

NEWS

Mitteilungen der WiGeP
Ausgabe 1/2023

WiGeP Frühjahrstagung 2023

Linz lädt ein zum Thema Nachhaltigkeit

Die WiGeP-Frühjahrstagung fand wie schon im letzten Jahr im schönen Österreich statt. Professor Zeman und die voestalpine luden hierzu die WiGeP-Mitglieder nach Linz ein. Der Start der dreitägigen Tagung erfolgte in der Brasserie am Linzer Schloss mit einem gemeinsamen Abendessen, sowie einem regen Austausch bei wunderschönem Ausblick über die Stadt. Der zweite Tag begann, nach einer kurzen Begrüßung von Herrn Zajicek, mit der Mitgliederversammlung in der voestalpine Stahlwelt. In dieser wurden, neben den offiziellen Vereinspunkten, auch Berichte aus den Fach- und Arbeitsgruppen sowie anderen WiGeP-nahen Gesellschaften vorgetragen. Nach der Versammlung erfolgten die Fachgruppensitzungen. Am Nachmittag wurde der WiGeP-Industriekreis ebenfalls in der Stahlwelt begrüßt. Zur Einstimmung in das Tagungsthema Nachhaltigkeit wurden seitens der voestalpine mehrere Impulsvorträge präsentiert, welche den Konzern vorstellten und deren Beiträge im Kontext der Nachhaltigkeit adressierten. Die anschließende Werksbesichtigung in welcher die Breitbandstraße bzw. die Feuerverzinkungsanlage angesehen werden konnte, vertieften die Einblicke in den Stahlkonzern. Als einer der Höhepunkte wurden die Teilnehmer am Abend des zweiten Tages mit einer Sonderfahrt der Pöstlingbergbahn zum Pöstlingberg Schloßl gefahren. Bei bestem Essen, kurzweiligen Reden und netter



Atmosphäre entwickelte sich ein reger Austausch zwischen der Wissenschaft und der Industrie, sodass der Abend als rundum gelungenen wahrgenommen wurde. Der letzte Tag der Tagung wurde dazu genutzt die Impulse zur Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung gemeinsam mit der voestalpine und den Industriekreismitgliedern zu vertiefen. Dafür wurden Keynotes zum Thema „Nachhaltige Stahlerzeugung“ von Dr. Androsch und zu den entsprechenden Forschungsschwerpunkten aus den Fachgruppen der WiGeP vorgetragen. In anschließenden Workshops zu den Themen der Keynotes, wurde in kleineren Gruppen kontrovers diskutiert und verschiedene

Inhalte erarbeitet. Diese konnten anschließend in einer Podiumsdiskussion vorgestellt und durch die Expertinnen und Experten eingeordnet werden. Durch ein abschließendes Abendessen im Promenadenhof konnte die Tagung im besinnlichen Beisammensein ausklingen. Der Vorstand bedankt sich bei allen Teilnehmenden und insbesondere bei Prof. Zeman sowie der voestalpine für eine interessante und gelungene Frühjahrstagung und freut sich auf die Herbsttagung 2023 in Thessaloniki.

Für die WiGeP
Kevin Herrmann, M. Eng.
Lukas Hoppe, M. Sc.

Anpassbare Impedanzelemente zur Schwingungsreduzierung von Flugzeugstrukturen

Nachweis und Anwendung auf Schwingungsprüfständen

Flugzeuge sind dynamischen Belastungen ausgesetzt, welche hohe Beanspruchungen in Leichtbaustrukturen, wie Kabinenelementen, herbeiführen. Ein sicherheitsrelevanter Auslegungsfall bei Kabineninterieur ist insbesondere der so genannte Windmilling-Lastfall, bei dem sich eine oder mehrere Turbinenschaufeln in Folge eines Schadens während des Fluges lösen. Die abgeschaltete Turbine wird weiter durch den Luftstrom angetrieben und durch die resultierende Unwucht eine Schwingung erzeugt. Dieses führt zu einem fremderregten Aufschwingen des gesamten Flugzeugs und kann zu einer Gefährdung der Passagiere und Versagen der Flugzeugstruktur führen. Ein sicherer Weiterflug und folgende Landung sind nach Luftfahrtspezifikation EASA CS25 zu gewährleisten. Um das dynamische Verhalten von Leichtbaustrukturen zu untersuchen, werden diese in einem definierten Frequenzbereich angeregt und das resultierende Verhalten der Struktur analysiert. Hierzu sind eine Vielzahl an Versuchen mit unterschiedlichen Kabinenelementen und Strukturen notwendig. Die Herausforderung bei der Untersuchung von Produktfamilien der Flugzeugkabine ist der erhebliche Aufwand in deren Untersuchung und Zertifizierung, weshalb in der Praxis Produktfamilien von Kabinenelementen nur mit starren Anbindungen zwischen den jeweiligen Produktvariante und Prüfstand abgebildet werden. Eine gezielte

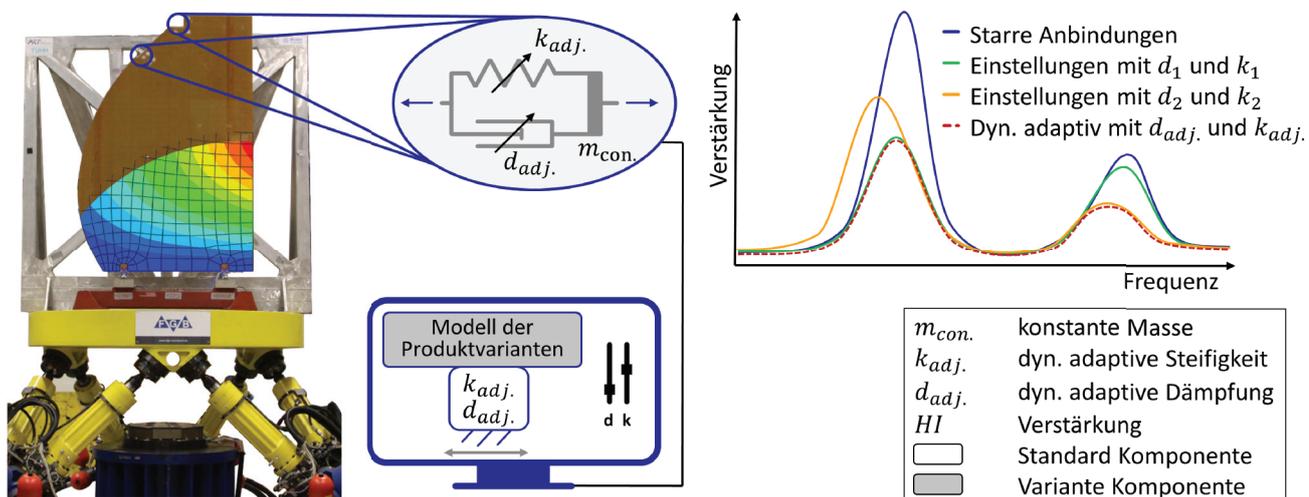
Änderung der Schnittstelleneigenschaften, wie deren Steifigkeit und Dämpfung, bietet das Potential, das Schwingungsverhalten von Strukturen positiv zu beeinflussen und Aufschwingen signifikant zu reduzieren. Eine Erweiterung der Systembetrachtung über die Schnittstelle hinaus geht jedoch mit einem enorm steigenden Test- und Auslegungsaufwand der hierfür notwendigen Vielzahl an auszulegenden Schnittstellen, Rüstzeiten und Versuchsdurchläufe je zu untersuchender Produktvariante einher. Im DFG geförderten Projekt "AIProVE – Adjustable Impedance Elements for Product Validation in Compliant Environments" wurden einstellbare Impedanzelemente in Kooperation mit dem IPEK vom KIT und dem pdlz der ETH Zürich erforscht, um nachgiebige Randbedingungen beim Testen und Validieren von physischen Produkten abzubilden. Anpassbare Impedanzelemente sind Maschinenelemente bestehend aus separat einstellbaren Feder- und separat einstellbaren Dämpfelement, welche als Schnittstellenelement in der Versuchstechnik eingesetzt werden. Der Einsatz von anpassbaren Impedanzelementen als Schnittstellen erweitert die zu untersuchende Systemgrenze um die Anbindungsstellen und kann daher zu ganzheitlich optimierten dynamischen Systemen führen. Die Verwendung von anpassbaren Impedanzelementen als Schnittstellen reduziert den Versuchsaufwand, da die

Anpassung der Schnittstelleneigenschaften manuelle Verhaltensanpassung ermöglicht, ohne Rüstzeiten zum Austausch der Schnittstellen. Damit ermöglichen sie die schwingungsoptimierten Systeme auf Prüfumgebungen umzusetzen.

Eine automatische Verstellung im Versuchsbetrieb würde es ermöglichen eine Vielzahl an Versuchskombinationen, resultierend aus Produktvarianten und Schnittstelleneigenschaften, deutlich effizienter umzusetzen. Hiermit wäre es möglich, Kennfelder des Schwingungsverhaltens über Schnittstelleneigenschaften zu untersuchen und damit Untersuchungen ganzheitlich schwingungsoptimierter Produktfamilien zu ermöglichen. Eine Anpassung der Schnittstelleneigenschaften an die jeweilige optimale Resonanz kann im Betrieb umgesetzt werden und damit eine Schwingungsreduzierung abhängig von der Anregungsfrequenz erreicht werden. Der Schritt zu solchen multistationär einstellbaren Schnittstellen für die Versuchstechnik weist weiteren Forschungsbedarf auf, womit auch der Weg in die reale Anwendung unter deren Betriebsbedingungen möglich wird.

AUTOREN

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



Systemauslegung zur Geräusch- und Schwingungsreduzierung

Das Projekt SysDeNoR – Systemauslegung zur Schwingungs- und Geräuschreduzierung zielt darauf ab, das V-Modell für die Entwicklung schwingender Systeme zu konkretisieren und ein systematisches Verfahren für optimale und quantitative Zielvorgaben mit maximaler Toleranz für die Komponentenauslegung zu erarbeiten. Nach dreijähriger Forschungszeit wird das Projekt erfolgreich abgeschlossen. Dabei wurde unter anderem Anforderungsentwicklung über sog. Lösungsräume [1,2] zusammen mit dem Industriepartner Wacker Neuson erfolgreich auf einen Stampfer angewendet.

MOTIVATION

Stampfer werden auf Baustellen zur Bodenverdichtung verwendet. Im Betrieb stellen sie dabei eine große dynamische Belastung für den Bediener dar. Der dauerhafte Einsatz dieser vibrierenden Maschinen könnte so z. B. ein vasospastisches Syndrom (umgangssprachlich auch Weißfingerkrankheit bezeichnet) verursachen.

LÖSUNGSANSATZ

In einem 4-stufigen Verfahren (1) werden Lösungen zur Schwingungsreduzierung identifiziert. Zuerst wird dabei das dynamische Verhalten eines Stampfers mithilfe von Mehrkörpersimulation (MKS) modelliert. Dadurch wird der Einfluss der Komponenten-

ten- auf die Systemperformance quantitativ erfasst.

Im zweiten Schritt werden Bereiche zulässiger Komponentenperformance (z.B. der Steifigkeit des Schwingungsisolators) als Lösungsräume berechnet. Anschließend wird, basierend auf den physikalischen Tests, der Schwingungsisolator modelliert und mittels Finite-Elemente-Analyse simuliert. Abschließend wird die Geometrie des Schwingungsisolators iterativ so optimiert, dass die im zweiten Schritt berechnete Bereich zulässiger Steifigkeiten erreicht wird.

ERGEBNISSE

Nach der Neuentwicklung des Stampfers wurde die Hand-Arm-Vibration, eine allgemein anerkannte Metrik zur Bewertung der dynamischen Belastung des Nutzers, um ca. 50% reduziert bei gleichbleibendem Führungsverhalten. Das entwickelte Verfahren ist allgemein anwendbar. Die Wirksamkeit wurde anhand weiterer Produkte der Bau- und Automobilindustrie (Abbildung 2) erfolgreich nachgewiesen wird.

ZUSAMMENFASSUNG

Das entwickelte Vorgehen zur Systemauslegung schwingender Systeme basiert auf dem V-Modell und Lösungsräumen. Es verteilt die Entwicklung des Gesamtsystems



Abbildung 2: Komponententest zum Nachweis der Erfüllung von Anforderungen am Beispiel Schlagbohrmaschine

über quantitative Anforderungserlegung auf mehrere einzelne Komponenten, verringert Komplexität und verkürzt Entwicklungszeit.

DANKSAGUNGEN

Die Autoren danken der Zeidler-Forschungstiftung für die Förderung des Forschungsprojekts „Systemauslegung zur Geräusch- und Schwingungsreduzierung“ (ZFS-207) und der Wacker Neuson SE für die Unterstützung bei der Durchführung des Projektes.

LITERATUR

- [1] M. Zimmermann, and J. E. von Hoessle, "Computing solution spaces for robust design", Int. J. Numer. Meth. Engineering., vol. 94, no. 3
- [2] M. Zimmermann, et. al., "On the design of large systems subject to uncertainty", Journal of Engineering Design, 2017

AUTOREN

M. Sc. Duo Xu,
Prof. Dr. Markus Zimmermann
Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau
Technische Universität München

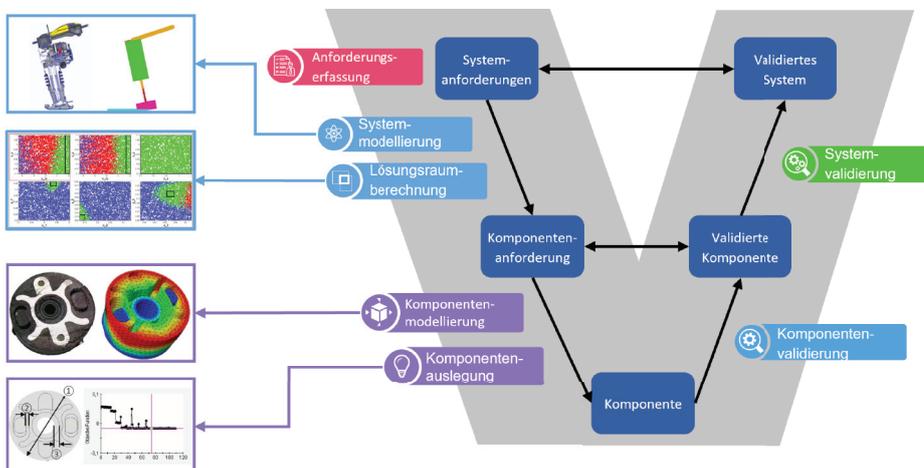


Abbildung 1: V-Modell mit 4 Lösungsbausteinen zur systematischen Auslegung schwingender Systeme.

Handlungsempfehlungen für die Entwicklung Digitaler Zwillinge in der Antriebstechnik

Laufendes FVA-Projekt an der FAU Erlangen-Nürnberg und TU Darmstadt

Im letzten Jahr startete das Forschungsprojekt FVA 889 II Digitaler Zwilling II. Bearbeitet wird das Projekt durch das Institut für Produktentwicklung und Maschinenelemente (pmd) der Technischen Universität Darmstadt und dem Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen zur Entwicklung eines Digitalen Zwillinges. Dabei steht insbesondere die Antriebstechnik im Fokus.

DIGITALE ZWILLINGE

Digitale Zwillinge erfreuen sich in der jüngsten Vergangenheit vor allem in technischen Branchen einer wachsenden Aufmerksamkeit. Dabei wird der Begriff des Digitalen Zwillinges oft sehr unterschiedlich, teils auch widersprüchlich, verwendet. Um hier eine Grundlage für ein einheitliches Verständnis zu schaffen, wurde im Rahmen des WiGeP-Positionspapiers „Digitaler Zwilling“ eine übergreifende Definition festgelegt [1]. So handelt es sich bei einem Digitalen Zwilling um eine digitale Repräsentation einer existierenden Produktinstanz. Informationen und Daten über ausgewählte Merkmale, Zustände und Verhalten aus verschiedenen Lebenszyklusphasen der Produktinstanz werden in unterschiedlichen Modellen und Informationsspeichern hinterlegt und miteinander verknüpft. Die Erstellung Digitaler Zwillinge ist ein hochkomplexes Vorhaben, welches ein Zusammenspiel und eine Abstimmung verschiedener Disziplinen und Domänen voraussetzt. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) stehen dabei vor kaum überwindbaren Herausforderungen. So können sie aufgrund der Unternehmensgröße oft keine spezialisierten Abteilungen oder Infrastrukturen für diese Aufgaben einrichten. Zudem ist die Verarbeitung von Betriebsdaten durch externe Anbieter weiterhin Gegenstand rechtlicher Diskussionen oder nicht umsetzbar.

VORHABEN

Im Rahmen des Forschungsprojektes FVA 889 II wird das Konzept des Digitalen Zwillings

in die drei Kernelemente Modelle, Sensorik und IT-Infrastruktur unterteilt. Diese stehen in ständiger Wechselwirkung miteinander und sind stets gemeinsam zu betrachten. Dem Digitalen Zwilling liegen Modelle zugrunde, welche dessen Merkmale, Zustände und Verhalten beschreiben. Während der Entwicklung des Digitalen Zwillinges ist die Art und der Umfang dieser Modelle festzulegen. Dabei wird insbesondere geprüft, welche Modelle aus der Produktentwicklung in welchem Umfang weiterverwendet werden können. Ein Beispiel hierfür ist die Nutzbarmachung von bereits bestehenden Systemmodellen für den Digitalen Zwilling [2]. Die Modelle werden mit Echtzeitdaten gespeist, welche primär von in die Produktinstanz integrierter Sensorik erfasst wird. Die Auswahl der Sensorik wird maßgeblich von den durch die Modelle vorgegebenen Interessensgrößen beeinflusst. Weiter können Bau- und Konstruktionsrestriktionen der Produktinstanz den Einsatz sensierender Maschinenelemente notwendig machen [3]. Die erforderliche IT-Infrastruktur zur Realisierung eines Digitalen Zwillinges richtet sich einerseits nach der Komplexität der Modelle und den Berechnungen des Digitalen Zwillinges und andererseits nach der zu übertragenden Datenmenge. Letztere ist wiederum stark abhängig von den Messgrößen und der notwendigen Abtastfrequenz der Sensorik.

ANGESTREBTES ERGEBNIS

Das Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Handlungsleitfadens zur Erstellung Digitaler Zwillinge. Dieser soll eine allgemeingültige Gesamtstruktur aufweisen, welche individuelle Anpassungen an den Kontext spezifischer Anwendungsfälle erlaubt. Hierzu sollen Anwender durch ein eigens für diesen Zweck entwickeltes, digitales und praxisnahes Werkzeug durch den Leitfaden geführt werden. Dabei wird durch eine Eingabemaske der individuelle Ist-Zustand wie beispielsweise die vorhandene Infrastruktur, bereits integrierte Sensorik sowie Details zum physischen System erfasst. Weiter wird das angestrebte Einsatzszenario des Digitalen Zwillinges als Soll-Zustand ermittelt. Auf Basis dieser und weiterer Eingaben werden dem Anwender dann konkrete Handlungsempfehlungen sowohl für die dem Digitalen Zwilling zugrundeliegenden Modelle, als auch für Sensorik und IT-Infrastruktur ausgegeben. Die interdisziplinäre Verknüpfung dieser Aspekte wird berücksichtigt. Weiter werden passende, konkrete Umsetzungsbeispiele und spezifische Lösungsvorschläge präsentiert. Die Ergebnisse sollen anhand eines exemplarischen Prüfaufbaus verifiziert werden, siehe Bild 1.

MÖGLICHES EINSATZSZENARIO

Die Ergebnisse des Vorhabens können bei-

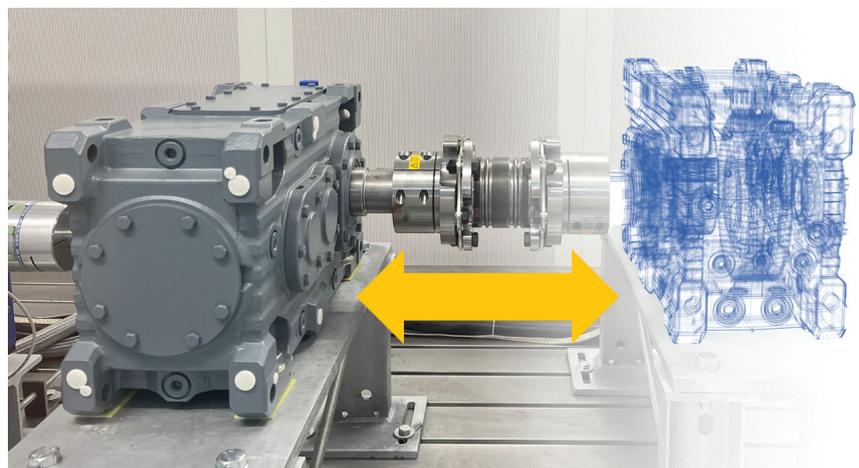


Abbildung 1: Prüfaufbau zur Methodenverifikation an der TU Darmstadt und das Zusammenspiel mit einem schematischen Digitalen Zwilling.

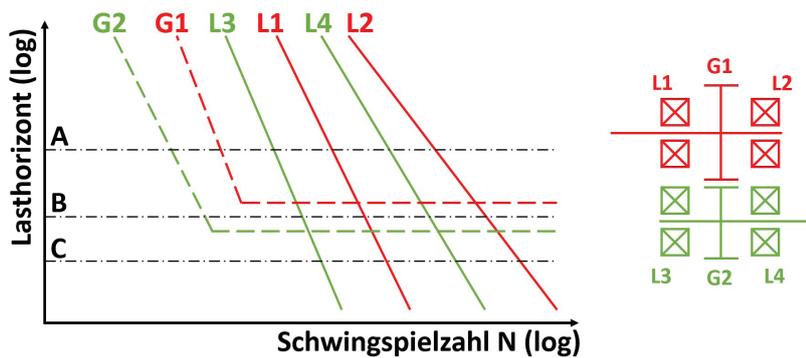


Abbildung 2: Wöhlerlinien verschiedener Getriebekomponenten

spielsweise im Rahmen der prädiktiven Instandhaltung eingesetzt werden. Dazu sind insbesondere Modelle zur Errechnung der Restnutzungsdauer (Remaining Useful Lifetime RUL) für die verschiedenen Komponenten notwendig. Grundlage dieser Modelle kann die modellhafte Betrachtung durch Wöhlerlinien sein. Bild 2 zeigt ein vereinfachtes Beispiel von Wöhlerlinien der Komponenten eines Getriebes mit vier unterschiedlichen Lagern L (durchgezogene Linien) und zwei Stirnrädern G (gestrichelte Linien) einer Stirnradstufe. Abhängig von der Belastung (strichpunktierte Linien), beispielsweise durch das übertragene Drehmoment, können unterschiedliche Lasthorizonte, hier A, B und C genannt, auftreten. Während Lasthorizont A abhängig von der Schwingspielzahl N für alle Komponenten als schädigend eingestuft werden kann, ist Lasthorizont C für die Stirnräder unkritisch, da er innerhalb der Dauerfestigkeitszone liegt. Abhängig von der realen Nutzung des Getriebes können so geeignete Wartungsintervalle terminiert werden, welche die Lebensdauer der Komponenten bestmöglich ausgenutzt und gleichzeitig das Risiko von unerwartetem Stillstand durch Schäden minimiert. Aufbauend auf dem Einsatzszenario und den

gewählten Modellen können die Messgrößen, hier insbesondere Drehzahl und Drehmoment, identifiziert werden. Hierfür ist geeignete Sensorik auszuwählen und zu integrieren. Um die Restnutzungsdauer in Echtzeit ermitteln zu können, ist weiter eine geeignete IT-Infrastruktur notwendig, welche eine zuverlässige Verarbeitung der Daten erlaubt.

VERIFIKATION ANHAND EINES EXEMPLARISCHEN PRÜFAUFBAUS

Die im Rahmen des Vorhabens erarbeiteten Konzepte, Methoden und Handlungsempfehlungen werden an einem realen Beispiel angewandt und verifiziert. Dabei handelt es sich um ein zweistufiges Industriegetriebe, welches in einem Prüfaufbau des Instituts für Produktentwicklung und Maschinenelemente der TU Darmstadt verbaut ist. Es ist Teil einer Back-to-Back Anordnung zweier jeweils identischer Getriebe und elektrischer Antriebe. Jeweils ein elektrischer Antrieb dient als An- bzw. Abtrieb des Prüfaufbaus. Der Abtrieb fungiert hierbei als Generator zur anteiligen Energierückgewinnung [4]. Die Back-to-Back Anordnung der Getriebe ist in Bild 3 dargestellt. Der Prüfaufbau kann ähnlich wie der Digitale Zwilling das Verhalten des Getriebes überwachen und



Abbildung 3: Back-to-Back Anordnung der Prüfgetriebe innerhalb des exemplarischen Prüfaufbaus

aus- somit als Verifikationsinstanz der vom Digitalen Zwilling getroffenen Annahmen und Voraussagen genutzt werden.

DANKSAGUNG

Dieses Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Es ist Teil des IGF-Projekts 22467 BG (FVA 889 II Digitaler Zwilling II) in Zusammenarbeit mit der Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA) e.V.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

LITERATUR

- [1] R. Stark, R. Anderl, K.-D. Thoben, S. Wartzack, "WiGeP- Positionspapier: „Digitaler Zwilling“,“ ZWF, Vol. 115, S. 47–50, 2020.
- [2] F. Wilking, C. Sauer, B. Schleich, S. Wartzack, "SysML 4 Digital Twins – Utilization of System Models for the Design and Operation of Digital Twins," Proc. Des. Soc., Vol. 2, S. 1815–1824, 2022.
- [3] C. Czwick, G. Martin, R. Anderl, E. Kirchner, „Cyber-Physische Zwillinge: Neukonzeption von Cyber-Physischen Zwillingen und Anwendung mit sensorintegrierenden Maschinenelementen“ Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, vol. 115, no. s1, 2020, pp. 90-93.
- [4] pmd-Homepage: Ausstattung (https://www.pmd.tu-darmstadt.de/forschung_pmd/ausstattung_4/standardseite_77.de.jsp), abgerufen am 02.05.2023.

AUTOREN

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

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

Nachhaltige Produktentstehung am IPEK – Institut für Produktentwicklung

Forschungsfeld Nachhaltigkeit

Die Knappheit zentraler Rohstoffe, verbunden mit dem rasanten Anstieg der Weltbevölkerung, macht Nachhaltigkeit zu einem der aktuellsten Themen in Gesellschaft, Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Basierend auf Zahlen des Umweltbundesamt werden bis zu 80 Prozent der Umweltauswirkungen eines Produkts in der Produktentstehung festgelegt, der somit eine Schlüsselrolle bei der Erreichung nachhaltiger Ziele zugesprochen wird [1]. In der Forschung am IPEK – Institut für Produktentwicklung spielt das Thema Nachhaltigkeit z. B. bei der Erforschung tribologischer Systeme schon seit vielen Jahren eine implizite Rolle. Nun möchte das IPEK durch die explizite Einrichtung des Forschungsfeldes Nachhaltigkeit der Bedeutung des Themas für die Zukunft gerecht werden und in diesem Gebiet einen Forschungsbeitrag leisten. Das IPEK sieht Nachhaltigkeit dabei nicht nur als Randbedingung, sondern als Chance der Produktdifferenzierung am Markt und als wichtige Größe zukünftiger innovativer Produktlösungen. Erste Forschungsschwerpunkte in diesem Themengebiet sind die Operationalisierung von Nachhaltigkeitsanforderungen sowie die Einbeziehung der Kreislaufwirtschaft in die Produktentstehung. Diese bilden die Basis für Verknüpfungen mit weiteren relevanten Forschungsvorhaben am IPEK und dem KIT.

VERSTÄNDNIS VON NACHHALTIGKEIT IN DER PRODUKTENTSTEHUNG

Aktuell gibt es in der Forschung kein einheitliches Verständnis von Nachhaltigkeit in der Produktentstehung. Dieses einheitliche Verständnis ist jedoch eine wichtige Orientierungshilfe bei der Eingrenzung und Abgrenzung eines Nachhaltigkeitsbereichs sowie bei der Auswahl geeigneter Ansätze. Ohne eine explizite Abgrenzung kann der Geltungsbereich unklar bleiben und in der Praxis zu inkonsistenten Nachhaltigkeitsbemühungen führen, die den beabsichtigten (individuellen) Zweck möglicherweise nicht unterstützen. Daher ist ein zentrales Element des Forschungsfeldes Nachhaltigkeit die Erarbeitung eines gemeinsamen Ver-

ständnisses von nachhaltiger Produktentstehung im Rahmen der KaSPro - Karlsruher Schule der Produktentwicklung.

WIE KANN NACHHALTIGKEIT OPERATIONALISIERT WERDEN?

Aufbauend auf dem erarbeiteten Verständnis von Nachhaltigkeit in der Produktentstehung erforscht das IPEK, wie sich Unternehmen hinsichtlich kurz- und langfristiger Nachhaltigkeitsziele strategisch ausrichten können. Ziel dabei ist es, unternehmensrelevante Nachhaltigkeitsanforderungen zu antizipieren und zu priorisieren. Anhand dieser Priorisierung werden anschließend Ziele definiert und mithilfe einer Roadmap für die Transformation zu einem nachhaltigeren Unternehmen operationalisiert.

VON DER LINEAREN ZUR ZIRKULÄREN PRODUKTENTSTEHUNG

Ein weiterer zentraler Baustein des Forschungsfeldes Nachhaltigkeit ist das Konzept der Kreislaufwirtschaft. Die Integration der Kreislaufwirtschaft in den Prozess der Produktentstehung spielt eine entscheidende Rolle bei der Schaffung nachhaltiger und ressourceneffizienter Produkte. Durch die gezielte Gestaltung von Produkten mit Blick auf ihre spätere Wieder- und Weiterverwendung kann ein wichtiger Beitrag zur Schonung natürlicher Ressourcen und zur Reduzierung von Abfallströmen geleistet werden. Hierzu forscht das IPEK, mithilfe dem PGE - Modell der Produktgenerationsentwicklung, wie eine solche Integration generationsübergreifend erreicht werden kann. Das Modell der PGE dient dabei als Grundlage für eine systematische und ganzheitliche Betrachtung der generationsübergreifenden Optimierung von Produkten im Hinblick auf ihre kreislauffähige Gestaltung.

TRANSFER IN DIE INDUSTRIE UND LEHRE

Im Rahmen des Forschungsfeldes hat das IPEK umfassende Kompetenzen hinsichtlich der Identifikation von Nachhaltigkeitspotenzialen, Metriken zur Bewertung der Nachhaltigkeit innerhalb der Produktentstehung



Abbildung 1: Workshop zum Thema nachhaltige Produktentstehung zusammen mit Industriepartnern.

sowie der Erarbeitung von Lösungskonzepten für Architektur und Komponenten aufbauen können. Diese Erkenntnisse sollen bspw. mithilfe von Workshops in die Praxis übertragen werden und Unternehmen dabei unterstützen, nachhaltigere Produkte zu entwickeln. Darüber hinaus sollen die Forschungsergebnisse in die Lehre integriert werden, um zukünftige Ingenieure und Produktentwickler für das Thema Nachhaltigkeit zu sensibilisieren.

Der Transfer der Forschungsergebnisse in die Industrie und Lehre ist daher ein zentraler Bestandteil des Forschungsfeldes. Durch die praktische Anwendung der entwickelten Konzepte und die Vermittlung des entsprechenden Wissens wird gemeinsam der Wandel zu einer nachhaltigeren und zirkulären Zukunft vorangetrieben.

LITERATUR

[1] McAloone, T. C. & Bey, N. 2009. Environmental improvement through product development: A guide.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Düser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
Moritz Seidler, M. Sc.
Leonard Tusch, M. Sc. M. Sc.
Michael Jäckle, M. Sc.
IPEK - Institut für Produktentwicklung,
Karlsruher Institut für Produktentwicklung (KIT)

In die dritte Runde: Maßgeschneiderte Bauteile für die Produktionstechnik von morgen

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert erfolgreichen Sonderforschungsbereich 1153 „Tailored Forming“ vier weitere Jahre mit Projektmitteln von rund 11 Millionen Euro

An der Leibniz Universität Hannover (LUH) erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Sonderforschungsbereich (SFB) 1153 „Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming“ seit 2015 erfolgreich neue Fertigungstechniken zur Herstellung multimaterieller Bauteile.

Der SFB 1153 will die Potentiale multimaterieller Massivbauteile durch maßgeschneiderte Prozessketten erschließen und entwickelt die dafür notwendigen Verfahren. Multimaterielle Bauteile besitzen im Vergleich zu monomateriellen Bauteilen ein hohes Leichtbaupotential, da die Materialtopologie gezielt an lokale Beanspruchungen angepasst werden kann. Daneben leisten multimaterielle Bauteile einen Beitrag zur Ressourcenschonung, da beispielsweise hochlegierte Materialien nur an bestimmten Funktionsflächen eingesetzt werden müssen. Im Gegensatz zu anderen Fertigungstechnologien für massive Multimaterialbauteile findet beim Tailored Forming ein Umformprozess mit zuvor gefügten Halbzeugen statt, sodass zwei unterschiedliche Werkstoffe gleichzeitig umgeformt werden. Dies hat den Vorteil, dass die Fügezone während des Umformprozesses sowohl geometrisch als auch thermisch beeinflusst werden kann, was zu einer längeren Lebensdauer der Bauteile führt. Fokus der zweiten Förderperiode lag in der Weiterentwicklung grundlegender Prozessschritte, die Erweiterung des Materialspektrums und der Untersuchung komplizierterer Demonstratorbauteile. Die generelle Übertragbarkeit der wissenschaftlichen Grundlagen auf industrielle Fertigungsprozesse wurde mit zwei Transferprojekten nachgewiesen. Im Rahmen der dritten Förderperiode wird nun der industrielle Reifegrad der Technologie gesteigert, indem die in den einzelnen Teilprojekten entwickelten Teilprozesse physisch und digital in Form einer automatisierten Prozesskette zusammengeführt werden. Damit werden Bewertungsmöglichkeiten geschaffen, mit denen sich der wirtschaftliche und ökologische Mehrwert sowie das Innovationspotential im industriellen Kontext beurteilen lässt.



Abbildung 1: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im SFB 1153

Mit dem Teilprojekt C02 „Gestaltung und Dimensionierung hybrider Massivbauteile“ untersucht das IPeG die Anwendungspotential und rechnerunterstützte Entwicklungswerkzeuge zur fertigungsgerechten Gestaltung von multimateriellen Massivbauteilen. Durch die Multimaterialität wird aus konstruktiver Sicht ein großer Lösungsraum aufgespannt, der innerhalb der Produktentwicklung untersucht werden muss. Besonders durch die komplexe mehrstufige Fertigung wird die Entwurfsbewertung der Fertigungskonformität eines multimateriellen Bauteils erschwert. Die Herausforderung besteht in der Formalisierung des Fertigungswissens und der gezielten Lösungsraumexploration für die zu entwerfenden Bauteile, um Rückschlüsse im Kontext des Design for Manufacturing auf realisierbare Produktgestalten erlauben. Für die gezielte Lösungsraumexploration wurde im Projekt ein Prozessketten-Constraint-Netz entwickelt, um Fertigungswissen, wie die Gestaltung der Fertigungsstufen, prozessübergreifende Fertigungsrestriktionen oder einsetzbare Fertigungshilfsmittel, für die Produktgestaltung zu formalisieren und im Kontext des Design for Manufacturing für Produkt- und Prozessgestaltungsentscheidungen bereitzustellen. Dabei wird eine constraintbasierte Modellierung mit einem fallbasierten Schlussfolgerungsalgorithmus gekoppelt, um auch komplexe Prozesszu-

sammenhänge, wie eine Umformprozess, abzubilden. Zudem ist das Modell durch einen Konfliktlöser fähig, für verletzte Fertigungsrestriktionen Maßnahmen zu dessen Lösung abzuleiten. [1]

Neben dem IPeG sind auch die Professoren Poll und Wallaschek, sowie Professorin Mozgova aus Paderborn mit Teilprojekten vertreten. Mehr Informationen unter: <https://www.sfb1153.uni-hannover.de/>

DANKSAGUNG

Der Sonderforschungsbereichs 1153 „Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming“ bedankt sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle und organisatorische Unterstützung des Projekts (Projektnummer: 252662854).

LITERATUR

[1] Herrmann, K.; Plappert, S.; Gembariski, P.C.; Lachmayer, R. Process Chain-Oriented Design Evaluation of Multi-Material Components by Knowledge-Based Engineering. *Algorithms* 2023, 16, 247.

AUTOREN

Kevin Herrmann, M. Eng.,
Dr.-Ing. Paul Christoph Gembariski
Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer
Institut für Produktentwicklung und Gerätebau, Leibniz Universität Hannover

ErWind - Erfassung von Windlasten an WEA-Systemprüfständen

Windenergieanlagen (WEA) gehören zu den wichtigsten Säulen einer klimaneutralen Energieversorgung. Bereits heute leisten WEA einen erheblichen Beitrag zur Reduktion der weltweiten CO₂-Emissionen. Um einen effizienten, zuverlässigen und sicheren Betrieb von WEA zu gewährleisten, wird der WEA-Entwicklungsprozess durch umfangreiche Tests auf Systemprüfständen begleitet. Derzeit sind weltweit zahlreiche Systemprüfstände im Leistungsbereich von 1 MW bis 35 MW in Betrieb oder im Aufbau [1]. Mit Hilfe von Systemprüfständen, wie z.B. dem 4MW-Systemprüfstand am Center for Wind Power Drives (CWD), kann unter anderem die Leistungsfähigkeit, Effizienz und Zuverlässigkeit von WEA-Triebsträngen getestet und optimiert werden.

PROBLEMSTELLUNG

Die Triebstrangeingangslasten haben einen entscheidenden Einfluss auf die Auslegung des WEA-Triebstrangs. Die Eingangslasten lassen sich in nutzbare Torsionslasten (Drehmoment) und parasitäre, nichttorsionale Lasten (NTL) unterteilen. Während des Auslegungsprozesses müssen die Eingangslasten mit Hilfe aerodynamischer Simulationen so präzise wie möglich berechnet werden. Mittels Messung können die vorhergesagten Eingangslasten im Feld verifiziert

werden. Auf dem Systemprüfstand werden die Eingangslasten gezielt auf den Triebstrang aufgeprägt, um z.B. die Robustheit gegen Extrembedingungen wiederholbar zu überprüfen. Drehzahl und Drehmoment werden in der Regel durch einen elektrischen Antriebsmotor aufgeprägt. Die NTL werden mittels hydraulischer Lasteinheit in den Triebstrang eingeleitet (Bild 1). Der Betrag der aufgeprägten NTL wird indirekt aus den Regelgrößen der Hydraulikzylinder berechnet.

In den Projekten „Torque in the MNm range“ [2] und „WindEFCY“ [3] wurden in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) Drehmomentaufnehmer entwickelt, die zwischen Lasteinheit und Prüfling montiert werden können. Mit diesen Drehmomentaufnehmern konnte die Messunsicherheit der Drehmomenterfassung (bis 1,1 MNm) an Systemprüfständen auf unter 0,65 % reduziert werden. NTL können mit diesen Drehmomentaufnehmern nicht erfasst werden. Demnach ist es aktuell nicht möglich, das Drehmoment und die NTL gleichzeitig mit hoher Genauigkeit auf Systemprüfständen zu messen.

ZIEL

Ziel dieses Vorhabens ist ein Mehrkomponentenaufnehmer (MKA), der gleichzei-

tig sowohl das Drehmoment als auch die NTL in ausreichender Genauigkeit erfassen kann. Der Messbereich wird für Anlagen bis 6 MW ausgelegt. Demnach müssen Dreh- und Biegemomente bis 5 MNm, sowie Quer- und Schubkräfte bis 2 MN erfasst werden. Insgesamt soll die Messung mit einer Messunsicherheit unter 3 % erfolgen. Der MKA ist eine Hohlwelle, mit integrierter komplexer Geometrie, auf der Dehnungsmessstreifen (DMS) angebracht sind. Aus den gemessenen Dehnungen können alle Eingangslasten an der Messstelle bestimmt werden. Zu beachten ist, dass MKA prinzipbedingt ein sogenanntes Übersprechen aufweisen. Übersprechen beschreibt den Effekt der Überlagerung von Dehnungen und Spannungen, die aus den einzelnen Lasten resultieren. Diese Überlagerung verfälscht das Messergebnis (z.B. Einfluss einer Axialkraft auf die Messung des Biegemoments). Durch eine zielgerichtete Auslegung der Geometrie des MKA, können Übersprecheffekte reduziert und die Messgenauigkeit erhöht werden. Für eine vollständige Eliminierung des Übersprechens muss eine rechnerische Kompensation durchgeführt werden.

VORGEHEN

Zur Erreichung der Projektziele werden zunächst die Anforderungen an den neuarti-

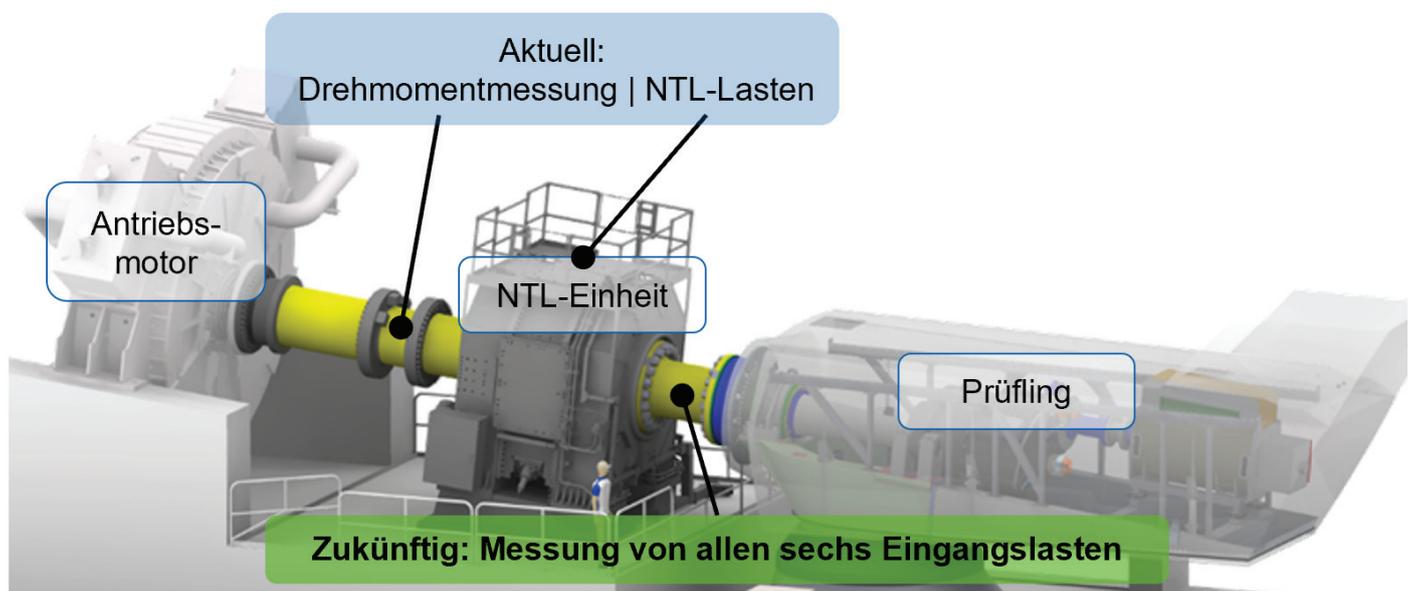


Abbildung 1: Grafische Abbildung des Prüfstandsbaus und der Messstellen

gen MKA definiert. Anschließend werden verschiedene Sensorkonzepte entwickelt und anhand von Kriterien wie z.B. Messunsicherheit, Stömpfindlichkeit, Möglichkeit zur individuellen Gestaltung des Messbereichs und Fertigungsaufwand verglichen. Im Optimierungsprozess werden die MKA-Geometrie und die DMS-Positionen iterativ unter Einsatz eines FE-Simulationsmodells angepasst, um die Messgenauigkeit zu maximieren und die Übersprecheffekte zu minimieren.

Nach der simulativen Optimierung wird der MKA-Prototyp gefertigt und die Messtechnik appliziert. Der MKA-Prototyp wird in einer Messkampagne am 4MW-Systemprüfstand des CWD (Bild 2) getestet und verifiziert. Übrige Übersprecheffekte werden durch eine rechnerische Kompensation eliminiert. Abschließend können die genutzten FE-Simulationsmodelle anhand der Prüfstandsdaten verifiziert und weitere Optimierungspotenziale für zukünftige MKA abgeleitet werden.

AUSBLICK

Am Ende des Projektes steht ein erprobter MKA-Prototyp mit hoher Messgenauigkeit einschließlich rechnerischer Echtzeitkompensation zur Verfügung. Die rechnerische Echtzeitkompensation ermöglicht es, Übersprecheffekte in den einzelnen Messgrößen sowie Einflüsse der Einbausituation zu eliminieren. Die Methodik zur Auslegung des übersprechungsfreien MKA samt rechnerischer Kompensation kann sowohl auf Prüflinge in anderen Leistungsklassen als auch

auf Prüfstände mit anderen Spezifikationen übertragen werden. Der Einsatz von nach dieser Methodik entwickelten MKA verbessert die Ergebnisse der WEA-Systemtests, da die Genauigkeit der Erfassung der aufgeprägten Lasten erhöht wird.

Mit Hilfe der genaueren Eingangslastmessung kann auf Systemprüfständen z.B. eine genauere Verbindung zwischen kritischen Triebstrang-Komponentenlasten und kritischen Eingangslasten, welche mit der Betriebssituation der WEA im Feld korrelieren, hergestellt werden. Die Systemprüfstandsergebnisse ermöglichen z.B. eine Bewertung von WEA-Getrieben vor dem Einsatz im Feld hinsichtlich ihrer Robustheit, um so unvorhergesehene und frühzeitige Schäden durch konstruktive oder regelungstechnische Maßnahmen zu vermeiden. Folglich kann das finanzielle Risiko für Anlagenbetreiber, Investoren und Versicherer durch unvorhergesehene Schadensfälle sowie der Wartungs- und Reparaturaufwand reduziert werden. Für die Anlagenbetreiber ergibt sich daraus eine höhere Anlagenverfügbarkeit, die zu einer Ertragssteigerung führt. Schlussendlich führt eine höhere Zuverlässigkeit zu geringeren Stromgestehungskosten und damit zu einer Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Windenergie.

LITERATUR

- [1] Renger F, Reicherter F (2023) Multi-Motor Drive Technology in the Multi-Meganewtonmeter-Range. In: CWD / DSEC 2023
- [2] Dao C, Kazemtabrizi B, Crabtree C

(2019) Wind turbine reliability data review and impacts on levelised cost of energy. Wind Energy 22:1848– 1871

- [3] Song Z., Weidinger P., Zweiffel M, Dubowik A, Mester C, Yogal N, Soares Oliveira R (2023) Traceable efficiency determination of a 2.75 MW nacelle on a test bench. Forsch Ingenieurwes 87:259–273

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs
Lukas Schmitz M.Sc.
Julian Röder M.Sc.
Maximilian Zweiffel M.Sc.
Center for Wind Power Drives
RWTH Aachen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Abbildung 2: ErWind Projektteam vor dem 4MW-Systemprüfstand des Center for Wind Power Drives

Projektstart DigiTain – Digitalization for Sustainability

Digitalisierte Entwicklung nachhaltiger Elektrofahrzeuge

Die Bundesregierung und die Europäische Union fördern DigiTain im Rahmen des Konjunkturpakets „Neue, innovative Produkte als Schlüssel für Fahrzeuge und Mobilität der Zukunft“. Laut Stefan Heidemann vom BMWK zeichnet sich DigiTain durch einen ganzheitlichen Ansatz aus, der mehrere technologische Innovationen integriert, eine wertschöpfungs-übergreifende Vernetzung der Partner und deren Fachexpertisen, sowie ein hohes Transferpotential auf Industrie und Gesellschaft hat.

In diesem Projekt arbeiten 26 Partner und 2 assoziierte Partner aus Industrie und Forschung zusammen. Neben großen Konzernen wie Daimler (Konsortialführer) und BMW sind auch viele innovative Klein- und Mittelständische Unternehmen (KMU) im Konsortium vertreten. (Bild 1)

Ziel der Arbeit des Konsortiums ist es die Entwicklungsprozesse von nachhaltigen Elektroantriebsarchitekturen voll digital abzubilden. Für diesen Zweck werden speziell auf die Belange der Nachhaltigkeit zugeschnittene Prozesse, Methoden und Modelle erarbeitet.

An der TU Dresden haben sich das Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK)

vertreten durch mehrere Professuren und das Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion (IMM) vertreten durch die Professur für Virtuelle Produktentwicklung (VPE) zur Bearbeitung mehrerer Arbeitspakete zusammengefunden.

NACHHALTIGKEITSORIENTIERTER PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS

Die Automobilindustrie sieht sich derzeit mit zwei großen Herausforderungen konfrontiert. Das ist zum einen der Wandel von der Entwicklung und Herstellung konventionell - hin zu elektrisch angetriebenen Fahrzeugen. Zum anderen die Beherrschung gesteigerter Anforderungen in Punkto Nachhaltigkeit der Fahrzeuge die zunehmend in einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft entwickelt, produziert und genutzt werden sollen.

In diesem Zusammenhang wird im Projekt DigiTain die Definition eines nachhaltigkeitsorientierten Produktentstehungsprozesses (NEP) angestrebt, das heißt Nachhaltigkeitsaspekte werden bereits in frühen Phasen der Entwicklung als wesentliche Zielgrößen einbezogen. Da-durch wird die Optimierung der Ökobilanz auf Komponenten- und

Gesamtfahrzeugebene während des Produktentstehungsprozesses ermöglicht. Um hierbei gleichzeitig der Herausforderung des Wandels zur Entwicklung und Herstellung elektrisch angetriebener Fahrzeuge Rechnung zu tragen, wird der NEP speziell mit Bezug zu den Elektroantriebsstrukturen definiert. Ziel ist die Entwicklung eines konzeptionellen Rahmenwerks für den NEP und die Erstellung zugehöriger semantischer Beschreibungen. Dabei werden ökologische Nachhaltigkeitskriterien festgelegt, konzeptionelle Anforderungen für die Semantik und digitale Methoden definiert, sowie (Daten-)Schnittstellen und Übergabepunkte für digitale Methoden und Werkzeuge entlang des NEPs identifiziert und festgelegt.

METHODEN ZUR ENTWICKLUNGSBEGLEITENDEN NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG

Um die Teilprozesse des NEP zu unterstützen werden LCA-Methoden (Lifecycle Assessment)) analysiert und hinsichtlich ihrer Eignung für die Ökobilanzierung in den verschiedenen Entwicklungsschritten des NEP geprüft. Um die Entscheidungsfindung für den Einsatz der Methoden zu erleichtern, wird der NEP um Leitfäden bzw. Hilfestellungen ergänzt. Die Automatisierung der Prozesse der Ökobilanzierung soll mit Hilfe von generischen MBSE-Schemata unterstützt werden, die mit Bezug zum NEP zu definieren sind. Diese Schemata müssen anschließend in bestehende Methoden und Abläufe integriert werden. Die für die Definition des NEP erhobenen nachhaltigkeitsrelevanten Daten werden zudem hinsichtlich der Eignung zur Integration in einen digitalen Produktpass untersucht, der ebenfalls im Rahmen von DigiTain erarbeitet wird und die für Nachhaltigkeit relevanten Eigenschaften eines Produktes bzw. einer Produktkomponente erfassen soll.

KONSISTENTES DATENHANDLING VON BERECHNUNGSPROZESSKETTEN

In DigiTain werden zudem neue Methoden für eine prognosefähigere CAE-Modellierung und Validierung der Fahrzeugkomponenten erarbeitet. Die Professur für Virtuelle Produktentwicklung der TU Dresden betrachtet dabei die Dokumentation und Nachvollziehbarkeit der Berechnungs-



Abbildung 1: Die Teilnehmenden des DigiTain-KickOffs im Januar 2023 - Copyright Mercedes-Benz AG

prozessketten und der darin integrierten Optimierungsprozesse, die aktuell nicht in ausreichendem Maße gegeben sind.

Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Erfassung der relevanten Zwischenergebnisse und Optimierungsschritte in PDM/PLM-Systemen. Als Basis dienen bestehende Berechnungsprozessketten der Projektpartner, die zunächst erfasst und hinsichtlich der Datenverarbeitung, Schnittstellen und Standardabläufe analysiert werden. Die Erfassung der Zwischenergebnisse der Berechnungsprozesskette wird in einer Testumgebung integriert. Es erfolgt eine schrittweise Validierung anhand von einfachen Anwendungsbeispielen bis hin zu komplexen Leichtbaukomponenten aus dem Projektkontext.

DANKSAGUNG

Das Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und der Europäischen Union gefördert. Die Verantwortung für die veröffentlichten Inhalte liegt bei den Autoren. Die Autoren danken für die Unterstützung.

AUTOREN

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



Finanziert von
der Europäischen Union

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Kooperation in der Additiven Fertigung – Das AMC an der TU Darmstadt

Gemeinschaftsinvestition von 15 Instituten der TU Darmstadt unter Federführung des Fachgebiets für Produktentwicklung und Maschinenelemente pmd

Am 16. Mai dieses Jahres war es endlich soweit: Das Additive Manufacturing Center (AMC) nahm nach zweijähriger Bauzeit seinen Betrieb auf. Verschiedene Fachgebiete aus den Fachbereichen Materialwissenschaften, Bau- und Umweltingenieurwissenschaften und Maschinenbau der TU Darmstadt haben sich in diesem Gemeinschaftsprojekt mit einem Gesamtbudget von 17,7 Millionen Euro engagiert und mit Förderung durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung EFRE ein neues Lehr- und Transfergebäude für die additive Fertigung realisiert. Im AMC wird die gesamte digitale Prozesskette der additiven Fertigung physisch und organisatorisch abgebildet. Von der Erzeugung digitaler Fertigungsdaten über die Pulverherstellung und Verarbeitung bis zur Analyse des Werkstoffs und der Maßhaltigkeit der fertigen Komponente ist die notwendige technische Ausstattung in diesem Technologiezentrum vorhanden. Diese Prozesskette spiegelt sich in der Expertise der beteiligten Fachgebiete wider. Von der Planungsidee (Abbildung 1) bis zu Einweihung des fertigen Gebäudes wurde konsequent auf die Abbildung der gesamten Prozesskette der digitalen Fertigung in einem entsprechenden Gebäudekonzept (Abbildung 2) Wert gelegt.

Additive Fertigung von Buntmetallen – Kupfer im Fokus

Das Fachgebiet für Produktentwicklung und Maschinenelemente bringt sich nicht nur mit personellen Ressourcen und bereits vorhandenen Anlagen für die Additive Fertigung in das Projekt ein, sondern beteiligt sich ebenfalls an gemeinschaftlich durchgeführten Beschaffungen von Großgeräten. Unter Federführung des Fachgebiets konnte so eine Anlage für den LPBF-Prozess (Laser Powder Bed Fusion) zusammen mit 14 weiteren Instituten beschafft und in Betrieb genommen werden, die

TU Darmstadt förderte das Vorhaben aus einem Gerätefonds mit einem signifikanten Anteil. Die Förderung der Investition durch den Gerätefonds unterstreicht zum einen deren integrierenden Charakter des Gebäudes und zum anderen den Anspruch, den Erkenntnistransfer aus der Forschung in die Anwendung zu stärken.

„GRÜNE“ ADDITIVE FERTIGUNG
Das Besondere an der Anlage des Herstellers Aconity (Abbildung 3): Der eingebaute



Abbildung 1: Plan des AMC (Bildquelle: Nickl Architekten, München)



Abbildung 2: Ansicht des realen Gebäudes am Campus Lichtwiese der TU Darmstadt (Bild: E. Kirchner, pmd)

am AMC beteiligten Fachgebieten aber auch einschlägigen Industrieunternehmen erforscht.

AUTOREN

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

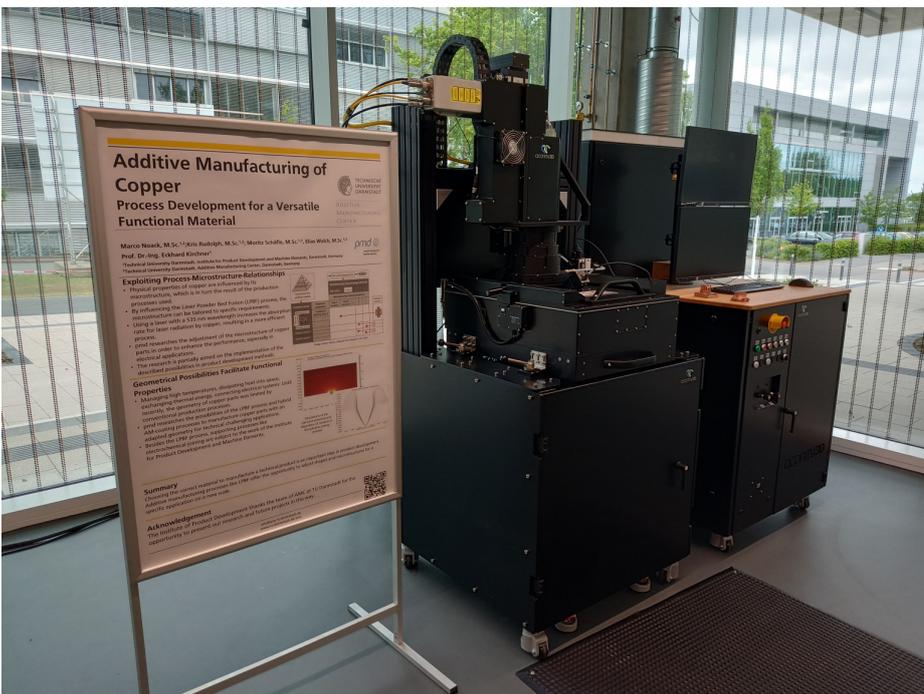


Abbildung 3: Aconity midi (Bild: M. Schäfle, pmd)

Laser ist „grün“. Die Wellenlänge des Laserlichts beträgt 532 nm und ist damit etwa halb so lang wie die Laserwellenlänge in den meisten LPBF-Anlagen. Damit ist die Anlage besonders für die Verarbeitung von Kupfer geeignet, die kurzwellige Strahlung wird vom Kupferpulver besser aufgenommen. Durch Abstimmung von Bauteilgestalt und Fertigungsprozess auf den eingesetzten Werkstoff und die Anwendung sollen die funktionalen Eigenschaften von Kupferbauteilen aus additiver Fertigung weiter gesteigert werden.

ferbauteilen aus additiver Fertigung weiter gesteigert werden.

FORSCHUNGSFRAGEN

In bereits angelaufenen und geplanten Projekten wird die Produktentwicklung insbesondere für die komplexen Prozess-Eigenschafts-Beziehungen additiver Fertigungsverfahren für Kupferbauteile in Maschinenbau und Elektrotechnik durch das pmd gemeinsam mit den anderen

Sensorintegrierende Maschinenelemente – Das DFG-Schwerpunktprogramm SPP 2305

Zehn interdisziplinäre Verbundvorhaben spannen eine weite Forschungslandschaft um die Sensorintegration in „gewöhnliche“ Maschinenelemente auf.

Die DFG hat im Mai 2020 die Einrichtung des Schwerpunktprogramms „Sensorintegrierende Maschinenelemente als Wegbereiter flächendeckender Digitalisierung“ (SPP 2305) beschlossen. In zehn Verbundvorhaben mit interdisziplinären Projektleitenden – alle mit WiGeP-Beteiligung – werden die wissenschaftlichen Grundlagen für sensorintegrierende Maschinenelemente (SiME) und deren methodisch gestützte Konzeptionierung und Systemintegration erforscht. Durch die Integration von Sensorsystemen in standardisierte Maschinenelemente wie Schrauben, Lager und Zahnräder können in direkter Prozessnähe Daten erfasst und auf Systemebene weiterverarbeitet werden. Geeignete Methoden eröffnen beispielsweise Möglichkeiten zur Zustandsüberwachung und Schadensfrüherkennung.

AKTUELLER PROJEKTSTATUS

Seit dem erfolgreichen Auftakt im November 2021 wächst das interdisziplinäre Forscherteam immer stärker zusammen. Die gemeinsam fein abgestimmte Organisationsstruktur bietet einen effizienten Rahmen für Austausch und Vernetzung.

In drei Arbeitskreisen werden neben der Synchronisation der Erfolge aller Vorhaben auch die projektübergreifenden Herausforderungen für die weitere Entwicklung reflektiert. Die unterschiedliche Ausrichtung der Arbeitskreise entsprechend der drei Querschnittsthemen „Wechselwirkung von Sensorsystem und Maschinenelement“, „Betriebsstrategie“ und „Mikrosystemtechnik“ unterstützt die disziplinübergreifende Diskussion der Herausforderungen.

Im Arbeitskreis „Wechselwirkung von Sensorsystem und Maschinenelement“ werden Zielkonflikte zwischen Gestaltung des Maschinenelements und Anforderungen aus der Sensorintegration diskutiert. Auf der Sitzung im Mai 2023 berichteten die Projektbearbeiter jeweils in kurzen Pitches über Erfolge im vergangenen Jahr sowie über Herausforderungen, die erkannt wurden. Um von Erkenntnissen und Lösungsansätzen gegenseitig profitieren zu können, wurde am Nachmittag in zwei Workshops die aktuelle Situation der Prototypenent-

wicklung diskutiert. Im Fokus standen dabei zunächst negative gemachte Erfahrungen auf dem Weg zum Ziel, um eine offene Fehlerkultur und die gemeinsame Lösungssuche zu stärken. Gerade die Fusion teils filigraner Mikroelektronik mit mechanischer Fertigung und Montage hält interessante Themen bereit.

Der Arbeitskreis „Betriebsstrategie“ widmet sich der Frage, wie das im Maschinenelement integrierte Sensorsystem später im Feld optimal betrieben werden kann. Dabei gilt es, Einflussgrößen und Limitierungen, wie die Energieversorgung, die Datenübertragung und den spezifischen Sensor, zu berücksichtigen. Die sich hieraus ergebenden Fragestellungen werden bei den jährlich stattfindenden Arbeitskreistreffen von etwa 15 teilnehmenden wissenschaftlichen Mitarbeitenden der beteiligten technischen Universitäten intensiv diskutiert. Eine besondere Stärke stellt dabei der disziplinenübergreifende Ansatz dar, da der spätere Betrieb den Anforderungen aus Maschinenbau, Elektronik und Software gerecht werden muss. Dabei profitieren die Teilnehmenden insbesondere von den Diskussionen über die Lösungen und Herausforderungen der anderen Projekte. So hat sich gezeigt, dass die meisten Projekte bei der Datenübertragung ähnliche Lösungen ausgewählt haben und gleichzeitig bei der Umsetzung der Sensorelektronik ganz verschiedene Wege gehen.

Im Arbeitskreis „Mikrosystemtechnik“ werden Themen rund um das Design, die Auslegung sowie die Validierung des im Maschinenelement integrierten Sensorsystems erarbeitet und diskutiert. Schwerpunktthemen sind dabei Strategien für das Design der Messkette sowie die Verifikation des Sensorsystems. Im jährlich stattfindenden Workshop des Arbeitskreises werden erfolgreiche Strategien aus den einzelnen Forschungsprojekten vorgestellt und gemeinsame Herausforderungen und Lösungsansätze diskutiert. Bereits erste Prototypen zur Verifikation von Teilfunktionen und letztendlich zur Sicherstellung von Zuverlässigkeit und Resilienz der zukünftigen sensorintegrierenden Maschinenelemente wurden gezeigt und Details

beispielsweise zur erforderlichen Bandbreite bei der Datenverarbeitung oder der Integration von spezifischen Sensoren diskutiert. Durch die Arbeitskreistreffen werden Erfahrungen über die Einzelprojekte des Schwerpunktprogramms hinweg ausgetauscht und Synergien gefördert.

Neben den jährlich stattfindenden Arbeitskreistreffen wird über Online-Diskussionsrunden zu identifizierten Kernthemen engmaschig diskutiert, sodass von Erfolgen im Einzelprojekt stets der gesamte Forschungsverbund profitiert. In diesem offenen Format konnten sich die Projektbearbeiter bereits zu den Fragestellungen hinsichtlich der ‚Performanz und Umsetzbarkeit in der Datenverarbeitung‘, der ‚Entwurfsmethodik mit dem Fokus auf agilen Testmethoden‘ sowie zu den Herausforderungen von ‚Energy Harvesting und Energiespeicherung‘ intensiv austauschen und gegenseitig Impulse und Anregungen geben.

AUSBLICK

Der Blick richtet sich auf den nächsten großen Meilenstein der Förderperiode: das dritte Kolloquium des gesamten Forschungsverbunds im Oktober 2023 in Garching. Neben der wissenschaftlichen Diskussion der Projekte werden auch die Weichen für die erfolgreiche Beantragung der zweiten Förderperiode gestellt.

Weitere aktuelle Informationen und Nachrichten finden Sie auf www.spp2305.de.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl
Marius Fürst, M.Sc.
Forschungsstelle für Zahnräder und Getriebesysteme (FZG)
TUM School of Engineering and Design
Technische Universität München

Automatisierung der Virtualisierung und Co-Simulation eines Flow-Rigs

Software-in-the-Loop als Ansatz für eine mit VR gekoppelte Co-Simulation in der Prozessindustrie

In der Prozessindustrie sind Rohrleitungssysteme für ihren hohen Grad an Komplexität bekannt. Die Visualisierung eines Rohrleitungssystems, z. B. eines Flow-Rigs, in der virtuellen Realität ermöglicht es Ingenieuren, das Verhalten der Rohrleitungssysteme zu simulieren und Automatisierungsfunktionen zu testen, bevor die physische Anlage gebaut wird. Dies verbessert die Erkennung von Fehlern in der frühen Entwicklungsphase, um Kosten zu sparen und die Inbetriebnahmezeit zu verkürzen. Die komplexen Rohrleitungssysteme können in einer virtuellen Welt intuitiv dargestellt werden, was eine visuelle Inspektion ermöglicht, die Bediener zu Sicherheitsschulungen motiviert und potenzielle Kunden anlockt. Die derzeit in der Prozessindustrie üblichen Verfahren zur Aggregation von Planungsdaten in der Struktur einer virtuellen Darstellung sind jedoch mit mühsamer manueller Arbeit verbunden, z. B. mit der Nachbearbeitung der Daten durch Fachleute. Um diesen Prozess zu erleichtern, stellen wir in diesem Artikel weitere Automatisierungsschritte für den Virtualisierungsprozess entlang des Anwendungsfalls eines virtuellen sogenannten Flow-Rigs vor.

VERWANDTE ARBEITEN

Die Kombination der unterschiedlichen benötigten Ingenieursdomänen wie Mechanik, Elektrik, Strömungsplanung und Programmierung der Steuerung in einem gemeinsamen Modell wird derzeit meist auf Basis von spezifischen Anwendungsfällen erforscht und entwickelt. Da wir generalisierte Lösungen anstreben, finden sich Gemeinsamkeiten mit anderen Arbeiten immer punktuell. Um von einem CAD-Modell zu einer Robotersimulation in einem halbautomatischen Arbeitsablauf zu gelangen, schlagen Thongnuch et al. eine anwendungsfallsspezifische Methode vor [1]. Die Generierung von Verhaltensmodellen, abgeleitet aus SPS-Programmen, ist ein vielversprechender, aber noch sehr begrenzter Ansatz, der von Ko et al. [2] und Park et al. [3] beschrieben wird. Ähnlich dem Ziel unserer Arbeiten haben Reinhardt et al. [4] eine Übersicht über Methoden

zur automatischen Simulationsmodellgenerierung erstellt. Auch wenn erste Schritte in die Automatisierung der Erstellung und Generierung vollständiger virtueller Modelle gegangen werden, müssen noch Fragen und Herausforderungen zur Übertragbarkeit solcher Ansätze, insbesondere für die Maschinenautomatisierung, geklärt werden.

METHODIK DER VIRTUALISIERUNG

Während die manuelle Implementierung von Digitalen Zwillingen zeit- und ressourcenaufwendig ist und oft auf individueller Produktbasis erfolgt, streben wir eine Automatisierung des Virtualisierungsprozesses an. Die Wahl der ersten Datenquelle fällt oft auf CAD als Einstiegspunkt für die dreidimensionalen Planungsdaten. Diesen Geometrien, generell ein Export aus nativer Engineering-Software, fehlen weitere semantische Informationen, die entweder im nativen Design-Tool gespeichert sind und nicht digital exportiert werden können oder in den Köpfen der Ingenieure und Domänenexperten ruhen. Um den Digitalen Zwilling inklusive Simulation von physikalischen und programmtechnischen Funktionen zu erzeugen, ist ein holistisches Verständnis der Daten das übergeordnete Ziel. Um dieses Wissen für den automatisierten Aufbau von Simulationen zu erlangen, werden im Folgenden Algorithmen aufgezeigt, welche für die automatisierte Erkennung unterschiedlicher Komponenten innerhalb eines Rohrsystems erarbeitet worden sind. Die häufigsten vorkommenden Rohrtypen sind in Abbildung 1 zu sehen. Es handelt sich um ein T-Stück (a), ein 90°-Winkel (b), ein

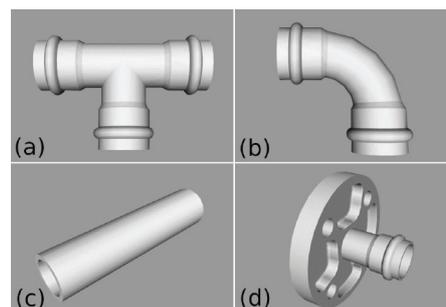


Abbildung 1: Vier häufig vorkommende Rohrtypen

gerades Rohr (c), und das Flansch (d). Die zugrundeliegenden CAD-Planungsdaten des Flow-Rigs wurden im CAD-Austauschformat STEP bereitgestellt, das zur exakten Definition der Körper eine Boundary-Repräsentation verwendet. Um die 3D-Geometrie in der virtuellen Szene darzustellen, mussten die CAD-Flächen in tesselierte Flächen übertragen werden, wie in Bild 2 zu sehen ist. Nach der Tessellierung besteht ein 3D-Objekt nur noch aus ebenen Polygonen, meist Dreiecken, die 3D-Positionen von Eckpunkten (Vertices) enthalten. Mit den berechneten Deltas zwischen den Maximal- und Minimalwerten der Punkte entlang jeder entsprechenden Achse lassen sich zunächst die Längen des Objektes in x-, y- und z-Richtung berechnen. Da Rohre nicht immer einfache Zylinder sind, müssen weitere Parameter bestimmt werden. Zu diesen Parametern zählt der Innendurchmesser und dessen Mittelpunkt. Um den Innendurchmesser aus den 3D-Daten zu berechnen, wurde das Berechnungsproblem in einen 2D-Raum überführt. Hierzu wurden nur noch die Vertices an den Enden der Achsen betrachtet und in 2D orthogonal zur Achse projiziert. Schließlich wurden aus den noch vorhandenen Punkten der Kreismittelpunkt und der Radius bestimmt. Hierbei kann auftreten, dass durch die Tessellierung eine geometrisch asymmetrische Verteilung der tesselierten Punkte im Kreisumfang liegt. Es würde im ersten Schritt ein inkorrekt berechneter Mittelpunkt berechnet werden. Um dennoch den korrekten Kreismittelpunkt berechnen zu können, wurde der Ansatz der „Minimum Bounding Boxes“ [8] angewendet. Wenn die Endfläche der Rohre ein Kreis oder konzentrische Kreise ist, ist das kleinste umschließende Rechteck ein Quadrat. Und der größte Kreis auf der Endfläche ist der Inkreis dieses kleinsten umschließenden Quadrats. Der Mittelpunkt des konzentrischen Kreises ist also derselbe wie der Mittelpunkt des umschließenden Quadrats. Auf diese Weise reduziert sich das Problem, den Mittelpunkt des Kreises zu finden, auf die Suche nach dem Mittelpunkt des kleinsten umschließenden Quadrats. Wird anschließend der Abstand eines jeden Kreispunktes zum berechneten Mittelpunkt in ein Polar-

koordinatensystem umgerechnet, so liegen alle Punkte, die zu einem Kreis gehören, auf einer Linie dergleichen Höhe. Hierbei ist der kleinste Wert entsprechend der Innenradius der Rohröffnung. Wird diese Erkennung auf den drei Achsen ausgeführt, so kann über eine Heuristik auch der Typ des Rohrs entsprechend Abbildung 2 erkannt werden. Drei Innenkreise schließen auf ein T-Stück, welches den Volumenstrom aufteilt. Zwei Innenkreise mit ähnlichen Durchmesser und auf gleicher Achse schließen auf ein gerades Rohr. Zwei Innenkreise mit großem Unterschied der Durchmesser schließen auf einen Flansch. Zwei Innenkreise auf unterschiedlichen Achsen schließen auf ein 90°-Winkel.

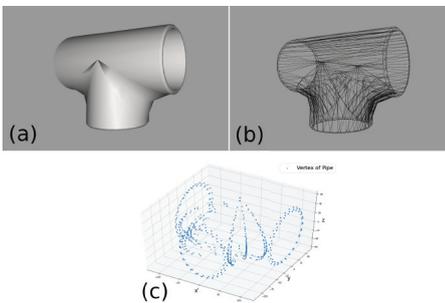


Abbildung 2: Tesselierung eines T-Rohrs

AUFBAU DER CO-SIMULATION

Der virtuelle Aufbau der digitalen Anlagen-daten wurde in der Virtual-Engineering-Engine „PolyVR“ implementiert [5]. Der Quellcode dieser Engine, mit allen Schnittstellen für den Datenaustausch und für die Kommunikationsprotokolle ist auf GitHub öffentlich einsehbar [6], der spezifische Programm-Code dieser Arbeit wie üblich nicht. Die Engine PolyVR und die Simulationssoftware SIMIT [7] sind auf zwei über

Netzwerk verbundenen PCs installiert. Zwischen ihnen wird über das Protokoll MQTT kommuniziert. Das Ergebnis des Digitalen Zwillings ist in Abbildung 3 zu sehen. Funktionalitäten wie die Komponentenerkennung können über die grafischen Oberflächenpanels gestartet werden. Zusätzlich sind die Info- und Steuerpanels der aktiven Komponenten zu sehen, die an die Simulation angebunden sind.

AUSBLICK

In diesem Beitrag wurde ein Digitaler Zwilling eines Flow-Rigs einschließlich des Virtualisierungsprozesses des Rohrleitungssystems vorgestellt. Die Kopplung und Integration der Simulationssoftware SIMIT erweitert hierbei die Möglichkeiten des Digitalen Zwillings. Eine zukünftige Erweiterung des aktuellen Stands ist die Verbindung der virtuellen Durchflussanlage mit einer emulierten oder realen speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS), um das Steuerungsprogramm und das Automatisierungssystem in einer sicheren virtuellen Umgebung zu testen. Durch die reale, physisch gebaute Anlage des Flow-Rigs bei Siemens ist es ebenfalls möglich, das Steuerungsprogramm bei klassischer Inbetriebnahme und virtueller Inbetriebnahme zu vergleichen. Ebenfalls sind Vergleiche in Hinsicht auf Effektivität eines Trainings mit dem virtuellen Flow-Rig und dem physischen Flow-Rig möglich. Zusätzlich können mit Hilfe von Methoden des maschinellen Lernens der menschliche Eingriff bei der Rohrerkenntnis und -virtualisierung noch weiter reduzieren. Eine dieser Methoden, kausale künstliche Intelligenz (CausalAI) als

Beziehungen zwischen virtuellen Objekten wie Tanks, Ventilen und Pumpen, verspricht ein interessanter Ansatz zu sein, um weitere Erkenntnisse über die Abhängigkeiten innerhalb komplexer Maschinen mit einer Vielzahl von Parametern zu gewinnen [9].

LITERATUR

- [1] Thongnuch, S., and Fay, A. (2017). "A practical simulation model generation for virtual commissioning," in Proceeding of the IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Munich, Germany (IEEE), 1077–1082.
- [2] Ko, M., Park, S. C., Choi, J.-J., and Chang, M. (2013). New modelling formalism for control programs of flexible manufacturing systems. *Int. J. Prod. Res.* 51, 1668–1679.
- [3] Park, H.-T., Kwak, J.-G., Wang, G.-N., and Park, S. C. (2010). Plant model generation for plc simulation. *Int. J. Prod. Res.* 48, 1517–1529.
- [4] Reinhardt, H., Weber, M., and Putz, M. (2019). A survey on automatic model generation for material flow simulation in discrete manufacturing. *Procedia CIRP* 81, 121–126.
- [5] Häfner, V. (2019). PolyVR-a virtual reality authoring framework for engineering applications. Ph.D. thesis, Dissertation, Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2019.
- [6] Häfner, V. (2014). PolyVR source. <https://github.com/Victor-Haefner/pol-yvr>. Besucht: 2023-05-15.
- [7] SIEMENS: Siemens Simit Description. <https://new.siemens.com/de/de/produkte/automatisierung/industrie-software/simit.html>, 2022. – Besucht: 2023-05-15.
- [8] Joseph O'Rourke. Finding minimal enclosing boxes. *International journal of computer & information sciences*, 14(3):183–199, 1985.
- [9] Michels, Felix L.; Häfner, Victor: Automating Virtualization of Machinery for enabling efficient Virtual Engineering Methods. In: *Frontiers in Virtual Reality* (2022), S. 173.

AUTOREN

Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr.h.c. Jivka Ovtcharova
 Felix Longge Michels, M.Sc.
 Haoran Yu, M.Sc.
 Dr.-Ing. Victor Häfner
 Institut für Informationsmanagement im
 Ingenieurwesen
 Karlsruher Institut für Technologie

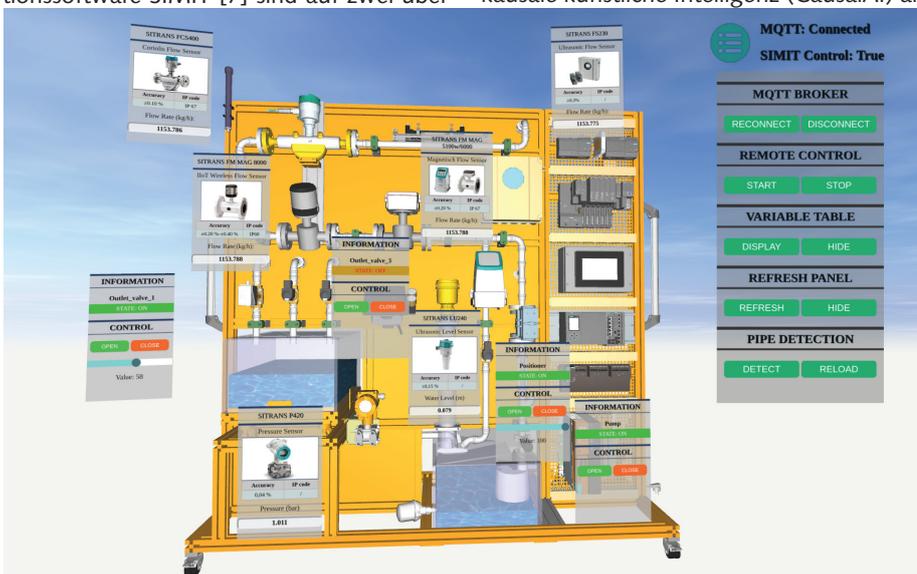


Abbildung 3: Ergebnis des Digitalen Zwillings in PolyVR

Unterstützung des DAAD-geförderten Programms „Maschinenbau in China“



Der Lehrstuhl für Produktentstehung von Prof. Iris Gräßler unterstützt das mbcn-Programm (Maschinenbau in China-Programm) der Fakultät Maschinenbau der Universität Paderborn. Hierzu reist der wissenschaftliche Mitarbeiter Daniel Roesmann mit fünf Studierenden für ein Semester zur Partneruniversität Qingdao University of Science and Technology. Hier unterstützt er innerhalb der Chinesisch-Deutschen Technischen Fakultät der Universität in der Lehre und Zusammenarbeit der beiden Universitäten. Speziell die persönlichen Gespräche am gleichen Ort helfen bei der Verbesserung der Zusammenarbeit sowie dem Verständnis füreinander über die Landesgrenzen hinweg.

Das mbcn-Programm ist eine spezielle Ausprägung der Paderborner Masterstudiengänge Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen und Chemieingenieurwesen und

vermittelt neben Fachkompetenzen auch Sprachkenntnisse, interkulturelle Kommunikation sowie Erfahrungen im Alltag in China. Das Programm wurde über mehrere Jahre von Herrn Professor Dr.-Ing. Zimmer geleitet. Das vom Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) geförderte Programm besteht seit über zehn Jahren zwischen den beiden Universitäten. Nachdem in den letzten drei Jahren kein Studierendenaustausch zwischen den Universitäten stattfinden konnte, liegt der Fokus auf dem Wiederaufbau und dem Ausbau von Strukturen und Kooperationen der Universitäten. Da Daniel Roesmann bereits als Studierender am mbcn-Programm teilgenommen hatte, kann er heute seine gesammelten Erfahrungen hervorragend dazu einsetzen. In der Chinesisch-Deutschen Technischen Fakultät wurden neue Orte für den interkulturellen Austausch geschaffen, in denen

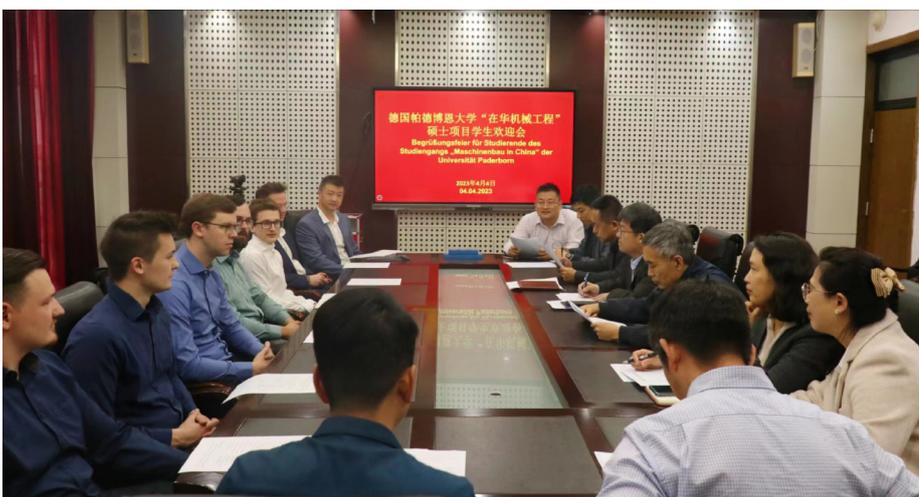
sowohl alltägliche als auch fachliche Problematiken des Maschinenbaus zwischen den Studierenden beider Universitäten diskutiert werden: Die „Deutsche Ecke“, eine Café-Umgebung zum Austausch, ein Filmabend sowie eine gemeinsame Leserunde zum Austausch von Werken der jeweiligen Kultur. Die Angebote wurden von über 50 Studierenden aus Deutschland und China begeistert angenommen.

Die Lehre erfolgt in Kooperation zwischen Lehrkräften von beiden Universitäten. Während Daniel Roesmann Technisches Deutsch für chinesische Studierende unterrichtet, werden die deutschen Studierenden von chinesischen Dozenten im fachspezifischen Chinesisch ausgebildet. Dies verfolgt das Ziel, die neu erlernten Fähigkeiten direkt in die Anwendung zu bringen. Daneben wird durch den Aufenthalt in Qingdao zudem der Kontakt zu chinesischen und deutschen Unternehmen in der Region intensiviert. So lernen die Studierenden die Unternehmenskultur sowie Innovationsfelder der dort ansässigen Unternehmen kennen. Unter anderem wurden das Binzhou Aluminum Valley, das WeiQiao Leichtbau Center sowie die Ruixin Teppichfabrik besucht. In den Unternehmen wird das Zusammenspiel aus chinesischer Kultur und neuer Technologien deutlich. Weiterhin besuchte eine hochrangige Delegation des Unternehmens Claas KGaA mbH die Chinesisch-Deutsche Technische Fakultät. Diese setzte sich aus Mitarbeitenden aus Harsewinkel, Deutschland, sowie Gaomi, China, zusammen. Weiterhin erfolgte eine Besichtigung des Sino-German Ecopark in der Stadt Qingdao. Hierbei handelt es um einen Gewerbepark für internationale Unternehmen der High-End-Industrie. In diesem wird auch die internationale Zusammenarbeit für nachhaltige Entwicklung gefördert. Der Schwerpunkt des Parks liegt in der Integration umweltbewusster Technologien und Standards in den Branchen Automobil, Automatisierung und Pharma.

AUTOREN

Lehrstuhlinhaberin: Univ. Prof. Dr.-Ing. Gräßler, Iris

Autoren: Iris Gräßler, Daniel Roesmann
Institut: Heinz Nixdorf Institut



Kompetenzentwicklung im Bereich „Generative Engineering und Design Automation“

Europäisches Verbundprojekt zur zielgruppengerechten Gestaltung und Erstellung von Schulungs- und Weiterbildungsangeboten für Industrieanwender und Studierende

Das EIT- Manufacturing Projekt "Skill development in AI driven Generative Engineering and Design Automation (AIGEDA)" startete am 01.01.2023 am Lehrstuhl für Digital Engineering. Ziel des Projektes ist die Erstellung verschiedener Schulungsprogramme und -inhalte, um Ingenieure in der Funktionsweisen, Methodik und Denkweisen von Generative Engineering weiterzubilden.

PRAXISORIENTIERUNG

Das 12-monatige Projekt findet in Kooperation mit den Universitäten TU Wien sowie der Politecnico di Torino, sowie der Akademie der Ruhr-Universität zur anschließenden Verbreitung und Vermarktung statt. Um insbesondere auf die Anforderungen und Gegebenheiten seitens der Industrie einzubeziehen sind zusätzlich die Firmen Böllhoff Group sowie Elettrotecnica Rold Srl (Italien) Teil des internationalen Konsortiums.

Die Wissenschaftler der Universitäten weisen verschiedene (Forschungs-) Schwerpunkte auf, um den theoretischen Hintergrund von Generative Engineering weitreichend zu erläutern. Dabei kombinieren diese den Hintergrund von künstlicher Intelligenz, Simulation mit Innovation und Produktentwicklung.

VORGEHEN

Ausgangspunkt des Projektes sind Anforderungsanalysen zwischen den universitären- und industriellen Projektpartnern, um eine zielgerichtete Bedarfsanalyse zur Erstellung

der Schulungskonzepte zu gewährleisten. (s. Bild 1) Die ermittelten Anforderungen und Bedarfe dienen als Grundlage für die anschließend entwickelten Schulungskonzepte und Lerninhalte. Ab Ende August werden die erstellten Inhalte sowohl in hybriden Pilot-Workshops bei den Konsortialpartnern durchgeführt, um die Konzepte zu validieren. Im Anschluss erfolgt eine Evaluation des Konzeptes, der Lerninhalte sowie des Pilot-Workshops. Hieraus ergebende Abweichungen und Handlungsbedarfe fließen in die Revision der Learning Paths und des Inhalts ein, die anschließend den Abschluss des Projektes darstellt.

LEARNING PATHS

Das EIT-Manufacturing betreibt eine Online-Lernplattform namens skills.move, die ein breites Spektrum an Themen abdeckt, darunter künstliche Intelligenz und Simulation. Sie richtet sich an Manager, Fachkräfte und Studierende. Um Fach- und Führungskräften die Grundlagen des Generative Engineering zu vermitteln, werden in dem Projekt die E-Learning-Formate mit hybriden Workshops kombiniert. Die E-Learning-Formate werden als Learning Paths abgebildet.

Diese Learning Paths werden schwerpunktmäßig drei verschiedene Bereiche umfassen: Generative Engineering und Design, Topologie Optimierung und Lightweight Design sowie Generative Engineering und Innovation. Die Learning Paths werden sowohl in deutscher, englischer als auch italienischer Sprache erstellt und veröffentlicht. Zusätz-

lich wird ein hybrider Workshop durchgeführt, bei dem die Teilnehmenden den theoretischen Kenntnissen an praktischen Beispielen werden.

Nach Abschluss der Schulungen können die Teilnehmenden beurteilen, wie Generative Engineering zur Unterstützung ihrer Produktentwicklung und verschiedener Problemlösungen eingesetzt werden kann.

AUSBLICK

Dieses Projekt zeigt, wie Generative Engineering funktioniert und wie es effektiv in bestehende oder neue Entwicklungs- und Innovationsprozesse integriert werden kann. Nach Abschluss des Projektes stehen die Learning Paths in skills.move zum Erwerb zur Verfügung. Des Weiteren wird der Workshop nach Abschluss durch die Akademie der Ruhr-Universität auch einem breiten Interessentenkreis zugänglich sein.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard
Dr.-Ing. Matthias Neges
Timo Köring, M. Sc.
Lehrstuhl für Digital Engineering
Ruhr-Universität Bochum

AIGEDA

Projektzeitplan



Abbildung 1: AIGEDA Projektzeitplan

VDI Fachausschuss aktualisiert Produktbegriff für die strategische Planung und Entwicklung

Wandel des Produktbegriffs

Der VDI/VDE-GMA Fachausschuss 3.12 bündelt Praxiserfahrungen und wissenschaftliche Erkenntnisse zur „Planung und Entwicklung hybrider Leistungsbündel“. Gemäß der Themenstellung wurden auch in der Gremienarbeit innovative Methoden eingesetzt: Unter der Leitung der Vorsitzenden Frau Professor Dr.-Ing. Iris Gräßler und stellvertretenden Vorsitzenden Frau Professor Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova wurden Präsenzworkshops mit Arbeitsphasen kombiniert, die in Form von Sprints im digitalen Raum sowie einem Präsenztreffen in Paderborn umgesetzt wurden. Öffentlich sichtbares Ergebnis ist nun ein im Mai 2023 erschienener VDI-Statusreport zum Thema „Begriffe der strategischen Produktplanung und -entwicklung – Produkt und hybride Leistung“. Der Statusreport schärft die Definition des Begriffs „Produkt“.

SICHTWEISEN FÜR DEN PRODUKTBEGRIFF

Geschäftsmodelle stellen zunehmend nicht mehr das materielle Gut in den Vordergrund, sondern den reibungslosen Betrieb eines Produkts. Vielzitiertes Beispiel ist unter anderem das Geschäftsmodell von Rolls-Royce, Turbinen über das Geschäftsmodellmuster „Power by the

Hour“ anzubieten. Konzepte wie der digitale Zwilling fördern eine Tendenz zu digitalen Geschäftsmodellen. Dies sind zwei ausgewählte Aspekte, die den Handlungsbedarf zur Aktualisierung des Begriffs „Produkt“ wahrnehmbar machen. Auch ein primär physisches, greifbares Produkt im Maschinenbau muss in der strategischen Produktplanung als Teil eines Gesamtprodukts konzipiert werden. Dabei ist es Teil einer Kombination aus technischem System, Software und Dienstleistungen. Daten können essenzieller Bestandteil eines solchen Produkts sein. Literatur und Praxis deuten auf unterschiedliche Begriffe und teils unscharfe Definitionen. Begriffe wie das „Produkt-Service-System“ und „hybride Leistungsbündel“ sind in unterschiedlichen Ausprägungen inzwischen etabliert. Schon beim Wechsel in den englischsprachigen Raum fällt aber auf: Beide deutschen Begriffe werden im Englischen zumeist durch den Begriff des „Product-Service-Systems“ ersetzt, Feinheiten in den deutschen Definitionen entfallen damit. Aus diesem Grund wurden aus diesen Ansätzen im Fachausschuss das „Produkt“, das angeboten wird, und die „Leistung“, die realisiert bzw. erbracht wird, konkretisiert. Sie werden im Statusreport neben der Pro-



Abbildung 2: Arbeitsphase im Fachausschuss

duktentwicklung durch Sichtweisen wie das Innovationsmanagement und die Wertschöpfung reflektiert. Im Kern wird eine konsolidierte Definition des Begriffs „Produkt“ geliefert, durch die ein disziplinübergreifendes Verständnis aufgebaut werden kann. Dadurch wird die Anschlussfähigkeit mit Blick auf neue, vielfältige Geschäftsmodelle sichergestellt.

ANWENDUNG AUF PRAXISBEISPIELE

Das dargestellte Produktverständnis wird anhand von drei Praxisbeispielen veranschaulicht. Das erste Beispiel stammt aus der Drucklufttechnik, wo anstelle der physischen Kompressoren nun „Druckluft-as-a-Service“ im industriellen Kontext bereitgestellt wird. Ähnlich kann Wärme auf der Grundlage maschinenbaulicher Produkte gewonnen, gespeichert und transportiert – und als Dienstleistung angeboten werden. In der Forstwirtschaft wurde der Produktbegriff in Bezug auf datenbasierte Leistungen mittels IoT-Sensoren im Wald reflektiert. Diese Beispiele geben einen Einblick in die intensive Diskussion, über die der Fachausschuss präzise Formulierungen mit praxistauglicher Festlegung verbindet.

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



Abbildung 1: Fachausschusstreffen im November 2022 in Paderborn

Twinning in der Produktvalidierung

Einsatz datengetriebener Methoden mit dem Digitalen Zwilling

Digitale Zwillinge werden in der Produktvalidierung eingesetzt, um die Zuverlässigkeit von Systemen zu bewerten und zu verbessern [1]. Sie kombinieren und erweitern bestehende Simulationsmodelle mit Datenströmen aus physischen Systemen [2]. Die Synchronisierung von Daten zwischen der physischen und der virtuellen Welt, auch Twinning genannt, ist ein elementarer Bestandteil des digitalen Zwillings [3].

TWINNING

Das Virtual-to-Physical (V2P) Twinning ermöglicht Predictive Maintenance, Model Predictive Control und die Optimierung des Produkts. Physical-to-Virtual (P2V) Twinning ermöglicht die Modellaktualisierung, Fehlerdiagnose und Ausfallprognose, siehe Abbildung 1 [4].

Die Twinning-Rate, die als Frequenz der Synchronisation beschrieben wird, muss in dynamischen Systemen recht hoch sein. Andernfalls werden Abweichungen zwischen der physischen und der virtuellen Welt zu spät erkannt, so dass sich Untersuchungen mit Hilfe der Twinning-Methoden erübrigen [5].

PRÜFSTANDSAUFBAU FÜR HOHE TWINNING-RATEN

Aus diesem Grund wurde ein Prüfstandsaufbau entwickelt, welcher Twinning-Raten von > 1kHz ermöglicht. Dies wurde beispielhaft im Kontext der Luftfahrt an einem elektrohydraulischen Aktuator (EHA) durchgeführt. Die hohe Dynamik des EHA erfordert eine hohe Twinning-Rate. Der Digitale Zwilling des EHA ist ein multiphysikalisches Simulationsmodell. Dieses beinhaltet mechanische, elektrische, hydraulische und thermische Domänen. Es werden zwei Echtzeitrechner eingesetzt. Ein Rechner führt die Simulation aus, der andere steuert den Prüfstand und erfasst die Messdaten. Zur Datenübertragung zwischen der physikalischen und der virtuellen Welt wird EtherCAT, ein Ethernet-basiertes Feldbussystem, eingesetzt. Ein EtherCAT Master verwaltet die Kommunikation und führt die Synchronisation durch. Die aus dem physischen System gewonnenen Messdaten des Prüfstands werden mit den Daten verglichen,

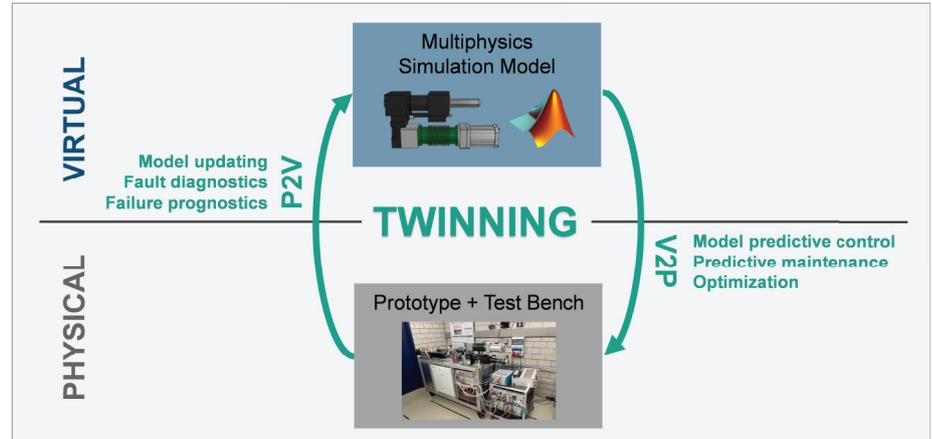


Abbildung 1: Twinning [6]

die durch den Digitalen Zwilling erzeugt werden. Die Abweichungen zwischen den beiden Datensätzen können hinsichtlich analysiert werden. Am Beispiel des EHA sind die Position und anliegende Kraft am Hydraulikzylinder, die Geschwindigkeit und das Drehmoment des Elektromotors, die Drücke des Hydrauliköls und Temperaturen an unterschiedlichen Stellen des Systems.

VALIDIERUNG UND EINSATZ

Um den Prüfstandsaufbau zu validieren, wurden Leistungstests durchgeführt, um die Synchronisierung der physischen und virtuellen Daten zu bewerten. Das Ergebnis der Fallstudie ist, dass der Ansatz mit dem beschriebenen Digitalen Zwilling, den beiden Echtzeitrechnern und EtherCAT für die Kommunikation für Twinning mit hohen Twinning-Raten geeignet ist. Dies ermöglicht den Einsatz der Twinning-Methoden in der Produktvalidierung.

LITERATUR

- [1] F. Leitenberger, T. Gwosch, and S. Matthiesen, Eds., "Architecture of the Digital Twin in Product Validation for the Application in Virtual-Physical Testing to Investigate System Reliability", DS 111: Proceedings of the 32nd Symposium Design for X (DFX2021), 2021, pp. 1-9.
- [2] R. Stark, R. Anderl, K.-D. Thoben, and S. Wartzack, "WiGeP-Positionspapier: „Digitaler Zwilling“,“ ZWF, vol. 115, special, pp. 47–50, 2020, doi: 10.3139/104.112311.
- [3] D. Jones, C. Snider, A. Nassehi, J. Yon, and B. Hicks, "Characterising the Digi-

tal Twin: A systematic literature review," CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol. 29, pp. 36–52, 2020, doi: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.

[4] A. Thelen et al., "A Comprehensive Review of Digital Twin -- Part 1: Modeling and Twinning Enabling Technologies," 2022.

[5] R. Stark and T. Damerau, "Digital Twin," in CIRP Encyclopedia of Production Engineering, S. Chatti and T. Tolio, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Springer, 2019, pp. 1–8.

[6] F. Leitenberger, "Data-driven Methods for Digital Twins enabled through Twinning", doi: 10.5445/IR/1000157218 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen

AUTOREN

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

Cross-Skates mit Elektroantrieb und hybridem Fahrmodus

Entwicklung einer neuartigen Mikromobilitätslösung am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)

Vor dem Hintergrund der ambitionierten europäischen Klimaziele, der Endlichkeit natürlicher Rohstoffe und der zunehmenden Bevölkerungskonzentration in Ballungszentren gewinnen energieeffiziente, kompakte Verkehrsmittel (sog. Mikromobilitätslösungen) zunehmend an Bedeutung. Am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg wurde daher ein elektrisch angetriebener Cross-Skate mit einem patentierten hybriden Fahrmodus als neuartiges Fortbewegungsmittel entwickelt, welches insbesondere auch für sportlich orientierte Nutzer geeignet ist.

AUSGANGSSITUATION

Der überwiegende Anteil des heutigen globalen Personenverkehrs entfällt auf Automobile, welche großteils von Verbrennungsmotoren angetrieben werden [1]. Um das im Übereinkommen von Paris formulierte Ziel der Begrenzung der Erderwärmung auf unter 2 °C im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter zu erreichen, ist eine deutliche Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen auf allen Emissionssektoren (Industrie, Energiewirtschaft, Landwirtschaft, Transport und Gebäude) notwendig. Die Europäische Union hat sich dabei das Ziel gesetzt, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen. Auf dem Mobilitätssektor ist dazu ein Übergang zu energieeffizienten, nachhaltigen Fortbewegungsmitteln erforderlich.

Elektroautos weisen zwar über den gesamten Produktlebenszyklus i. d. R. eine bessere CO₂-Bilanz auf als Verbrennerfahrzeuge [2], jedoch ist ihre Herstellung ressourcenintensiv. Darüber hinaus stellen auch die Bereitstellung einer ausreichend leistungsfähigen Ladeinfrastruktur und die Netzbelastung durch simultane Ladevorgänge eine Herausforderung dar. Im städtischen Umfeld ist auch der große Raumbedarf von Pkws ein Problem.

In diesem Zusammenhang können Mikromobilitätslösungen einen Beitrag zur Schonung von Ressourcen und Infrastruktur leisten. Dabei handelt es sich um kompakte und leichte Transportmittel für den Individualverkehr, die eine nachhaltige Alternativen

zum Automobil für kürzere Strecken bieten. Vor diesem Hintergrund wurde am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik das Ziel definiert, ein neuartiges, einfach zu nutzendes Mikromobilitätssystem zu entwickeln, das sowohl für eine energieeffiziente Fortbewegung als auch zur sportlichen Betätigung unter Einbeziehung möglichst vieler Muskelgruppen genutzt werden kann. Als geeignetes Konzept wurde ein elektrifizierter Cross-Skate identifiziert.

Bei Cross-Skates handelt es sich um eine Rollschuh-Variante mit zwei i. d. R. luftbereiften Rädern und langem Radstand, die auch für den Geländeeinsatz geeignet ist und ein Skating wie beim Skilanglauf ermöglicht. Dabei können Ober- und Unterkörpermuskulatur trainiert werden [3]. Somit handelt es sich um eine gesundheitsförderliche Art der Fortbewegung. Da Cross-Skates leichter zu transportieren sind als z. B. Pedelecs, bieten diese auch eine Lösung für das sog. „Problem der letzten Meile“. Damit werden Situationen bezeichnet, in denen trotz vorhandener ÖPNV-Lösungen das Auto genutzt wird, um den Fußweg zur Haltestelle bzw. von Haltestelle bis Zielort zu vermeiden.

Das Erlernen der Skating- und Kurvenfahrttechnik, welche ein ständiges Umsetzen der Skates erfordert, ist jedoch zeitaufwändig und stellt für ungeübte Anwender häufig ein Einstiegshindernis dar. Auch hohe körperliche Beanspruchungen wie z. B. beim Überwinden von Steigungen werden oft als unangenehm empfunden.

ENTWICKLUNGSPROZESS

Vor diesem Hintergrund bestand die Zielsetzung in der Entwicklung eines neuartigen, einsteigerfreundlichen Cross-Skates mit Elektroantrieb, der die fahrende Person aktiv unterstützt. Als Grundlage für den Entwicklungsprozess diente dabei die in VDI 2206 definierte Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme ("V-Modell"). Zunächst erfolgte die Festlegung der Anforderungen. Es sollten zwei Betriebsarten implementiert werden: Ein rein elektrischer Fahrmodus und ein Hybridmodus, in dem die Skating-Bewegungen der fahrenden Person elektrisch unterstützt werden, um

die physische Beanspruchung zu begrenzen. Des Weiteren wurden ein Lenksystem zur Erleichterung von Kurvenfahrten sowie eine mechanische Bremse zur Gewährleistung eines sicheren Anhaltens in die Anforderungsliste aufgenommen. Zu den weiteren Anforderungen – im Sinne von Mindestwerten – gehörten eine Nutzlast von 120 kg, eine Dauerleistung von 500 W, eine Höchstgeschwindigkeit von 20 km/h und eine Reichweite von 15 km im reinen Elektrobetrieb.

In der anschließenden Entwurfsphase wurde die Gesamtfunktion des Systems in Teilfunktionen strukturiert. Für diese wurden daraufhin geeignete Lösungsprinzipien ermittelt, bewertet und dann in der domänenspezifischen Entwurfsphase in den Teilgebieten Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik ausgearbeitet. Bei der darauffolgenden Systemintegration wurden die Funktionen zuerst auf Subsystemebene getestet und dann in das Gesamtsystem transferiert.

KONSTRUKTIVE AUSFÜHRUNG

Abbildung 1 zeigt ein CAD-Modell des entwickelten Cross-Skates. Die Befestigung am Fuß der fahrenden Person erfolgt über eine Bindung, die eine Nutzung mit Schuhen erlaubt.



Abbildung 1: CAD-Modell des Cross-Skates

Diese ist auf vier Dehnmessstreifen-Wägezellen (je zwei vorne und hinten) montiert, über die das Gewicht auf zwei aus hochfestem Aluminium gefertigte Trägerschienen

übertragen wird. Die Wägezellen dienen zur kontinuierlichen Messung der Gewichtsverteilung auf dem jeweiligen Skate sowie zwischen beiden Skates. Auf Basis dieser Messwerte wird die Antriebsleistung geregelt.

Der Antrieb erfolgt durch je einen Elektromotor an der Hinterachse, der über ein Planetengetriebe das Hinterrad antreibt. Die Hinterachse verfügt über eine Scheibenbremse, die durch Rückneigung des Unterschenkels betätigt wird. Der Bremshebel wird an der Wade des Fahrers angegurtet (sog. Wadenbremse) und ist über einen Seilzug mit dem Bremsmechanismus verbunden. Das Vorderrad ist zur Verbesserung des Kurvenverhaltens lenkbar ausgeführt. Hierzu kommt eine Radnabenlenkung zum Einsatz, die durch zwei Servomotoren über Lenkstangen aktuiert wird. Beide Räder sind luftbereift.

In einem unter der Bindung montierten Behälter befinden sich die als Energiequelle dienenden Lithium-Ionen-Akkus sowie die Elektronik zur Steuerung von Antrieb und Lenkung. Als zentrale Recheneinheit kommt dabei ein Mikrocontroller vom Typ Teensy 3.2 zum Einsatz.

EINSATZ

Die elektrifizierten Cross-Skates verfügen über zwei Fahrmodi. Im vollelektrischen Modus erfolgt der Antrieb nur über die Elektromotoren. Die Skates sind dabei parallel ausgerichtet. Die Antriebsleistung wird proportional zum Belastungsverhältnis der vorderen und hinteren Wägezellen geregelt. Verlagert die fahrende Person ihr Gewicht nach vorne, so steigt der auf die vorderen Wägezellen einwirkende Lastanteil und damit auch die Antriebsleistung. Bei Rückverlagerung des Gewichts wird entsprechend rekuperativ gebremst. Durch Rückwärtsneigung des Unterschenkels ist zusätzlich eine mechanische Verzögerung über die Scheibenbremse möglich. Die Lenkung wird durch Neigung der Skates um die Längsachse gesteuert, welche durch ein Gyroskop erfasst wird. Legt sich die fahrende Person in die Kurve, so lenken die Skates entsprechend ein.

Um eine konsistente Steuerung beider Skates zu ermöglichen, verfügen diese über eine Bluetooth-Schnittstelle, die einen Datenaustausch untereinander und mit externen Geräten wie Smartphones erlaubt. Dazu wurde eine Android-App pro-

Abbildung 3: Ergebnis des Digitalen Zwillinges in PolyVR

grammiert, mit der eine nutzerindividuelle Abstimmung von Parametern wie maximaler Fahrgeschwindigkeit und Sensitivität von Antrieb und Lenkung möglich ist.

Neben dem rein elektrischen Modus verfügen die hier vorgestellten elektrifizierten Cross-Skates als Alleinstellungsmerkmal über einen neuartigen, patentierten hybriden Antriebsmodus [4]. Dabei bewegt sich die fahrende Person wie beim Skilanglauf in der Skating-Technik und wird durch die Elektromotoren unterstützt (s. Abbildung 2). Die Höhe des Hilfsdrehmoments wird anhand der momentanen Verteilung des Fahrergewichts sowohl zwischen den beiden Skates als auch auf die einzelnen Wägezellen ermittelt. Dieser Fahrmodus ermöglicht eine energieeffiziente Fortbewegung, bei der sich die fahrende Person sportlich betätigen kann, ohne sich zu überlasten. Bei Verwendung von Stöcken ist auch ein Training der Oberkörpermuskulatur möglich. Während des Betriebs kann jederzeit zwischen den beiden Fahrmodi gewechselt werden.



Abbildung 2: Hybrider Skating-Modus

LITERATUR

- [1] P. Moriarty, "Global Passenger Transport", Encyclopedia, Vol. 1, S. 189-197, 2021
- [2] S. Franzò, A. Nasca, "The environmental impact of electric vehi-

les: A novel life cycle-based evaluation framework and its applications to multi-country scenarios", J. Clean. Prod., Vol. 315, Art. 128005, 2021

[3] J. A. Ross, "Skiing and Snowboarding", M. B. Werd, E. L. Knight, P. R. Langer, "Athletic Footwear and Orthoses in Sports Medicine", Springer, 2017

[4] T. Rathert, J. Miehl, S. Wartack et al., "Verfahren zum Betrieb eines Paares Skates (DE 10 2019 212 389 B4)", Deutsches Patent- und Markenamt, 2022

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr. Ing Sandro Wartack

Dr. Ing. Jörg Miehl

M. Sc. Vincent Kramer

Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk)

Friedrich Alexander Universität

Erlangen Nürnberg (FAU)

NewNormal – Kompetenz- und Bedarfsoptimierte Lehrstrategie

Studienphase, studentische Bedürfnisse und die zu erwerbenden Kompetenzen für eine sinnvolle Verzahnung von digitalen und analogen Lehrelementen berücksichtigen

Wie sieht die zukünftige Lehre an Hochschulen und Universitäten aus? Reine Online-Lehre wie in der Pandemie, die gewohnte Präsenz-Lehre oder eine Mischung aus beiden Welten? In dem vom Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst geförderten Projekt „NewNormal – Kompetenz- und Bedarfsoptimierte Lehrstrategie“ werden diese Fragen aufgegriffen und versucht, zu beantwortet. Ziel des Projekts ist es dabei, eine kriterienbasierte Verzahnung von analogen und digitalen Lehr- und Lernelementen zu erreichen.

PROJEKT BESCHREIBUNG

Mitarbeiter der FZG haben gemeinsam mit TUM ProLehre und der Unterstützung mehrerer Lehrstühle der TUM School of Engineering eine Lehrstrategie erarbeitet, die eine kriterienbasierte Verzahnung von digitalen und analogen Elementen in der Lehre beinhaltet.

Ziel der Strategie ist es, für die Studieneingangsphase und Studienphase konkrete Empfehlungen für analoge und digitale sowie synchrone und asynchrone Lehrensätze und formate zu geben. Der Grundgedanke dabei ist, den Digitalisierungsgrad der Lehrvermittlung einerseits an die Bedürfnisse und andererseits an die zu erwerbenden Kompetenzen der Studierenden auszurichten.

Bei den Studierendenbedürfnissen wird sich an den drei Grundbedürfnissen, soziale Eingebundenheit, Kompetenzerleben und Autonomie, nach Deci und Ryan (2000) [1] orientiert. Je nach Studienphase spielt eher das eine oder das andere Bedürfnis eine größere Rolle.

Die Studieneingangsphase stellt für die Studierenden einen neuen Lebensabschnitt dar. Hier schien es vor allem wichtig, den Studierenden eine schnelle Integration zu ermöglichen, in der sie soziale Kontakte knüpfen und im Studium Fuß fassen können. Präsenzelemente unterstützen dabei die Orientierung, den Beziehungsaufbau zwischen Lehrenden und Lernenden und geben den Studierenden eine erste Struktur für ihr Studium. Im weiteren Verlauf

des Studiums, der Studienphase, spielen neben der sozialen Eingebundenheit auch das Erleben von Kompetenz, Autonomie und Selbstwirksamkeit eine immer größere Rolle. Es wird davon ausgegangen, dass durch eine stetige Zunahme von digitalen asynchronen Formaten das selbstgesteuerte Lernen gefordert, aber auch gefördert wird.

Auch in höheren Fachsemestern werden Präsenzelemente als ein wichtiger Bestandteil angenommen. Sie halten die Beziehung zwischen Lehrenden und Lernenden und den Austausch unter den Studierenden aufrecht. Darüber hinaus gibt es Kompetenzen, die nur rein digital oder analog vermittelt werden können. So können beispielsweise fertigungstechnische oder anwendungsorientierte Kompetenzen, wie das Bedienen eines Prüfstandes, nur vor Ort vernünftig erlangt werden. Gegenätzlich dazu kann das Erstellen eines SPS-Programms oder das Konstruieren mittels einer CAD-Software rein digital vermittelt werden.

Die Kompetenzorientierung des Lehr- und Lernprozesses (Constructive Alignment) spielt hierbei eine fundamentale Rolle. Dabei sollen die Lernziele, die Lehr-/Lernmethoden und die Prüfungsform aufeinander abgestimmt sein.

LEITLINE

Diese Grundgedanken und Ideen wurden in einer Handreichung für Lehrende ausgearbeitet. In einem Glossar werden zunächst relevante Fachbegriffe definiert. Anschließend werden analoge, digitale, synchrone und asynchrone Lehr-/Lernelemente gegenübergestellt, auf deren Vor- und Nachteile eingegangen und ausgewählte Lehrformate beispielhaft zugeordnet. Auf dieser Basis werden Leitlinien und Empfehlungen für die Wahl und Ausgestaltung des eigenen Lehrformats gegeben. Anhand einer Konzeptionsmatrix wird der Digitalisierungsgrad aller Lehrveranstaltungen innerhalb eines Studiengangs gegenübergestellt. Eine Methodensammlung beschreibt verschiedene Lehrmethoden und Lehr-/Lernelemente und soll

Anregungen zur Ausgestaltung von Lehrveranstaltungen bieten.

EINBLICK IN ERSTE EVALUATIONSERGEBNISSE

Ende des vergangenen Wintersemesters 2022/2023 wurde eine Evaluation durchgeführt. Diese umfasste insgesamt 7 Module unterteilt in 18 Lehrformate und hatte eine Rücklaufquote von über 1500 studentischen Antworten in Bezug auf

- ihre soziale Eingebundenheit,
- die Passung des gewählten Lehrformats hinsichtlich Kompetenzerwerbs und
- die wahrgenommene Autonomie bei dem gewählten Lehrformaten.

Im verwendeten Fragebogen wurden folgende Lehrformate unterschieden:

- Präsenz-Veranstaltung
- Online-Veranstaltung
- Flipped-Classroom
- Blended-Veranstaltung (Mischung aus Präsenz- und Online-Elementen)
- Hybride-Veranstaltung (Präsenz-Veranstaltung mit Livestream).

Erste Ergebnisse zeigen, dass sich die Studierenden schon zu Beginn des Studiums sozial eingebunden fühlen. Dabei zeigen sich weder bei der gefühlten sozialen Integration im Studium, noch bei dem Kontakt zu anderen Studierenden oder bei der Kenntnis von Unterstützungs- und Informationsmöglichkeiten ein signifikanter Unterschied zwischen 1. und 3. Semester. Die Betrachtung des Lehrformats und dessen Auswirkung auf Motivation und Austausch zeigen jedoch signifikante Unterschiede. So zeigt sich eine Schwankung der Motivation und des Austausches der Studierenden untereinander in Abhängigkeit des Lehrformats. Hier schneiden Präsenz-, Hybrid- und Blended-Veranstaltungen am besten ab. Schwankungen lassen sich zudem bei dem Austausch zwischen Lehrenden und Studierenden feststellen. Wie zu erwarten, wird der Austausch zwischen Lehrenden und Studierenden in Präsenz-Veranstaltungen als am besten und in Online-Veranstaltungen als

am schlechtesten wahrgenommen. In Bezug auf Flexibilität zeigt sich der erwartete Zusammenhang.

Die Ergebnisse stützen das beschriebene Konzept mit der gezielten Platzierung von Präsenz- und Online-Formaten, um beispielsweise den Beziehungsaufbau zu erleichtern, aufrechtzuerhalten oder das selbstorganisierte Lernen zu ermöglichen. Der Kompetenzerwerb und die Möglichkeit der selbstständigen Arbeit wird in allen Lehrformaten annähernd konstant eingeschätzt. Lediglich das „Flipped-Classroom“ Format weicht davon etwas ab. Dieses wird in Bezug auf Kompetenzerwerb, Motivation und Austausch durchschnittlich am kritischsten bewertet. Ein Grund dafür könnte sein, dass das Format nicht so intuitiv und einfach umsetzbar ist und eine sehr gute Konzipierung benötigt, um den bestmöglichen Lernerfolg auf Seiten der Studierenden zu erreichen.

Weitere Ergebnisse zeigen, dass die Studierenden an der TUM größtenteils mit dem gewählten Lehrformat zufrieden sind. Bei Präsenz-Veranstaltungen würden sich einige Studierende eine hybride und bei Blended-Veranstaltungen eine reine Präsenzlösung wünschen. Zuletzt zeigte sich in der Auswertung der Ergebnisse, dass sich die Studierenden mit steigender

Semesteranzahl eine Zunahme an digitalen Formaten wünschen. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch ein Zusammenhang zwischen präferiertem Lehrformat und Modul. Entsprechend würden sich die Studierenden je nach zu vermittelnden Kompetenzen ein alternatives Lehrformat für die Inhaltsvermittlung wünschen. Auch dieses Ergebnis stützt den Grundgedanken des Konzepts, dass nicht nur die Studierendenbedürfnisse, sondern auch die zu erwerbenden Kompetenzen bei der Wahl des Lehrformats eine wichtige Rolle spielen.

AUSBLICK

Um spezifischere Zusammenhänge oder noch offene und weitere Fragen zu klären, sind weitere Schritte geplant. Einerseits soll eine Evaluation im Sommersemester 2023 die Möglichkeit bieten Tendenz zwischen 1. und 2. Semester und zwischen 3. und 4. Semester zu erkennen. Darüber hinaus soll eine Lehrendenbefragung den Abgleich zwischen intendierten und von den Studierenden wahrgenommenen Lehrformat ermöglichen. Abschließend sollen die erarbeiteten Unterlagen mit den gewonnenen Erfahrungen und Ergebnissen angepasst und gegeben Falls erweitert werden.

LITERATUR

[1] Ryan R.M., Deci E.L. Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemp. Educ. Psychol.* 2000;25:54–67. doi: 10.1006/ceps.1999.1020.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl
Dr.-Ing. Thomas Lohner
Dr.-Ing. Maximilian Trübswetter
M.Ed. Rudolf Motzet
Lehrstuhl für Maschinenelemente (FZG)
Dr. Alexandra Strasser
ProLehre – Medien und Didaktik
Technische Universität München



Das IPEK auf der 9. VDI-Fachtagung Humanschwingungen

Das IPEK setzt neue Impulse für die Produktentwicklung im Bereich Hand-Arm-Schwingungen

Auf der diesjährigen 9. VDI-Fachtagung Humanschwingungen in Würzburg war das IPEK mit gleich drei Beiträgen im Bereich Hand-Arm-Schwingungen vertre-



Abbildung 1: Die Vortragenden des IPEKs auf der VDI Humanschwingungstagung.

ten.

1. VORTRAG DES IPEKS

Am zweiten Veranstaltungstag eröffnete Herr Dr.-Ing. Andreas Lindenmann (rechts im Bild) die Beitragsreihe des Instituts für Produktentwicklung (IPEK) mit einer Präsentation zu seinem Beitrag „Modeling of the human hand using 3D multi-body models for simulative vibration studies“. In diesem beschäftigte er sich mit der Modellierung der menschlichen Hand im Kontext von simulativen Vibrationsuntersuchungen. Herr Dr.-Ing. Lindenmann zunächst einen allgemeinen Überblick über die Forschung zu Hand-Arm-Vibrationen am IPEK. Hierbei stellte Herr Dr.-Ing. Lindenmann auch den am IPEK vorhandenen Anwender-Interaktions-Prüfstand (AIP) vor. Der Anwender-Interaktions-Prüfstand ist dazu in der Lage die schwingungstechnische Interaktion zwischen Hand-Arm-System und Power-Tool unter verschiedenen Randbedingungen translatorisch und rotatorisch zu nachzubilden und zu vermessen. Nach diesem kleinen Exkurs, stellte Herr Dr.-Ing. Lindenmann neue Erkenntnisse im Bereich der Simulation von Hand-Arm-Systemen vor. In seinen Ergebnissen konnte er dabei zeigen, dass hinsichtlich des Trade-Offs zwischen Detailierungsgrads und Modellierungsaufwand unterschiedliche Modellierungsansätze für verschiedene Frequenzbereiche

besser geeignet sind. Während in Frequenzen unterhalb von 50 Hz eine Rigid Body Modellierung der menschlichen Hand eine ausreichende Genauigkeit bietet, zeigt bei höheren Frequenzen das Flexible Body Model eine bessere Übereinstimmung mit den experimentellen Messungen.

2. VORTRAG DES IPEKS

Anknüpfend an den Vortrag von Herrn Dr.-Ing. Lindenmann präsentierte Herr Tassilo Schröder (links im Bild) unter dem Titel: „Influence of coupling forces on the rotational impedance of the human hand-arm system during rotational vibration around the z_h-axis“ eine experimentelle Probandenstudie zur Untersuchung der rotatorischen Impedanz des menschlichen Hand-Arm-Systems. In der vorgestellten Studie wurde das Hand-Arm-System der Probanden mit einem neuartigen Messgriff rotatorisch angeregt und hinsichtlich der dabei gemessenen mechanischen Impedanz untersucht. Um die spezifische Handhaltung beim Greifen von Trockenbauschraubern am Prüfstand zu reproduzieren, wurde in der Studie ein Messgriff verwendet, der zuvor mit einer Daten getriebenen Methode von einem realen Power-Tool-Griff abgeleitet wurde. Anhand der Studienergebnisse konnte dabei ein Zusammenhang zwischen der spezifischen Handhaltung beim Greifen von Trockenbauschraubern und der Vibrationsbelastung des Hand-Arm-Systems hergeleitet werden. Basierend auf diesen Erkenntnissen ist es nun möglich neue, vibrationsdämpfende Griffgeometrien für Power-Tools zu entwickeln.

3. VORTRAG DES IPEKS

Den Abschluss der Vortragsreihe des IPEKs bildet der Beitrag von Frau Diana Fotler (mittig im Bild) mit dem Titel: „Design of a Study Environment for the Evaluation of Vibration Discomfort on the Hand-Arm System“. In diesem stellte Frau Fotler den Aufbau einer Versuchsumgebung zur objektiven Erfassung des bei Vibrationsbelastung empfundenen Diskomforts vor. In einer explorativen Studie untersuchte Frau Fotler dabei die Möglichkeiten von VR-Technologien im Kontext von vibrationsinduzierten Komfortmessungen. Durch die von Frau Fotler erzielten Ergebnisse

konnte der am IPEK vorhandene Anwender-Interaktions-Prüfstands um eine neue Testumgebung erweitert werden, mit der nun auch der vom Anwender empfundene Diskomfort bei Vibrationsbelastung objektiv messbar ist.

Das IPEK bedankt sich ganz herzlich beim VDI-Wissensforum für die tolle Konferenz und bei allen Teilnehmenden für den interessanten und konstruktiven fachlichen Austausch.

AUTOREN

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

Steigerung der Verkehrssicherheit durch Sound

Findung eines effektiven suggestiven Sound Designs und initialer Untersuchung dessen Wirkung.

In den letzten 10 Jahren haben NVH-Ingenieure aktives Sound Design (ASD) eingesetzt, um unter anderem E-Fahrzeugen zu einem emotionalisierenden Klang zu verhelfen, bzw. die wahrgenommene Leistung oder Sportlichkeit zu verbessern. Das dadurch entstehende und gesteigerte Feedback durch ASD wird von den Fahrern geschätzt. Da Emotionen sowie dediziertes Feedback nachweislich einen Einfluss auf das Fahrverhalten haben können, steht die Frage im Raum, ob ein gezieltes ASD auch zur gezielten Verbesserung der Fahrersicherheit verwendet werden könnte. Aus diesem Grund wird am IPEK -Institut für Produktentwicklung an einem suggestiven Sound Design (SSD) zur unterschwelligem Beeinflussung des Fahrverhaltens gearbeitet. Dabei soll explizit die bedrohliche Wirkung eines ASD erhöht werden, wenn ein gewisser Sicherheitsabstand unterschritten wird, um die Auffahrt Situation emotional zu kontextualisieren, und einen Änderungswunsch im Fahren hervorgerufen. Das SSD soll sich dabei aus einem angenehmen ruhigen Grund Sound, sowie einem bedrohlichen aufregenden suggestiven Stimulus bei niedrigem Abstand zusammensetzen.

SUGGESTIVER STIMULUS

In einem online Hörversuch mit 45 Proband*innen wurden 16 erzeugte Sounds hinsichtlich der induzierten Emotion, sowie der mit den Sounds assoziierten Emotionen evaluiert. Die Sounds wurden auf Basis von harmonischen Strukturen die durch eine trainiertes Neuronales Netz erzeugt wurden, generiert. Diese harmonischen Strukturen wurden im Anschluss mit professionellen Klangerzeugern aus

dem Bereich Sound Design für Filme in ASD ähnliche Geräusch überführt. Die Bewertungen wurden einerseits dazu verwendet Sounds für das grundlegende ASD, sowie dem suggestiven Stimulus zu finden. Zusätzlich wurden die Sounds psychoakustisch analysiert (Lautheit, Schärfe, Schwankungsstärke, Impulshaltigkeit, Tonhaltigkeit und Rauigkeit). Zwischen den Bewertungen der Proband*innen sowie den psychoakustischen Analysen wurden Korrelation gesucht, die Optimierungspotenziale für beruhigende oder bedrohliche ASD darstellen. Besonders Impulshaltigkeit und Schwankungsstärke korrelierten ausgeprägt mit der Bedrohlichkeit, wohingegen Schärfe mit der Aufregung korrelierte. Nach unseren Erkenntnissen sollte das fundamentale beruhigende ASD mit niedrigem Erregungsniveau eine geringe Impulshaltigkeit, Schwankungsstärke und hohe Tonhaltigkeit, sowie geringe Schärfe aufweisen. Der bedrohliche suggestive Stimulus sollte eine hohe Impulshaltigkeit, Schwankungsstärke, Schärfe sowie eine eher geringe Tonalität aufweisen. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden optimierte Sounds erzeugt und hinsichtlich ihrer Wirkung innerhalb einer zweiten Studie eingesetzt.

UNTERSUCHUNG SOUND WIRKUNG

Für die Untersuchung der vermeintlichen Auswirkung der Sounds auf das Fahrverhalten, wurde eine videobasierte Studie mit 166 Proband*innen durchgeführt. Für die Studie wurden 5 unterschiedliche Sounds (3 bedrohliche, 1 neutraler, sowie ein beruhigender/positiv klingender Sound) mit jeweils 5 Videos kombiniert. Die Videos

zeigen unterschiedliche Sicherheitsabstände zwischen 12-16 Meter bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten (50-70 km/h) (Bild 1). Die Probandinnen erhielten jeweils 5 zufällige Video-Sound Kombinationen. Die Proband*innen wurden dazu aufgefordert den Sicherheitsabstand zu schätzen und ob dieser Sicherheitsabstand für Sie ausreichend, oder zu groß oder zu kleine war. Die zahlenmäßige Schätzung unterliegt einer großen Streuung die einen direkten Wirkungsnachweis schwierig macht. Bei der Angabe ob der Sicherheitsabstand jedoch ausreichend oder zu gering war, gab es bei den kumulierten Angaben über alle Videos die geringste Anzahl von „Abstand zu niedrig“ und die höchste bei „Abstand ausreichend“ bei dem beruhigenden/positiven Sound im Gegensatz zu den bedrohlichen (Abbildung 2). Dies ist bereits ein erstes Indiz, dass ein suggestives Sound Design eine Wirkung auf das Fahrverhalten haben könnte.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
Dipl.-Ing. Manuel Petersen
Dipl.-Ing Sascha Ott
IPEK - Institut für Produktentwicklung
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)



Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung des gezeigten Video-materials für die zweite Probandenstudie

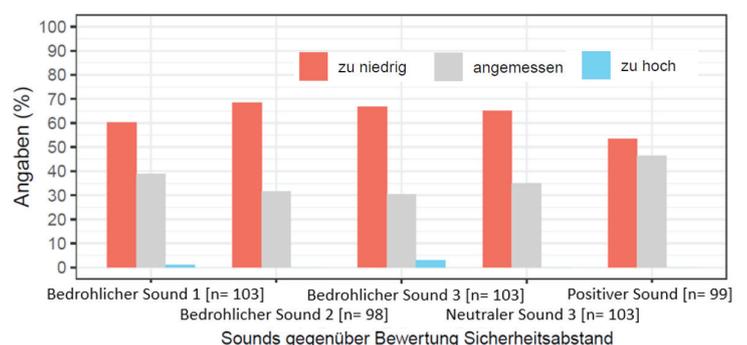


Abbildung 2: Angaben der Probanden in Prozent bei unterschiedlichen Sounds darüber, ob sie den dargestellten Sicherheitsabstand als zu gering, ausreichend oder zu groß empfanden.

Erfolgreicher Abschluss des NRW-Forschungskollegs zur Gestaltung von flexiblen Arbeitswelten

Für Produktionsunternehmen eröffnet der Übergang zu Industrie 4.0 große Chancen für die Modernisierung und die damit verbundene Effizienzsteigerung der Produktionsprozesse. Neben den noch in großem Maße existierenden technischen Herausforderungen bei der Entwicklung solcher Systeme erfährt insbesondere die Rolle der Beschäftigten über die gesamte Wertschöpfungskette einen erheblichen Wandel. Das NRW Forschungskolleg Gestaltung von flexiblen Arbeitswelten - Menschenzentrierte Nutzung von Cyber-Physical Systems in Industrie 4.0 war bei seiner Gründung im Jahr 2014 eines der ersten wissenschaftlichen Programme, das die Rolle des Beschäftigten in diesem Transformationsprozess fokussiert. Das Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes NRW förderte hierzu acht Jahre lang inter- und transdisziplinäre Forschung zur Lösung komplexer gesellschaft-

licher Herausforderungen der zukünftigen Arbeitswelt. Zur ganzheitlichen Betrachtung wurden soziotechnische Ansätze in interdisziplinären Forschungsteams entwickelt und mit der Zivilgesellschaft erörtert. Innerhalb des Projekts waren Forschende aus acht unterschiedlichen Disziplinen beteiligt. In der zweiten Förderphase stand

die Rolle der Beschäftigten bei der Konzeption und Modellierung von hybriden Systemen im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten. Unter Leitung von Professorin Iris Gräßler wurden nun zum Abschluss der zweiten Förderperiode die Ergebnisse des NRW-Forschungskollegs im Rahmen eines Fachbuchs mit dem Titel *The Digital Twin of Humans. An Interdisciplinary Concept of Digital Working Environments in Industry 4.0* bei Springer veröffentlicht (<https://doi.org/10.1007/978-3-031-26104-6>).



AUTOREN

Univ. Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler
Daniel Roesmann
Heinz Nixdorf Institut
Lehrstuhl für Produktentstehung
Universität Paderborn

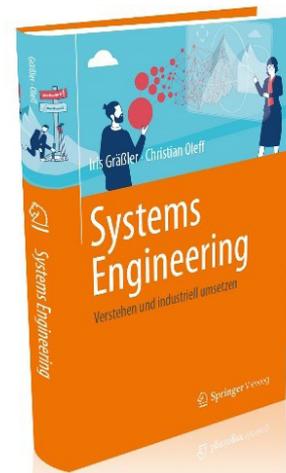
Systems Engineering – Verstehen und industriell umsetzen

Wie werden technische Systeme zeitgemäß entwickelt, die in Komplexität und Anspruch alles bisher Dagewesene übertreffen? Darauf gibt Systems Engineering Antworten. Bisherige Beschreibungen sind für den Maschinenbau aber oft schwer greifbar und zu unkonkret.

Dieses Buch bricht den internationalen Stand der Wissenschaft auf das Wesentliche herunter und beschreibt praxisnah die Kernelemente des Systems Engineering. Eine konkrete Schritt-für-Schritt Anleitung ebnet den Weg für den erfolgreichen Transfer aus der klassischen Produktentwicklung hin zum Systems Engineering. Die Inhalte werden grafisch professionell und bewusst lebendig vermittelt. So wird nicht nur ein fundiertes Systems Engineering-Verständnis geschaffen, sondern auch die Basis für Kommunikation und Umsetzung im Unternehmen gelegt. (<https://doi.org/10.1007/978-3-662-64517-8>)

AUTOREN

Lehrstuhlinhaberin: Univ. Prof. Dr.-Ing. Gräßler, Iris
Autorin: Iris Gräßler
Institut: Heinz Nixdorf Institut
Name des Lehrstuhls: Lehrstuhl für Produktentstehung
Name der Universität: Universität Paderborn



Neues Tutorium am IPeG

Unter dem Motto „Denk mal konstruktiv!“ praktisch Skizzieren und Zeichnen

Im Rahmen der Entwicklung des neuen Bachelorstudiengangs „Nachhaltige Ingenieurwissenschaft“ an der Fakultät für Maschinenbau der Leibniz Universität Hannover sind die Lehrenden mit den Studierenden in den Austausch gegangen. In einer Zeit, in der klassische ingenieurwissenschaftliche Lehrinhalte wie die Konstruktionslehre auf die kritische Betrachtung von Produkten durch die Gesellschaft treffen, wird schnell deutlich, dass hier ein aktuelles und perspektivisches Spannungsfeld besteht. Ziel dieses Austausches war es zum einen ein Stimmungsbild der zukünftigen Ingenieur*innen zu erfassen und zum anderen auch Bedarfe für neue Lehrveranstaltungen zu identifizieren. Ein Bedarf, der aus Sicht des Instituts für Produktentwicklung und Gerätebau (IPeG) von hoher Relevanz ist, bildet die Fähigkeit mit Hilfe von Skizzen und Zeichnungen kommunizieren zu können. Als Einstieg in die Disziplin der Konstruktionslehre ist diese Kompetenz maßgeblich um im Berufsleben als Ingenieur*in erfolgreich zu sein.

Als Konsequenz dieser Bedarfsidentifikation hat das IPeG für das aktuelle Sommersemester 2023 ein neues Tutorium entwickelt und für alle Studierenden der Fakultät (Bachelor sowie Master) angeboten und durchgeführt. Unter dem Titel „Denk mal konstruktiv“ ist es das Ziel nicht nur die Studierenden handwerklich im Zeichnen zu befähigen, sondern zugleich hinsichtlich des Hebels der zeichenbasierten Kommunikation sensibilisieren.

VON DER GERADEN LINIE ZUM OPTIMIERTEN PROTOTYP

Das zweitägige Tutorium setzt sich aus vier Bausteinen zusammen, die sich in die Grundlagen nachhaltiger Produktideen, das Handwerk „Skizzieren“, die Identifizierung von konkreten Anforderungen an eine Produktskizze sowie das Selbststudium zur Umsetzung der Inhalte. Im Rahmen dieses Selbststudiums haben die Studierenden in heterogenen Kleingruppen von vier bis fünf Studierenden eine konkrete Produktidee erarbeitet und in kommentierte Skizzen überführt.

Nachhaltigkeit von Anfang an ist das Motto unter dem wir in die Diskussion mit den

teilnehmenden Studierenden aus unterschiedlichstem Master- und Bachelor-Studiengängen treten. Wie kann in einer Welt, die von technischem Fortschritt, hoher Effizienz und Kostendruck geprägt ist, ein anforderungsgerechtes und ökologisch sinnvolles Produkt umsetzen.

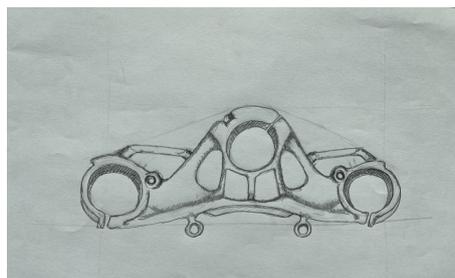


Abbildung 1: Von einer Studierenden angefertigte Skizze eines topologieoptimierten Radträgers

Wie können wir unsere Ideen visualisieren und kommunizieren? Der Antwort dieser Frage haben sich die Studierenden über angeleitete Zeichenaufgaben ausgehend gerader Linien, über einfacher Körper bis hin zu komplizierten technischen Bauteilen genähert (vgl. Abbildung 1). Das Zusammenspiel aus Geometrien, Perspektiven und der Dimensionierung befähigte die Studierenden bereits nach kurzer Zeit konkrete Ideen in Form von Skizzen darzustellen.

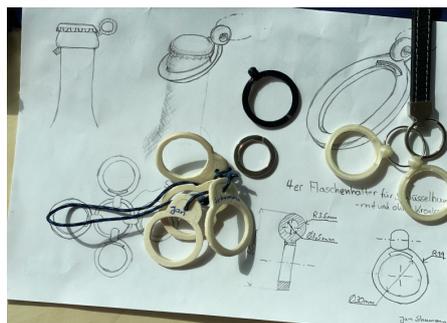


Abbildung 2: Aus Holz gefertigter Prototyp, sowie mittels FDM gefertigte Prototypen (Studierender: Jan Schumann)

Für die Validierung im Selbststudium hat die Brauerei des Campus Maschinenbau Garbsen (CMG) die notwendigen Anforderungen für einen Demonstrator – einen möglichst ressourceneffizienten Flaschenhalter - formuliert. Im Gespräch mit Dr.-Ing. Marc Müller (Institut für Mehrphasenprozesse, Campusbrauerei) konnten die Studierenden konkrete Fragen stellen, welche Funktionen in die diesen Flaschenhalter integriert werden sollen. Die fünf beteiligten studentischen Gruppen haben inner-

halb von zwei Wochen ihre Projektideen eigenverantwortlich und selbstgesteuert umgesetzt. Ein gelungenes Ergebnis des Bachelorstudierenden Jan Schumann (Nachhaltige Ingenieurwissenschaft) wurde nicht nur aus Holz als Prototyp gefertigt, sondern bereits mit biodegradablen Filament additiv gefertigt (vgl. Abbildung 2 und 3).



Abbildung 3: „Prototypentest“ – der Studierende konnte die Campusbrauerei überzeugen

WEITERE PROJEKTE

Mit Blick auf die durchgehend positive Resonanz der Studierenden ist es zielführend auch in den zukünftigen Semestern in dieser oder vergleichbarer Form das praktische Skizzieren kreativer Produktideen als Lehrinhalt zu verfolgen. Durch diesen Input werden die Studierenden auf ihr Berufsleben als Ingenieur*in gezielt vorbereitet.

AUTOREN

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer
M. Sc. Johanna Wurst
Dipl.-Ing. Claudia Wonnemann
Institut für Produktentwicklung und Gerätebau
Leibniz Universität Hannover



WiGeP

Wissenschaftliche Gesellschaft
für Produktentwicklung

Mehr Innovationskraft durch Zusammenarbeit
von Wissenschaft und Wirtschaft

Besuchen Sie die Website der WiGeP: www.wigep.de

Vorstand/Anschriften:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer
(Geschäftsführer)
Institut für Produktentwicklung und
Gerätebau
Leibniz Universität Hannover
An der Universität 1
30823 Garbsen
Tel.: +49 (0) 511 1762 3471
E-Mail: lachmayer@ipeg.uni-hannover.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause
(Sprecher des Vorstands und für Me-
thoden & Prozesse in der Produktent-
wicklung)
Institut für Produktentwicklung und
Konstruktionstechnik
Technische Universität Hamburg
Denickestraße 17
21073 Hamburg
Tel.: +49 (0) 40 142878 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 1608 47156
E-Mail: sven.matthiesen@kit.edu

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kirchner
(Sprecher für Maschinenelemente und
-systeme)
Fachgebiet Produktentwick-
lung und Maschinenelemente
Technische Universität Darmstadt
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt
Tel.: +49 (0) 6151 11621171
E-Mail: kirchner@pmd.tu-darmstadt.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
(Sprecher für Virtuelle Produktentwick-
lung)
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
Universität Erlangen
Martensstraße 9
91058 Erlangen
Tel.: +49 (0) 9131 185 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 Technologie (KIT)), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Beate Bender (Ruhr-Universität Bochum), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lucienne Blessing, Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Paolo Ermanni (Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard (Ruhr-Universität Bochum), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kilian Gericke (Universität Rostock), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Iris Gräßler (Universität Paderborn), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jens Göbel (Technische Universität Kaiserslautern), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Göhlich (Technische Universität Berlin), Univ.-Prof. Dr. sc. ETH Alexander Hasse (Technische Universität Chemnitz), Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hannes Hick (Technische Universität Graz), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs (RWTH Aachen University), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kirchner (Technische Universität Darmstadt), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulf Kletzin (Technische Universität Ilmenau), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause (Technische Universität Hamburg), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer (Leibniz Universität Hannover), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Liebig (Technische Universität Berlin), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Lohrengel (Technische Universität Clausthal), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Mantwill (Helmut-Schmidt-Universität), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen (Karlsruher Institut für Technologie (KIT)), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirk Meboldt (Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich), Univ.-Prof. Dr. Athanassis Mihailidis (Aristotle University of Thessaloniki), Univ.-Prof. Dr. h.c. Jivka Ovtcharova (Karlsruher Institut für Technologie (KIT)), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold-Byhain (Technische Universität Dresden), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Poll (Leibniz Universität Hannover), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel (Universität Stuttgart), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Schindler (RWTH Aachen University), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Berthold Schlecht (Technische Universität Dresden), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubert Schwarze (Technische Universität Clausthal), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl (Technische Universität München), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark (Technische Universität Berlin), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rman Teutsch (Technische Universität Kaiserslautern), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dieter Thoben (Universität Bremen), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thmas Vietr (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. Fath Babalik (Uludag Üniversitesi), Prof. Dr.-Ing. Bernd Bertsche (Universität Stuttgart), Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz (Universität Stuttgart), Prof. Dr. h. c. Dr. h. c. Dr.-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), Ehard Bock (Freudenberg FST GmbH), Frank Koch (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI), Frank Thielemann (UNITY AG), Franz Völkel (Schaeffler), Georg Mecke (Airbus Operations GmbH), Gerd Fricke (PEKU Folien GmbH), Gunnar Ebner (Capgemini Deutschland GmbH), Gunnar Gödecke (VULKAN Kupplungs- und Getriebebau Bernhard 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 Stählmann (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 Katzenbach (Baker Hughes, a GE Company), Michael Engelbreit (Wittenstein Alpha), Michael Grethier (EES GmbH), Michael Ketting (IBAF GmbH), Michael Kleinkes (Hella KGaA Hueck & Co.), Nico Gebhardt (thyssenkrupp Marine Systems GmbH), Niklas Halfmann (Diehl Aviation), Olaf Schodoffsky (HILTI Entwicklungsgesellschaft mbH), Oltmar 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

