erhaltung der Konsistenz stark ansteigt.
Hier soll der Kern des SFBs, ein sogenanntes „Virtual Single Underlying Model“ (V-SUM), Abhilfe schaffen. Das V-SUM (Bild 1 Rechts) als Kompromiss aus den beiden vorherigen Ansätzen kombiniert deren Vorteile und sieht die Integration der einzelnen Sichten in ihre Metamodelle vor. Dabei wird der Aufwand ein zentrales SUM zu definieren vermieden, indem nur die tatsächlich notwendigen Metamodelle integriert werden. Zusätzlich sollen die einzelnen Metamodelle mit Spezifikationen zur Erhaltung der Konsistenz (Konsistenzspezifikationen) gekoppelt werden.

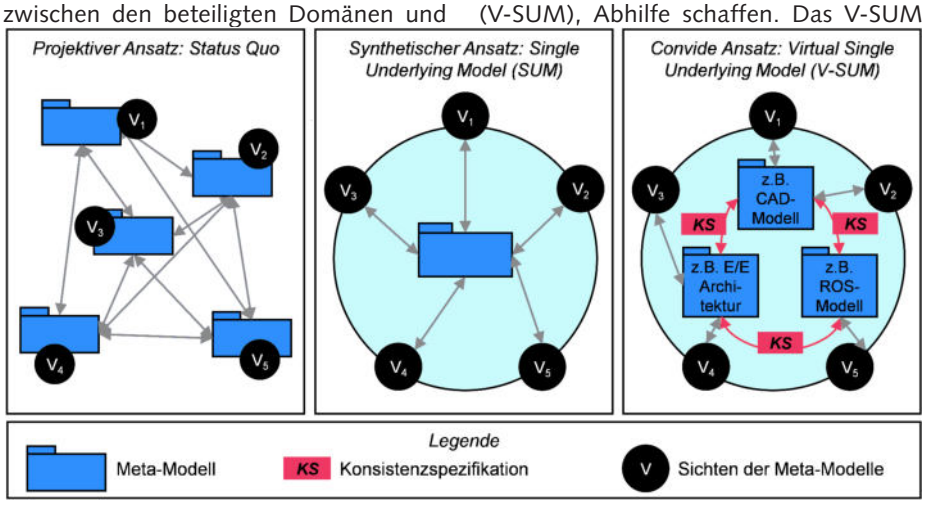


Bild 1: Vergleich verschiedener Entwicklungsansätze

VORHABEN

Basierend auf dem V-SUM Ansatz werden im Zuge des SFB bereits bestehende Konzepte zum sichtenbasierten Konsistenzmanagement aus der Softwareentwicklung verallgemeinert und für die Entwicklung von Cyber-Physischen Systemen neugestaltet. Für dieses Vorhaben ist der SFB in drei Forschungsbereiche unterteilt.
Im Forschungsbereich A werden die Konzepte von Konsistenz in der Entwicklung von CPS formalisiert. Hierzu muss ein Verständnis über die verschiedene Konsistenzbegriffe und ihre Eigenschaften, insbesondere im Hinblick auf die durch den Entwurf von V-SUM-Metamodellen entstehende Komplexität, gewonnen werden. Aufbauend auf diesem Wissen, werden in Forschungsbereich B Mechanismen zur Zusammenarbeit über Organisationsgrenzen hinweg, zum Umgang mit Inkonsistenzen und zum Management von Generationen, Versionen und Varianten in einem V-SUM erarbeitet.
Im Forschungsbereich C wird erforscht, wie die im Rahmen des SFB entwickelten Methoden zur Konsistenzerhaltung bei einer dezentralen domänenübergreifenden Entwicklung von CPS zur Steigerung der Effizienz, Effektivität und Verlässlichkeit im PEP genutzt werden können. Hierfür wird das entworfene V-SUM in die Entwicklung von CPS integriert, anhand dessen erweitert und neu gestaltet. Besondere Berücksichtigung finden hier der Umgang mit Produkt- und Systemgenerationen und deren Abhängigkeiten, die inkrementelle Validierung sowie die Homologation von varianten- und versionsreichen Systemgenerationen. Das IPEK - Institut für Produktentwicklung ist dabei mit seiner Forschung maßgeblich an Forschungsbe-

reich C beteiligt und untersucht das Konsistenzmanagement und die Nutzung in der SGE/PGE von CPS.

KONSISTENTE CPS-GENERATIONEN ENTWICKELN

Aufbauend auf dem Ansatz der System-/Produktgenerationsentwicklung (SGE/PGE) befasst sich Teilbereich C01 „Konsistente CPS-Generationen entwickeln“ des SFB mit der Frage, wie ein V-SUM basierter Entwicklungsansatz die System-/Produktgenerationsentwicklung bestmöglich unterstützen kann.

Ziele dieses Projekts sind geeignete Methoden zur Darstellung von System-/Produktgenerationen in einem V-SUM zu erforschen, die Konsistenz zwischen System-/Produktgenerationen zu beleuchten und Variationen im Sinne der SGE/PGE sowie deren Auswirkungen auf die Konsistenz zu untersuchen.

Außerdem wird im Rahmen von C01 die räumliche Konsistenz, sprich die Übereinstimmung der geometrischen Dimensionen eines mechatronischen Modells, innerhalb und zwischen Produktgenerationen in V-SUMs spezifiziert und analysiert.

Abschließend werden Konzepte zur Spezifikation (halb-)automatisierter Reparaturregeln zur Konsistenzerhaltung in einem SGE/PGE V-SUM entworfen. Auf Basis dessen und mithilfe einer prädiktiven Auswirkungsanalyse für Inkonsistenzen wird für Nutzende eine Methode zur situativen Unterstützung der Entwurfsentscheidung erforscht.

KONSISTENZORIENTIERTES TESTEN VON CPS-VARIANTEN UND -VERSIONEN

Der umfangreiche Konfigurationsraum moderner CPS führt zu einer großen Anzahl an Varianten eines CPS. Hinzu kommt eine steigende Anzahl von Versionen dieser Varianten innerhalb einer Systemgeneration, ausgelöst durch immer kürzere Entwicklungszyklen von Software aufgrund von „Over-the-Air-Updates“.

Problematisch wird es, wenn für jedes Update (Softwareänderung) oder jedes Upgrade (Hardwareänderung) eine formale Genehmigung (Homologation) des kompletten Systems notwendig ist. Die Konsistenz eines Systems erfordert jedoch die Konsistenz zwischen allen parallel existierenden Varianten und Versionen einer Systemgeneration welche durch Tests sichergestellt werden muss. Das Testen aller Varianten und Versionen einer CPS-Generation ist mit gegenwärtigen Ansätzen kaum möglich.

Daher beschäftigt sich C02 mit der Frage, wie Konsistenzeigenschaften des V-SUM genutzt werden können, um Varianten und Versionen einer CPS-Generation effizient und effektiv für (Re-)Tests auszuwählen, Testfälle zu generieren, auszuwählen und zu priorisieren sowie Tests in der X-in-the-Loop (XiL)-Umgebung durchzuführen.

Hierfür werden im Zuge des Teilprojekts Algorithmen entwickelt, welche die von einer Änderung betroffenen Versionen und Varianten erkennen. Außerdem werden konsistenzbasierte Metriken zur Bewertung der Relevanz von Testartefakten definiert. Diese Metriken können dann zur Auswahl, Erstellung und Anpassung von Testfällen und Testszenarien im szenariobasierten Testen verwendet werden. Weiterhin werden im Zuge des Arbeitspakets Strategien zur effizienten (Re-)Konfiguration und Anpassung von Testumgebungen (XiL) entwickelt.

PROZESSE FÜR KONSISTENTES CPS-ENGINEERING

Der hohe Grad an Vernetzung und Interdisziplinarität von CPS steigert auch den Aufwand bei der Synthese des Systems und bei der Analyse der Entwicklungsergebnisse. Für ein zuverlässiges System mit kurzen Entwicklungszyklen ist ein kontinuierlicher Informationsaustausch zwischen allen Sichten notwendig. Zur Bewältigung dieser Herausforderung ist eine flexible und reaktive Gestaltung des Entwicklungsprozesses unabdingbar. Lösungen können hier durch das Implementieren agiler Ansätze auf Basis des am IPEK entwickelten ASD – Agil Systems Design geschaffen werden.

Vor diesem Hintergrund wird in Forschungsbereich C04 untersucht, wie ein V-SUM basiertes Konsistenzmanagement eine agile CPS-Entwicklung auf Prozessebene ermöglichen kann und welche Unterschiede an die Konsistenzanforderungen zwischen den einzelnen Entwicklungsschritten zu berücksichtigen sind.

Ziel des Projekts ist einerseits der Entwurf eines entscheidungsunterstützenden Ansatzes für die Prozessorganisation sowie andrerseits ein Prozessbaukasten zur individuellen Gestaltung agiler CPS-Engineering-Prozesse.

Ein wesentlicher und immer wichtiger werdender Bestandteil des PEP ist die Validierung. Der durch kürzere Entwicklungszyklen von CPS steigende Validierungsbedarf erfordert eine effektivere und effizientere Validierung. Dafür müssen die Szenarien und Use Cases für die Validierung auf die relevanten und kritischen reduziert werden, ohne dabei Qualität der Ergebnisse zu gefährden.

Da bestehende Ansätze der Validierung dieser Komplexität nicht gewachsen sind, bedarf es einem geeigneten Ansatz zum Lösen möglicher Konsistenzprobleme.

Im Rahmen des Ergänzungsantrags C05 von Prof. Düser „Modellbasierte Konsistenz- und Credibilitybewertung sowie Synthese von Validierungsinstanzen“ werden daher Konsistenzbeziehungen zwischen unterschiedlichen Validierungsinstanzen und deren Entwicklungsgenerationen auf Basis der SGE betrachtet und darauf aufbauend die Credibility bewertbar gemacht. Hierfür wird zunächst Credibility von Validierungsinstanzen definiert und anschließend ein V-SUMM für das vorhandene Validierungssystem entwickelt. Zur Verifikation des Modells, wird dieses auf verschiedene Anwendungsfälle des SFB angewendet.

LITERATUR

[1] Albers A, Kürten C, Rapp S, Birk C, Hünemeyer S, Kempf C. SGE – Systemgenerationsentwicklung: Analyse und Zusammenhänge von Entwicklungspfaden in der Produktentstehung; 2022.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Düser
Lars Gesmann, M. Sc.
IPEK - Institut für Produktentwicklung,
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

EvoFrame

Entwicklung und Validierung eines evolutionären, menschzentrierten Frameworks für wandlungskompetente Organisationen

„Nichts ist so beständig wie der Wandel"
- Heraklit von Ephesus

In einer immer ungewisseren Welt, geprägt vom ständigen gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, ökologischen und technologischen Wandel, mangelt es an Werkzeugen, Methodiken und Richtlinien die Unternehmen jeglicher Branche und Größe nutzen können, um sich immer wieder schnell und effektiv anzupassen und somit ihre Wettbewerbsfähigkeit zu behalten. Kurzfristig auftretende Lieferkettenprobleme, Fachkräfteausfall oder neue Umweltverordnungen, aber auch langfristige Veränderungen, wie die stark zunehmende Automatisierung und neue Arbeitsweisen (New Work), sind nur einige von vielen Wandlungstreibern, die eine Organisation und ihre Belegschaft zur Veränderung animieren. Die Umsetzung des Wandels ist oft ein interdisziplinäres Vorhaben, welches eine Koordination von mehreren Faktoren auf organisationaler, technischer sowie menschlicher Ebene erfordert.
Ziel des im Januar 2023 gestarteten EvoFrame-Projektes ist die Entwicklung eines evolutionären, menschzentrierten Frameworks zur Steigerung der Wandlungskompetenz in Organisationen zu entwickeln und zu validieren. Eines der Hauptmerkmale des Projektes ist die weite Bandbreite an Industrie- und Forschungspartnern. Dies ermöglicht eine ganzheitliche Untersuchung des Organisationsmanagements über psychologische und medizinische Aspekte bis zu IT-Architekturen und allgemeinen technischen Prozessen in der Entwicklung sowie der Produktion von Produkten.

ZIELSTELLUNG

Im Rahmen des Projektes wird ein menschenzentriertes Framework in Form eines neuen Organisations- und komplementärem Wissensmodells sowie möglicher IT-Architekturen entwickelt und erprobt. Ziel ist es, die Wandlungsfähigkeit von Organisationen zu ermöglichen und zu fördern. Hierbei wird unter anderem untersucht, wie Unternehmen in Bezug auf neue Formen der Mensch-Maschine-Interaktion oder des modellbasierten Zusammenarbeitens aufgestellt sein sollten. Die Ergebnisse werden in Form eines Leitfadens (Playbook) aufgearbeitet und im Rahmen eines Demonstrators veranschaulicht.

HERAUSFORDERUNGEN

Permanenter Wandel wirkt sich durch verschiedene Wandlungstreiber (zum Beispiel Lieferkettenprobleme, Fachkräftemangel, Umweltvorgaben) auf unterschiedlichster Weise auf ein Unternehmen aus. Die heutige Organisationsentwicklung interpretiert den Wandel allerdings nur als punktuelles Ereignis oder zeitlich begrenzte (Transformations-)Projekte. Die Herausforderung liegt darin immer komplexer werdende Wandlungsfaktoren und die daraus entstehenden Wirkketten durch neue agile und interdisziplinäre Ansätze sowohl aus Sicht der Organisation, des Menschen als auch des Produktes zu analysieren.

ERGEBNISSE

Folgende Aspekte werden innerhalb der Projektlaufzeit von drei Jahren erarbeitet:
1. Ein erfahrungs- und emotionsbasiertes Toolkit, um erforderliche Wandlungsfähigkeiten und -kompetenzen der Mitarbeitenden zu entwickeln und zu stärken
2. Ein Organisations- sowie ein Vorgehensmodell, das eine fluide Re- & Neukonfiguration von Ressourcen und Mitarbeitenden ermöglicht
3. Eine prototypische IT-Lösung zur Unterstützung dieser Re- bzw. Neukonfigurationsprozesse
4. Die Erprobung und Evaluierung der entwickelten Lösungen anhand von Anwendungsfällen
Projektübergreifend werden die Ergebnisse in Form eines Playbooks veröffentlicht.

FOKUS FACHGEBIET IIT

Das Fachgebiet Industrielle Informationstechnik (IIT) der TU Berlin setzt den Fokus auf folgende Aspekte:
- Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Bereitschaft zum Modellaustausch
- Betrachtung der Auswirkung von verstärkter Kollaboration und Agilität auf MBSE und Intellectual Property Protection
- Entwicklung von Bewertungsmetriken zur Abschätzung von Nutzen und Risiken im Rahmen von unternehmensübergreifendem Modellaustausch

Zu den oben genannten Punkten sind als einer der nächste Schritte Workshops mit Industrieunternehmen geplant. Um eine möglichst große Bandbreite abzudecken, wird hierbei mit Unternehmen verschiedener Größen und aus verschiedenen Branchen zusammengearbeitet.

Weitere Informationen zum Projekt sind unter https://wvsc.berlin/projekt/evoframe/ zu finden.

Dieses Projekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen" gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark
M. Sc. Svenja Nicole Schulte
M. Sc. Carl-Philipp Grunenwald
Fachgebiet Industrielle Informationstechnik
Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

EVOframe

BETREUT VOM
PTKA Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie

34. Symposium Design for X in Radebeul bei Dresden

Die Professur für Virtuelle Produktentwicklung der TU Dresden richtet 34. DfX-Symposium aus

Am 14. und 15.09.2023 fand im Tagungszentrum der Sächsischen Wirtschaft in Radebeul bei Dresden das 34. DfX-Symposium statt, das von der Professur für Virtuelle Produktentwicklung der TU Dresden organisiert wurde.

Insgesamt wurden 25 Beiträge junger Wissenschaftler:innen aus den Themenbereichen Digital Engineering und Systems Engineering, Leichtbau in der Produktentwicklung, Nutzerzentrierte Produktentwicklung und dem Design for X vorgestellt und diskutiert. Wie immer wurde viel Raum für Fragen und Austausch gelassen, der durch die anwesenden Professor:innen und Industrievertreter:innen intensiv genutzt wurde, um den Vortragenden Rückmeldung und Anmerkungen zu geben. Abgerundet wurde die Veranstaltung durch die spannenden Keynote-Vorträge von Herrn Michel Troitzsch (MAN Truck & Bus SE) zum Thema „Challenges in the development of upcoming xEV vehicle generations“ und von Dr.-Ing. Peter Robl (Siemens AG) über „Das 3D-CAD-Modell - ein Katalysator für digitale Prozesse und optimierte Verhaltensweisen in Entwicklung und Produktion“.

Der Preis für den besten Beitrag ging an Lukas Pähler (IPEK, Karlsruher Institut für Technologie), während Max Layer (Siemens Energy) die Auszeichnung für die beste Präsentation erhielt. Die Preisgelder in Höhe von jeweils 200,- wurden freundlicherweise vom Ehemaligenverein des KTmfk (ENmfk) gesponsert.

Die Beiträge zum 34. Symposium Design for X sind ab sofort online über die Homepage der Design Society verfügbar (https://doi.org/10.35199/dfx2023). Das Symposium wird alternierend von Prof. Paetzold-Byhain (VPE, TU Dresden), Prof. Wartzack (KTmfk, FAU) und Prof. Krause (PKT, TUHH) ausgerichtet. Das nächstjährige DfX-Symposium findet gemeinsam mit dem 40-jährigen Jubiläum des KTmfK der FAU Erlangen vom 12.-13.09.2024 in Bamberg statt.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold
Dipl.-Ing. Sebastian Schwoch
Professur für Virtuelle Produktentwicklung
Technische Universität Dresden

Bild 1: Gruppenbild

Bild 2: Impression 1

Bild 3: Impression 2

3D-Gedruckte medizinische Phantome

Aktuelle Fortschritte, Herausforderungen und Anwendung in der präklinischen Forschung

Die Herstellung von physischen medizinischen Modellen wurde durch die Additive Fertigung in den letzten Jahren stark vorangetrieben. Unter anderem bietet der 3D-Druck mittlerweile die Möglichkeit, medizinische Phantome mit komplizierten anatomischen Strukturen zu fertigen. Phantome sind physische Modelle, die biologisches Gewebe und dessen Eigenschaften in der medizinischen Bildgebung nachahmen und eine entscheidende Rolle in Qualitätssicherung, Ausbildung, Forschung und Schulung spielen. Mit dem Einsatz von 3D-Druck hat sich die Herstellung von medizinischen Phantomen grundlegend verändert, indem sie traditionelle, oft zeitaufwändige und teure Methoden durch die Vorteile dieser innovativen Technologie ergänzt.

Einer der Hauptvorteile des 3D-Drucks bei der Entwicklung medizinischer Phantome liegt in seiner Fähigkeit, patientenspezifische Modelle zu erstellen. Durch die Verwendung dreidimensionaler Patientendaten aus medizinischer Bildgebung wie CT- oder MRT-Scans können maßgeschneiderte Phantome erstellt werden, die die einzigartige Anatomie und Pathologie individueller Patienten berücksichtigen. Dies spielt eine entscheidende Rolle in der personalisierten Medizin und der Behandlungsplanung. Der Prozess zur Entwicklung eines 3D-gedruckten Phantoms umfasst die Umwandlung von Bildgebungsdaten in ein digitales 3D-Modell mithilfe fortschrittlicher Algorithmen und die Auswahl geeigneter 3D-Druckmaterialien, die den Gewebeeigenschaften entsprechen.

Im Bereich der 3D-gedruckten Phantome gibt es verschiedene Typen, die spezifischen klinischen Anforderungen und Forschungsbedürfnissen gerecht werden. Einige Phantome konzentrieren sich auf die Nachbildung bestimmter Organe oder anatomischer Strukturen, während andere auf die Qualitätssicherung abzielen. Neben Patientenabbildungen können Phantome auch in der präklinischen Forschung eingesetzt werden, um Tierversuche zu vermeiden, zu verbessern oder zu reduzieren.

Im Rahmen des von der Hamburger Landesforschungsförderung (LFF) geförderten Graduiertenkollegs „Innovative Technologien in der Krebsdiagnostik und -therapie“ forscht das Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT) der Technischen Universität Hamburg (TUHH) zusammen mit der Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie des Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf (UKE) an der Entwicklung von Kleintier-Phantomen. Diese sollen über die Integration von Tumorproben zur Analyse von präklinischen Bestrahlungen genutzt werden. Zu sehen ist das entstandene 3D-gedruckte Maus-Phantom in Bild 1. Dabei sorgen unterschiedliche Materialien dafür, die Eigenschaften für Knochen, Organe und Umgebungsgewebe abzubilden. Ein dreidimensionaler gitterförmiger Zellprint, der mit einem Bioprinter gedruckt wurde, kann zusammen mit einem Medium in eine biokompatible 3D-gedruckte Box zusätzlich in das Phantom integriert werden. Des Weiteren können Dosismessmittel im Phantom platziert werden, wodurch neben der computertomographischen Bildgebung, strahlentherapeutische Behandlungen evaluiert werden können. Beispielsweise wird das Phantom mit integrierten Tumorproben dann in der präklinischen Kleintierbestrahlungsanlagen genutzt, um neue Therapien einer kompletten Wirbelsäulenbestrahlung zu planen und zu analysieren. Aber auch hochenergetische Bestrahlungsformen, die noch nicht in der Klinik eingesetzt werden, können so untersucht werden. Die Ergebnisse liefern somit langfristig einen Erkenntnisgewinn bezüglich der Diagnostik und des Therapieverlaufs von unterschiedlichen Tumorerkrankungen.

Trotz der zahlreichen Möglichkeiten die 3D-gedruckte medizinische Phantome bieten, stehen noch einige Herausforderungen bevor. Standardisierungs- und Validierungsverfahren sind von entscheidender Bedeutung, um die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit dieser Phantome über verschiedene Bildgebungssysteme und Institutionen hinweg sicherzustellen. Es müssen robuste Qualitätssicherungsprotokolle entwickelt und Vergleichsstudien zwischen 3D-gedruckten und traditionell hergestellten Phantomen durchgeführt werden, um deren Genauigkeit und Leistung zu validieren.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Entwicklung des 3D-Drucks für medizinische Phantome einen entscheidenden Fortschritt auf dem Gebiet der medizinischen Bildgebung darstellt. Die Möglichkeit, anatomisch realistische, kostengünstige, modulare und anpassbare Phantome unter Verwendung patientenspezifischer Daten zu erstellen, birgt ein immenses Potenzial zur Verbesserung der medizinischen Forschung.

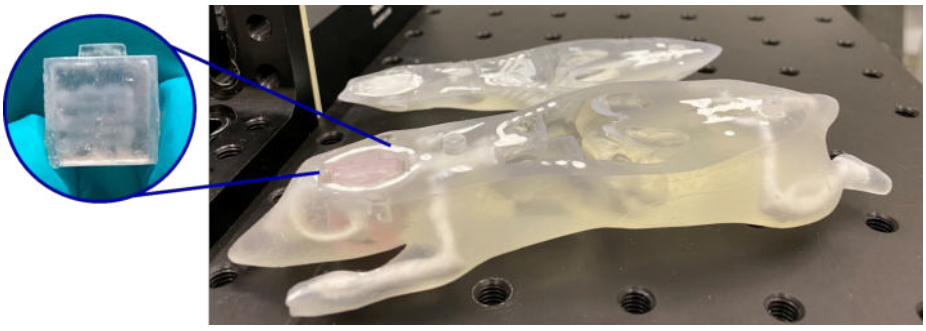


Bild 1: 3D-gedrucktes Maus-Phantom mit integrierter Tumorprobe (3D Zellprint)

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause
Marie Wegner, M.Sc.
Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT)
Technische Universität Hamburg (TUHH)

Bestimmung der Eigenschaften von Getrieben roboterartiger Systeme durch analytische Beschreibung ihrer Struktur

MOTIVATION

Moderne Roboter können je nach Einsatzgebiet sehr unterschiedliche Formen annehmen [San03]. Der bekannteste Vertreter der Industrieroboter ist der Knickarmroboter. Andererseits können auch die gekoppelten Antriebssysteme einer Fertigungsstraße als roboterartig bezeichnet werden. Roboter und roboterartige Systeme (RAS) lassen sich durch die Form und Anzahl ihrer gekoppelten Achsen charakterisieren. Die Eigenschaften der Achsen beeinflussen stark die Eigenschaften des gesamten Robotersystems. Aufgrund der Vielfalt von Robotern und deren Anforderungen werden auch die Achsen unterschiedlich gestaltet und eingesetzt. Zentrales Element der Achsen ist das Antriebssystem, das bei Robotern unterschiedlich ausgelegt sein kann und verschiedene Funktionsprinzipien aufweist [Lop20]. Die einheitliche Bestimmung der Eigenschaften dieser Antriebssysteme stellt aufgrund der großen Unterschiede eine Herausforderung dar. Als Grundlage für eine einheitliche Eigenschaftsbeschreibung wird in diesem Beitrag eine einheitliche Symbolsprache für unterschiedliche Getriebetypen vorgeschlagen. Die folgenden Ausführungen basieren auf einem Konferenzbeitrag der Autoren [Lan23] und wurden im Rahmen des von der DFG geförderten Forschungsvorhabens DSL4RAS erarbeitet (s. u.).

Bild 1: Klassifikation für formschlüssige Robotergetriebe

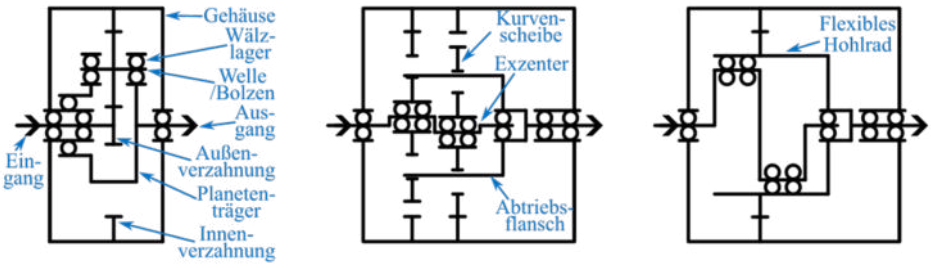


Bild 2: Funktionsschemata eines Planetengetriebes (Links), eines Kurvenscheibengetriebes (Mitte) und eines Wellgetriebes (Rechts)

EINORDNUNG DER ROBOTERGETRIEBE

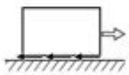
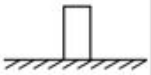
Durch die Vielzahl der möglichen Anwendungen und Ausführungen von RAS gibt es auch viele verschiedene Getriebetypen. Wegen der Synchronisation der Achsen sind nur formschlüssige Antriebe üblich. Allen Getrieben ist gemeinsam, dass sie die Anforderung nach einer hohen Übersetzung bei kleinem Bauvolumen erfüllen sollen. Auch Parallelachsen sind bei den meisten RAS aufgrund ihres Aufbaus notwendig. Die mit diesen Einschränkungen möglichen Getriebearten lassen sich nach Bild 1 klassifizieren.

Die Darstellung eines Mechanismus mit einem Funktionsschema ist in der Literatur weit verbreitet (z. B. Pham und Ahn [Pha18]). Für die drei wichtigsten Robotergetriebe, die drei Unterarten des Umlaufrädergetriebes, können die Funktionsschemata Bild 2 entnommen werden.

Die gezeigten Schemata sind Modellbeschreibungen, die für das Konstruktions- und Funktionsprinzip der Getriebe nützlich sind. Die dargestellten Modelle können leicht auf neue Getriebetypen erweitert werden. Die gezeigten Modelle sind nicht geeignet, die Charakteristika des Antriebs zu beschreiben. Um beispielsweise die Steifigkeit zu bestimmen, ist ein Modell mit besonderer Berücksichtigung der Kontakte notwendig. Die im Getriebe auftretenden Kontakte lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen. Für die folgende Analyse wird der Ansatz gewählt, nach den Eigenschaften im Hinblick auf die Berechnung zu unterscheiden. Tabelle 1 zeigt die relevanten Kontaktsymbole.

Mit den vorgestellten Symbolen können die oben vorgestellten Getriebe analysiert werden. Dazu muss neben den Funktionsschemata auch die genaue Art der Kontakte bekannt sein. Bild 3 zeigt die Kontaktmodelle eines Planetengetriebes, eines Kurvenscheibengetriebes und eines Wellgetriebes. Die gezeigte Modellbeschreibungsmethode kann auf beliebig komplexe Systeme mit diesen Spezifikationen erweitert werden. Erforderliche Lastverteilungen können durch Parallelschaltung von Kontakten erreicht werden. Für die konkrete Berechnung der

Tabelle 1: Kontaktsymbole

Kontakttyp	Symbol	Spezifikation
Rollkontakt		Rollende Bewegung mit Hilfe von Wälzkörpern (z. B. Wälzlager)
Zahnkontakt		Kontakt der Zahnflanken mit Gleit- und Rollbewegungen
Gleitkontakt		Gleitende Bewegung zwischen den Kontaktpartnern
Flexibler Kontakt		Große Verformungen der Kontaktpartner
Fixierter Kontakt		Keine Relativbewegung zwischen den Kontaktpartnern

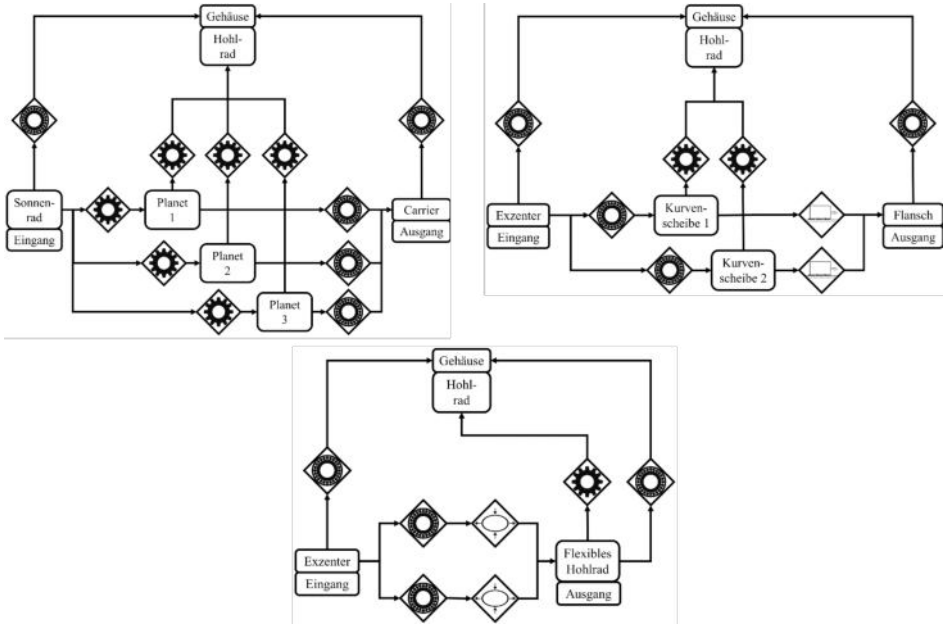


Bild 3: Kontaktmodelle eines Planetengetriebes (links oben), eines Kurvenscheibengetriebes (rechts oben) und eines Wellgetriebes (unten)

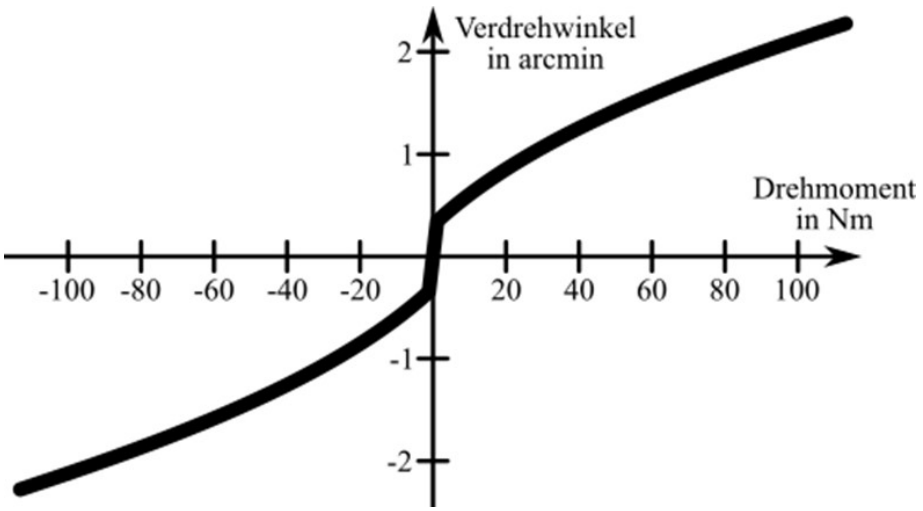


Bild 4: Berechneter Steifigkeitsverlauf

Steifigkeit müssen die Kontaktsymbole mit Berechnungsmethoden hinterlegt werden.

FAZIT

Die Bestimmung der Eigenschaften von Getrieben beliebiger Bauart in RAS ist wichtig für die Optimierung des Antriebssystems. Dieser Beitrag zeigt verschiedene Modelle für Getriebe, die für bestimmte Anwendungen benötigt werden. Speziell für die Beschreibung der Eigenschaften wird eine Beschreibungsmethode mit Kontaktsymbolen eingeführt. Diese Methode wird auf die in der Robotik gebräuchlichen Getriebetypen angewandt. Eine detaillierte Darstellung der Methode wird in dem zugrundeliegenden Paper der Autoren vorgestellt [Lan23]. Ein weiteres Paper aus diesem Projekt ist von Vogel-Heuser et al. [Vog20].

DANKSAGUNG

Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf dem Forschungsprojekt 461993234, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird. Die Autoren möchten sich für die Förderung und Unterstützung durch die DFG bedanken.

AUTOREN

Stefan Landler, M.Sc.
Dr.-Ing. Michael Otto
Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser
Prof. Dr. Markus Zimmermann
Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl
Technischen Universität München

LITERATUR

[Lan23] Landler, S.; Molina Blanco, R.; Otto, M.; Vogel-Heuser, B.; Zimmermann, M.; Stahl, K.: Determination of the Characteristics of Gears of Robot-Like Systems by Analytical Description of their Structure. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2023), 01.-05.10.2023, Detroit, USA (2023).

[Lop20] Lopez Garcia, P.; Crispel, S.; Saerens, E.; Verstraten, T.; Lefeber, D.: Compact gearboxes for modern robotics: A review. Frontiers in robotics and AI 7 (2020).

[Pha18] Pham, A.-D.; Ahn, H.-J.: High precision reducers for industrial robots driving 4th industrial revolution: State of arts, analysis, design, performance evaluation and perspective. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology 5. Heft: 4, S. 519–533 (2018).

[San03] Sandin, P. E.: Robot mecha-

nisms and mechanical devices illustrated. McGraw-Hill, New York (2003).
[Vog20] Vogel-Heuser, B.; Zimmermann, M.; Stahl, K.; Land, K.; Ocker, F.; Roetzer, S.; Landler, S.; Otto, M.: Current challenges in the design of drives for robot-like systems. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2020), Toronto, 11.-14.10.2020, S. 1923–1928 (2020).

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 Produktentwiclung und Gerätebau
Leibniz Universität Hannover
An der Universität 1
30823 Garbsen
Tel.: +49 (0) 511 | 762 3471
E-Mail: lachmayer@ipeg.uni-hannover.de

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

Univ.-Prof. Dr.-Ing Sven Matthiesen (Sprecher für Lehre & Weiterbildung)
IPEK - Institut für Produktentwicklung
Karlsruher Institut für Technologie
Kaiserstraße 10
76131 Karlsruhe
Tel.: +49 (0) 721 | 608 47156
E-Mail: sven.matthiesen@kit.edu

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

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack (Sprecher für Virtuelle Produktentwicklung)
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
Universität Erlangen
Martensstraße 9
91058 Erlangen
Tel.: +49 (0) 9131 | 85 27987
E-Mail: wartzack@mfk.uni-erlangen.de

Ordentliche Mitglieder:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Abramvici (Ruhr-Universität Bochum), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers (Karlsruher Institut für Technolgie (KIT)), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Beate Bender (Ruhr-Universität Bochum), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Luciënne 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 Liebich (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 Technlogie (KIT)), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirk Meboldt (Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich), Univ.-Prof. Dr. Athanassis Mihailidis (Aristtle University of Thessalniki), Univ.-Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h.c. Jivka Ovtcharva (Karlsruher Institut für Technologie (KIT)), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold-Byhain (Technische Universität Dresden), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Poll (Leibniz Universität Hannover), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel (Universität Stuttgart), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Schindler (RWTH Aachen University), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Berthld Schlecht (Technische Universität Dresden), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubert Schwarze (Technische Universität Clausthal), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl (Technische Universität München), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark (Technische Universität Berlin), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rman Teutsch (Technische Universität Kaiserslautern), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dieter Thoben (Universität Bremen), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Tremmel (Universität Bayreuth), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thmas Vietor (Technische Universität Braunschweig), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Wallaschek (Leibniz Universität Hannover), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sandr Wartzack (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen), Univ.-Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Michael Weigand (Technische Universität Wien), Univ.-Univ.-Prof.Dipl.-Ing. Dr. Klaus Zeman (Johannes Kepler Universität), Univ.-Prof. Dr. Markus Zimmermann (Technische Universität München)

Mitglieder im Ruhestand:

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl (Technische Universität Darmstadt), Prof. Dr.-Ing. Fatih Babalik (Uludag Üniversitesei), 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 Deters (Universität Magdeburg), Prof. em. Dr.-Ing. Klaus Ehrlenspiel, Prof. Dr.-Ing. Martin Eigner, Prof. Dr.-Ing. Jörg Feldhusen (RWTH Aachen), Prof. em. Dr.-Ing. Hans-Joachim Franke (Technische Universität Braunschweig), Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier (Universität Paderborn), em. Prof. Dr.-Ing. Peter Gold, Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg), Prof. Dr.-Ing. Bernd-Robert Höhn (Technische Universität München), Prof. Dr.-Ing. habil. Günter Höhne (Technische Universität Ilmenau), Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Franz Gustav Kollmann, Prof. Dr.-Ing. Frank-Lothar Krause, em. Prof. Dr.-Ing. Konrad Langenbeck, Prof. Dr.-Ing. Erhard Leidich (Technische Universität Chemnitz), Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann (Technische Universität München), Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Linke, Prof. Dr.-Ing. Harald Meerkamm (Universität Erlangen–Nürnberg), Prof. Dr.-Ing. Heinz Mertens (Technische Universität Berlin), Prof. em. Dr.-Ing. Heinz Peeken, Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart (Technische Universität München), Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg (Universität Bayreuth), Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Laurenz Rinder, Prof. Dr.-Ing. Bernd Sauer (Technische Universität Kaiserslautern), Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Schorcht (Technische Universität Ilmenau), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dieter Spath (Universität Stuttgart), Prof. Dr.-Ing.habil. Ralph Stelzer (Technische Universität Dresden), Prof. Dr.-Ing. Peter Tenberge (Ruhr-Universität Bochum), Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Sándor Vajna (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg), Prof. Dr.-Ing. Gerhard Wagner (Ruhr-Universität Bochum), Prof. Dr.-Ing. Christian Weber (Technische Universität Ilmenau), Prof. Dr.-Ing. Dieter Wüstenberg (Technische Universität Kaiserslautern), Prof. Dr.-Ing. Detmar Zimmer (Universität Paderborn)

Industriekreis:

Alfred Katzenbach (Katzenbach Executive Consulting), Alfred Schreiber (C. & E. Fein GmbH), Andreas Weber (Vestas Nacelles Deutschland GmbH), Axel Gomeringer, Bernd Pätzold (ProSTEP AG), Burkhard Pinnekamp (RENK AG), Carsten Burchardt (Siemens Digital Industries Software GmbH), Christoph Lutz (Julius Blum GmbH), Daniel Kähny (LS Telcom AG), Detlef Gierling (ZF Sachs AG), Dirk Adamczyk (ZF Friedrichshafen AG), Ebhard 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 (Capgemini Deutschland GmbH), Gunnar Gödecke (VULKAN Kupplungs- und Getriebebau Berhard Hackforth GmbH & Co. KG), Günter Hähn (Wirtgen GmbH), Hans Huber (Mayr GmbH & Co. KG), Hansjörg Maier (Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG), Hartmut Rauen (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA)), Henrik Weimer (Airbus SAS), Herbert Bickelmann (Autodesk GmbH), Johannes Schulz (Brose), Johann Paul Stemplinger (Audi AG), Jörg Böcking (Vibracoustic GmbH), Jörg Hartmann (Meyer Werft GmbH), Jörg Hermes (SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG), Jörg Schiebel (Tyco Integrated Fire & Security), Jörg Stahlmann (ConSenses GmbH), Jörn Reinecke (Faurecia Autositze GmbH), Jürgen Vogt (CADFEM GmbH), Karl Heinz Zachries (CONTACT Software GmbH), Karl Ludwig Kimmig (LuK GmbH & Co. KG), Karsten Anger (Hadi-Plast GmbH), Karsten Stoll (WAGO GmbH & Co. KG), Katharina Helten, Klaus Löckel (Dassault Systemes Deutschland GmbH), Kristin Sittig (Volkswagen AG), Kurt Bengel (Cenit AG), Marc Kessler (Körber Technologies GmbH), Marc Pein (ThyssenKrupp Marine Systems GmbH), Marcus Krastel (:em engineering methods AG), Markus Klaiber (Schunk GmbH & Co. KG), Martin Husemann (Phi GmbH), Martin Kratzer (Mercedes-Benz AG), Martin Stark (ms 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 Einstmann (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 (Elektror Airsystems GmbH), Urban August (Siemens PLM Software), Werner Kröger (BMW AG)

Stand: Juni 2023
Internet: www.wigep.de
Auflage: 800 Exemplare
ISSN 1613-5504
Redaktion: Kevin Herrmann

Herausgeber: Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP e.V.
c/o Institut für Produktentwicklung und Gerätebau
An der Universität 1
30823 Garbsen