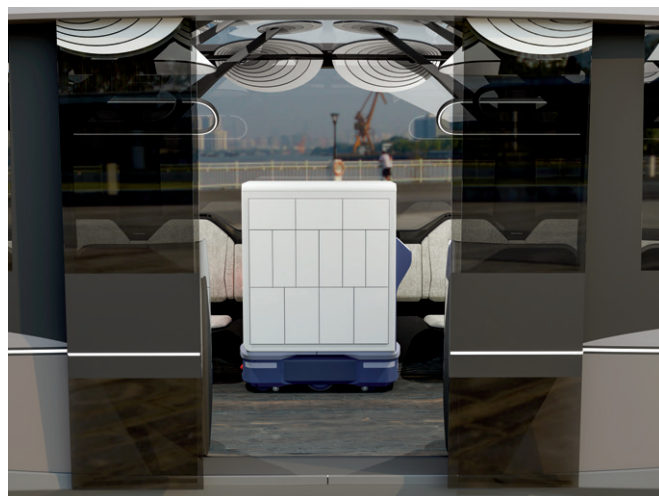




MCube STEAM – Die Zukunft des busbetriebenen ÖPNV?

Unser neuartiges Konzept kombiniert Personen- und Gütertransport durch intelligente Buslinien, unterstützt von Pakettransport-Robotern, und bietet ein smartes Interieur, das sich dynamisch an verschiedene Situationen anpasst. Wir definieren Effizienz, Nachhaltigkeit und Kundenzentrierung im Transportwesen neu.



Ein Blick in das STEAM Interieur, das sich intelligent an die Bedürfnisse seiner Nutzer anpasst – eine Symbiose aus Komfort und Funktionalität.

Vorwort

Liebe Freundinnen und Freunde des Lehrstuhls für Produktentwicklung und Leichtbau,

im letzten halben Jahr konnten wir wieder mehrere Projekte (KME ExoTool, Product Family Design für CARIAD) abschließen und neue Verbundvorhaben starten (SOLID, KREATIVE). Wir berichten vom werbewirksamen Auftritt des Projektes MCube STEAM auf der IAA in München mit unseren Forschungspartnern.

Neben der Veröffentlichung von zwei Dissertationen und mehreren Papern konnten wir auf der ICED23, diesmal in Bordeaux (F), unsere Projekte präsentieren und diskutieren. Die Jubiläumsveranstaltung des Münchner Leichtbauseminars, das es seit 20 Jahren gibt, zog 2023 wieder viele interessierte Redner und Gesprächspartner aus Industrie und Forschung an. Die Konferenz war erneut ein voller Erfolg.

Im Hackathon Think.Make.Start., Batch #17, wurden in neun Teams wieder viele neue Ideen entwickelt. Wir stellen die drei prämierten Award-Gewinner vor und gratulieren herzlich.

Auch personell dreht sich das Rad am LPL weiter: Einige unserer Mitarbeitenden haben den Lehrstuhl verlassen; umgekehrt heißen wir auch zwei neue herzlich willkommen und stellen sie vor.

Viel Spaß beim Lesen der Lektüre wünschen Ihnen und Euch

Markus Zimmermann
Markus Mörtl

Inhalt

02	Vorwort
03	BMBF-Verbundprojekt STEAM auf der IAA Mobility 2023
04	Project Closure of the ExoTool – a Robot-like, Portable Tool with Enhanced Ergonomic Functions
06	Product Family Design with Solution Compensation Spaces
07	SOLID: Smart Soil Compaction Devices
08	Projektstart KREATIVE – Konstruktionsmethodik für die hybride Additive Fertigung
09	Münchner Leichtbauseminar 2023 – Munich Symposium on Lightweight Design 2023
10	Think.Make.Start. (TMS) – Gewinner von Batch #17
11	24th International Conference on Engineering Design
14	Verabschiedungen vom LPL
17	Neu am LPL
18	Neuerscheinungen des Lehrstuhls
18	Veröffentlichungen
19	LPL-Klausur 2023 in Bayerisch Gmain
20	Veranstaltungskalender
20	Impressum

BMBF-Verbundprojekt STEAM auf der IAA Mobility 2023



Miguel Martins Pacheco, Moritz Seidenfus, Martin Frank, Markus Mörtl

Das Verbundprojekt STEAM präsentierte sich zwei Tage auf der IAA Mobility 2023 auf dem Münchener Marienplatz.



IAA Virtual Reality Prototyp und Paketstationsroboter Prototyp

Contact
TUM LPL:
Miguel Martins Pacheco, M.Sc.
martins.pacheco@tum.de

TUM FTM:
Moritz Seidenfus, M.Sc.
moritz.seidenfus@tum.de

More information
www.mec.ed.tum.de/lpl/forschung/laufende-projekte/steam/

Im Rahmen der diesjährigen IAA Mobility 2023 präsentierte das Projekt STEAM (MCube Cluster), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), sein neues Konzept für die öffentliche Mobilität. STEAM zeichnet sich durch die Erforschung innovativer Konzepte im öffentlichen Verkehr aus, mit einem speziellen Fokus auf bestehende Busnetze.

STEAM zielt darauf ab, den öffentlichen Verkehr nachhaltiger und effizienter zu gestalten und gleichzeitig ein neuartiges Reiseerlebnis zu kreieren. Dies wird durch die Optimierung der Fahrzeugkapazitäten und die Integration des Transports von Personen und Paketen in geteilten öffentlichen Räumen erreicht. Ein besonderes Highlight des Projekts ist der Einsatz des von uns entwickelten Roboters „Mimo“. Dieser Roboter, der für den Pakettransport konzipiert

wurde, ist das Ergebnis einer engen Zusammenarbeit mit dem Imperial College London (Grace Duran, Linxi Cao, Nirmal Thomas, Hunaid Nagaria, Dr. Elena Diekmann, Dr. Stephen Green) und wurde prototypisch umgesetzt.

Ein wesentliches Ergebnis des Projekts ist ein VR-Prototyp des Innenraumkonzepts, mit dem das Gesamtkonzept im virtuellen Betrieb erlebt werden kann. Dieses Erlebnis wurde auf der IAA Mobility 2023 vorgestellt. Die Entwicklungen sind ein wichtiger Meilenstein in der Darstellung und Veranschaulichung der STEAM-Vision, um Kundenfeedback zu erhalten.

Die Zusammenarbeit mit verschiedenen Lehrstühlen der Technischen Universität München, einschließlich TUM FTM (Prof. Lienkamp), TUM VT (Prof. Bogenberger) und TUM BIAS (Prof. Schiffer), sowie mit den Industriepartnern BMW Group, MAN Truck & Bus SE, Stanglmeier Touristik und Stadtwerke München, verleiht dem Projekt zusätzliche Tiefe und Perspektive.

STEAM steht für einen signifikanten Fortschritt in der Gestaltung öffentlicher Verkehrsmittel. Es kombiniert akademische Forschung und praktische Anwendung und markiert damit einen Meilenstein in der Entwicklung nachhaltiger und effizienter Mobilitätslösungen für die Zukunft.



Project Closure of the ExoTool – a Robot-like, Portable Tool with Enhanced Ergonomic Functions



Anand Suresh

The ExoTool project funded by the KME-Mittelstand represents a comprehensive endeavour dedicated to enhancing ergonomic conditions within the construction industry. The initiative has resulted in transformative, ergonomic wearable tools and systems. This article showcases the ExoTool project's key highlights, including its objectives, demonstrator insights, modular innovation, successful outcomes, and the invaluable contributions of key partners, particularly KME, Wacker Neuson, DEHN/DEHN-Instatec, Biersack and the Lehrstuhl für Ergonomie (LFE) as academic partner.

Contact
Dr. Anand Suresh
anand.suresh@tum.de

Project Overview

The ExoTool project was conceived with the objective to redefine the ergonomic landscape of tool use in the construction sector. Construction workers often face the physical strain of overhead and horizontal tasks, leading to fatigue, discomfort, and potential health issues. The ExoTool project aimed to mitigate these challenges by designing tools and systems that significantly alleviate the physical demands on workers by our lab along with LFE.

Modular Innovation – The ExoTool-Baukasten

A core aspect of the ExoTool project lies in its modular design, where a collection of modules was designed and developed, known as the “ExoTool-Baukasten”. This modular approach enables adaptability and versatility, allowing ExoTool solutions to meet diverse construction needs. The system comprises easily interchangeable components that can be customized for specific tasks, making it a highly versatile and efficient solution.

Demonstrators – Showcasing ExoTool's Potential

Two innovations take centre stage in demonstrating the ExoTool project's capabilities:

Drill-ExoTool: This solution is designed to reduce physical strain during overhead tasks. It incorporates an advanced 4-bar spring mechanism that balances the weight of the drill during operation. The two-stage clamping and quick-change mechanism optimize bit changes for increased efficiency. Additionally, a wrist/arm strap made from 3D-printed material enhances user comfort and reduces fatigue.

Innenrüttler-ExoTool: Tailored for concrete compaction tasks, this unique tool offers an approach to enhancing ergonomics. It features a CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) bracket that provides static support, reducing user strain. A precision guiding mechanism ensures accurate positioning for precise compaction.



Demonstrator of the ExoTool project: Innenrüttler-ExoTool

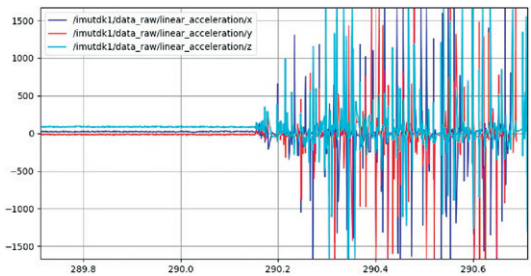
Outcomes

The ExoTool project not only addresses ergonomic challenges but also demonstrates operational efficiency and safety enhancements. The tools have significantly reduced the physical strain on workers, leading to improved well-being, reduced fatigue, and increased productivity. Moreover, the data logger sensor system captures essential information on vibrations, temperature, and sound, enabling users to monitor tool performance and worker conditions.

Demonstrator of the ExoTool project: Drill-ExoTool



The location system enhances spatial precision and optimizes compaction patterns for superior project outcomes.



Data logger sensor system and localisation system allow live measurement of vibrations, position and orientation

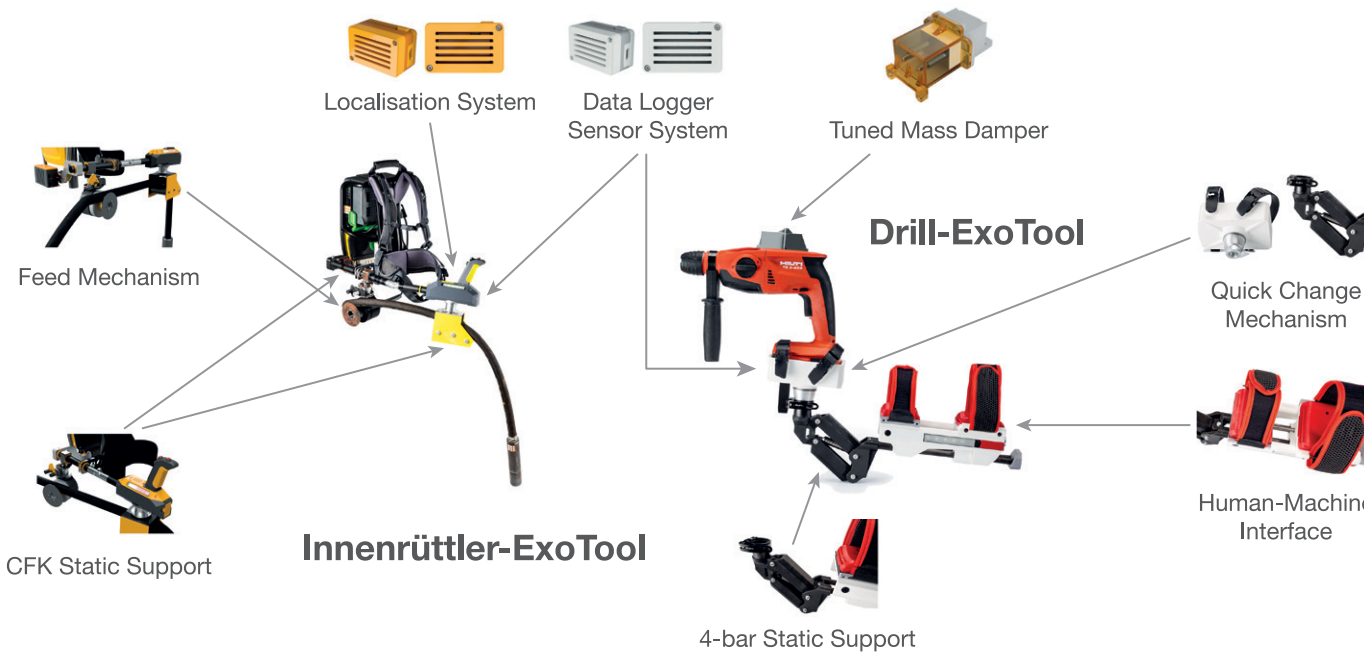
Partner Contributions

LFE (Lehrstuhl für Ergonomie) and KIT-IPEK played a primary role in gathering requirements and laboratory testing and evaluation.

As the primary financial supporter, KME's contributions have been instrumental in driving the project forward, while Wacker Neuson played a crucial role in the development and on-site testing of the Innenrüttler-ExoTool. Lastly, DEHN-Instatec provided invaluable support in testing, feedback, and conducting on-site demonstrations of the Drill-ExoTool.

Conclusion

The ExoTool project is a new approach to ergonomic enhancement within the construction industry. With its innovative tools and systems, it offers practical solutions to industry-specific challenges and has the potential to positively impact worker experiences and project outcomes. Through adaptability, modularity, and strong collaborative partnerships, this initiative takes the first steps towards reshaping industry norms, contributing to improved safety, efficiency, and worker well-being.



The ExoTool Baukasten and its application to its two demonstrators

Product Family Design with Solution-Compensation Spaces

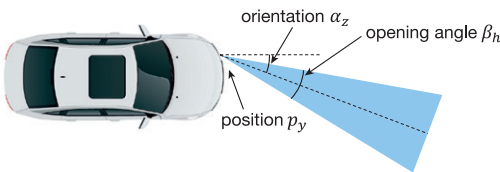
Nicola Barthelmes

The design of perception sensors for a family of automated vehicles is considered in an optimization routine, increasing the flexibility to share components by compensating with varying mounting locations and orientations.

Finding the Optimal Sensor Setup for the Perception of Automated Vehicles

Perception of the surroundings is the basis for all algorithms that decide the actions of an automated vehicle. Sensor fusion and object detection algorithms are mostly based on machine learning, whose training and validation in a large number of traffic scenarios is very expensive. For series development of automated vehicles, it is therefore important to share sensors with identical characteristics among vehicle variants of a product family.

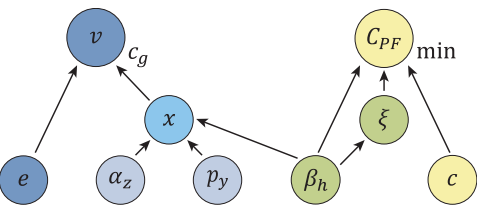
Designing a camera for one vehicle variant consists of determining its characteristics, e.g., horizontal opening angle, as well as positioning variables like mounting location and orientation.



Product Family Optimization

While sharing components saves costs, it might also decrease performance. Several perception sensors and several vehicle variants lead to a large number of different combinations in the product family optimization.

Dependency graph: Determine characteristics and positionings to minimize cost, while the visibility of relevant objects in the surrounding is guaranteed.

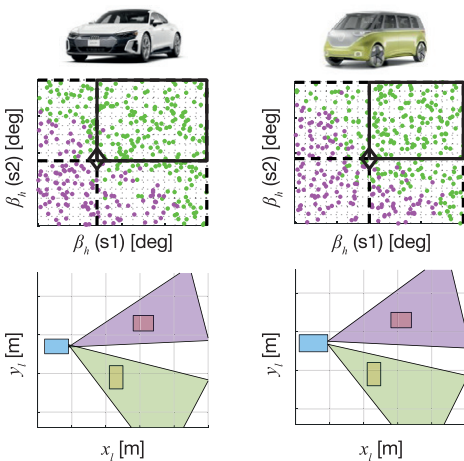


A method based on Solution Spaces was introduced to reduce the possible number of combinations. Permissible intervals for the different design variables, where visibility requirements are fulfilled, are computed for each vehicle variant individually. By decoupling the different components, they can be optimized independently, reducing the possible number of combinations from $n_{PF} = (B_{n_p})^{n_c}$ to $n_{PF} = n_c \cdot B_{n_p}$, where B is Bell's number, n_p the number of product variants and n_c the number of components.

Components can be shared where intervals overlap. However, the decoupling comes at the price of losing possibilities to share components.

(Re-)introducing flexibility: Utilizing Solution-Compensation Spaces

While both, sensor characteristics and positioning influence the vehicle's visibility (problem constraint), only the sensor characteristics are relevant for commonality. These are selected as **early-decision variables**, and permissible intervals are computed such that at least one feasible solution exists for the **late-decision variables**, the sensor positioning.



Design of two cameras (s1, s2) for two vehicle variants. For each good design (green), there exists at least one possibility to locate the sensors, where all visibility constraints are fulfilled. Results are permissible intervals for the early-decision variables (box for both variables). Optimal values are indicated with diamonds, and resulting sensor configurations are sketched below.

In the second optimization, optimal early-decision variable values and how they are shared between variants are determined, such that the overall cost of the product family is minimized. Based on these values, the late-decision variables (positionings) are adjusted for each component. They *compensate* for the choice of early-decision variables. This increases interval size and ensures greater flexibility to share components in the product family.

Contact
Nicola Barthelmes, M.Sc.
nicola.barthelmes@tum.de

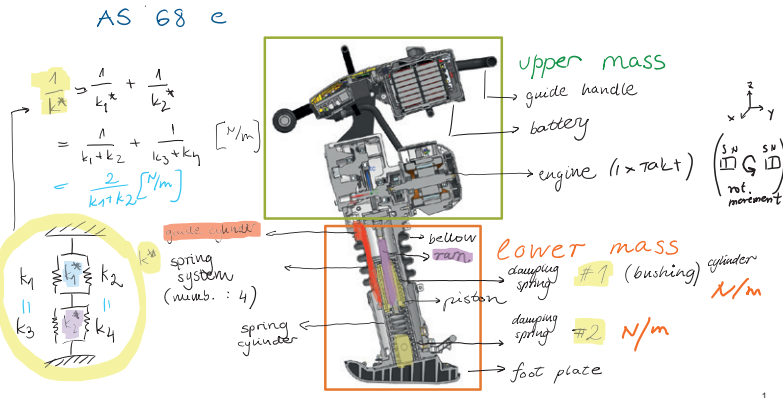
Partner

C A R I A D

SOLID: Smart Soil Compaction Devices

Andela Babaja

Digital twins for vibrating systems have significant potential to improve performance. This project addresses leveraging digital twins for the operator-focused design of a vibrating system, prioritizing sustainability and operational efficiency.



First simple physical model to capture the dynamics of a vibratory rammer



© Wacker Neuson Group

Human-centered design of vibrating systems

Maximizing soil compaction efficiency with vibratory rammers comes at the cost of the operator's well-being. Health risks like white finger syndrome are associated with prolonged vibration exposure. This highlights the crucial need to prioritize the operator's safety in the design phase, balancing it with the solution's efficiency.

Towards optimizing construction via Digital Twins

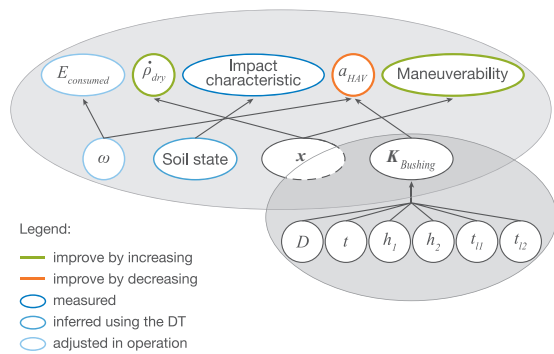
Soil compaction using a vibratory rammer can be simulated using numerical models. This simulation capability can be leveraged to improve performance by mitigating the dynamic loads experienced by the operator. Moreover, employing the digital twin framework during product operation enables real-time procedure monitoring, facilitating adjustments for optimal performance. Advancements through sensor integration allow real-time data analysis, providing immediate feedback on critical process factors. This leads to enhanced productivity and efficiency of the vibratory rammer.

More information
www.mec.ed.tum.de/en/lpl/forschung/laufende-projekte/solid/

Product development goals and approach

The project aims to design a product that adheres to the multidisciplinary requirements of soil

compaction, maneuverability, manufacturability, sustainability, and cost via solution space engineering procedures. The human operator's role within the system is pivotal to the whole lifecycle of the product – from the requirements analysis to the operating phase. Moreover, the digital twin enables real-time performance tracking, aiding the maintenance and safety analysis, ultimately leading to a better optimized product.



Attribute Dependency Graph overviewing quantities of interests and design variables on the system and the component level

The proposed approach for addressing the design of the vibrating system involves utilizing the V-model. The V-Model provides a structured framework in which the requirements on the Quantities of Interest (QoIs) are defined at the onset of the development process. Subsequently, requirements on components are formulated, and then the components are designed in detail by choosing design variable values from the solution space. In support of this concept, several essential engineering technologies are employed, including algorithms for solution box evaluation, multi-body simulations (MBS), finite element analysis (FEA), design of experiments (DoE), numerical optimization, surrogate modeling, and others.

Projektstart KREATIVE – Konstruktionsmethodik für die hybride Additive Fertigung



Jasper Rieser

Mit dem Kick-Off-Treffen Mitte Oktober 2023 hat das neue Projekt KREATIVE gestartet. KREATIVE ist ein gemeinschaftliches Forschungsvorhaben des Lehrstuhls für Produktentwicklung und Leichtbau (LPL), des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften *iwb* sowie den Unternehmen *iwis* SE & Co. KG und Stöger Automation GmbH. Finanziert wird das Projekt im Rahmen des Technologietransfer-Programms Leichtbau des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz.

Contact

Jasper Rieser, M.Sc.
jasper.rieser@tum.de

Partner

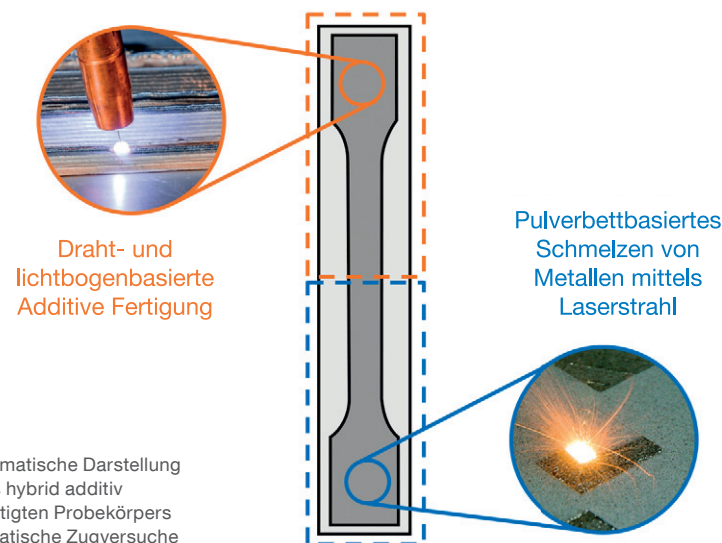


More information

www.mec.ed.tum.de/lpl/forschung/laufende-projekte/kreative/

Motivation des Forschungsprojekts

Die Additive Fertigung ist durch die nahezu unbegrenzten Gestaltungsmöglichkeiten in einigen industriellen Anwendungen eine vielversprechende Alternative zu herkömmlichen Fertigungsverfahren. Verfahren wie das pulverbettbasierte Laserstrahlschmelzen erlauben zwar die Realisierung komplexer Bauteilgeometrien, gehen jedoch gleichzeitig mit geringer Prozessgeschwindigkeit, einem beachtlichen Energieverbrauch und hohen Kosten einher. Die draht- und lichtbogenbasierte Additive Fertigung zeichnet sich hingegen durch vergleichsweise sehr hohe Auftragsraten und ein nahezu uneingeschränktes Bauvolumen aus. Die erzielbare Auflösung ist jedoch gering, sodass keine filigranen Strukturen gefertigt werden können. Auch innenliegende Geometrien, wie beispielsweise Kühlkanäle, sind nicht umsetzbar. Das Konzept der hybriden Additiven Fertigung versucht diesem Dilemma durch eine zweckmäßigere Verwendung der Additiven Fertigung zu begegnen, indem mehrere Verfahren kombiniert und damit deren individuelle Stärken besser genutzt werden.



Schematische Darstellung eines hybrid additiv gefertigten Probekörpers für statische Zugversuche

Neue Konstruktionsmethodik notwendig

Das Ziel des Forschungsvorhabens KREATIVE ist der Aufbau einer Konstruktionsmethodik für die Fertigung eines Bauteils durch die Kombination unterschiedlicher Fertigungsverfahren. Dabei werden neben der Fertigbarkeit des Bauteils auch Faktoren wie geringere Kosten, verbesserte Funktionalität und erhöhte Ressourceneffizienz betrachtet. Für die Produktentwicklungsphase werden Modellierungs- und Entwurfsverfahren eingesetzt. Die Auslegung der Bauteile wird durch Werkzeuge wie die Topologieoptimierung unterstützt. Die mechanischen Eigenschaften hybrider additiver Bauteile, insbesondere im Übergangsbereich zweier unterschiedlicher Fertigungsverfahren, werden durch experimentelle Untersuchungen ermittelt.

Wissenschaft mit Fokus auf Anwendung

Das auf eine Laufzeit von drei Jahren angelegte Forschungsvorhaben setzt von Anfang an auf eine enge Zusammenarbeit aller universitären und industriellen Projektpartner. Dabei nimmt die Beantwortung konkreter Fragestellungen der Industriepartner einen wichtigen Stellenwert ein. So wird etwa bereits zu Beginn des Vorhabens eine Systematik zur Abschätzung der grundsätzlichen Eignung eines Bauteils für die hybride Additive Fertigung erarbeitet. Der Neuheitswert besteht darin, dass diese Systematik nicht mehr notwendigerweise auf Basis eines existierenden, konventionellen Designs funktioniert, sondern primär auf einer Beschreibung der gewünschten Funktionen, der Berücksichtigung des vorhandenen Bauraums und der Anforderungen an das System. Es ist dabei nicht das Ziel, die klassisch gefertigten Komponenten durch hybrid gefertigte aber geometrisch identische Bauteile zu ersetzen, sondern auch ohne vorliegende Bauteilgestalt eine verlässliche Aussage hinsichtlich der Eignung für die hybride Additive Fertigung zu liefern.

Münchner Leichtbauseminar 2023 Munich Symposium on Lightweight Design 2023



Jasper Rieser, Felix Endreß

Im traditionellen Format mit jeweils einer Veranstaltung an der Technischen Universität München, der Universität der Bundeswehr München und der Hochschule München fand das diesjährige Münchner Leichtbauseminar wieder regen Anklang bei Expertinnen und Experten aus Industrie und Wissenschaft. Im Rahmen der dreitägigen Veranstaltungsreihe empfing zum Abschluss der Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau am 29. November 2023 alle leichtbauinteressierten Gäste mit einem vielfältigen Programm aus Vorträgen, Fachdiskussionen und Möglichkeiten zum Networking und persönlichen Austausch.

Contact

Felix Endreß, M.Eng.
felix.endress@tum.de

Jasper Rieser, M.Sc.
jasper.rieser@tum.de

More information

www.mec.ed.tum.de/lpl/lehstuhl/veranstaltungen/

Münchner Leichtbauseminar feiert Jubiläum

Gegründet 2003 als gemeinschaftliche Initiative der TUM, der Universität der Bundeswehr München und der Hochschule München feiert das Münchner Leichtbauseminar dieses Jahr sein 20-jähriges Bestehen. Anfänglich vor allem im süddeutschen Raum verankert, ist es heute ein anerkanntes Forum für ein breites Themenspektrum des Leichtbaus, welches deutschlandweit Teilnehmende anzieht und auch regelmäßige internationale Gäste willkommen heißt. Die Fortsetzung dieser erfreulichen Entwicklung war und ist den Veranstaltern ein ganz besonderes Anliegen und soll auch in den kommenden Jahren weiter vorangetrieben werden.

Von der Wissenschaft zur industriellen Anwendung

Der Veranstaltungstag des Leichtbausymposiums an der TUM war durch einen intensiven Austausch zwischen Wissenschaft und industrieller Praxis geprägt. Schwerpunktthemen waren in diesem Jahr die Optimierung sowie Materialien und Bauweisen. Wissenschaftler der Universitäten aus Paderborn, Bayreuth, Erlangen, Karlsruhe und dem kanadischen Edmonton waren ebenso

vertreten wie Experten der Luft- und Raumfahrtunternehmen Airbus und Boeing. Im Rahmen von acht Fachvorträgen boten die Redner umfangreiche Einblicke in ihre aktuellen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten, beleuchteten die dabei wesentlichen Herausforderungen und skizzierten den zukünftigen Forschungsbedarf. Das anschließende Get-together war zudem eine willkommene Gelegenheit, die spannenden Diskussionen nach den einzelnen Fachvorträgen in kleinerer Runde fortzusetzen.

Tagungsband zum Münchner Leichtbauseminar 2023

Vortragende des Leichtbauseminars erhalten wie in den Vorjahren die Möglichkeit, ihren Konferenzbeitrag in den Veranstaltungs-Proceedings zu publizieren. Der Tagungsband zum Münchner Leichtbauseminar 2023 (Proceedings of the Munich Symposium on Lightweight Design 2023) wird zur Mitte des Jahres 2024 im Springer-Verlag veröffentlicht werden.

Bei allen Teilnehmenden möchten wir uns recht herzlich bedanken und freuen uns auf ein Wiedersehen beim Münchner Leichtbauseminar 2024.

Gastgeber Prof. Markus Zimmermann mit den Vortragenden und Teilnehmenden des Münchner Leichtbauseminars 2023 an der TUM



Think.Make.Start. (TMS) – Gewinner von Batch #17

Klemens Hohnbaum

Zu Beginn des Wintersemesters 2023/24 fand erneut das bewährte Innovationsformat THINK.MAKE.START. (TMS) statt. 47 Studierende aller Fakultäten der Technischen Universität München nahmen in insgesamt 9 Teams daran teil.

Bei dem 11-tägigen Hackathon entwickelten die Studierenden (Hardware-)Lösungen für existierende Herausforderungen unserer Gesellschaft. Wie in jedem Jahr wurden die besten drei Teams für ihre Arbeit am Demo Day ausgezeichnet.

Contact

Klemens Hohnbaum,
M.Eng.
klemens.hohnbaum@tum.de

More information

www.tms.tum.de/



Team **InflammAid** erhielt dabei vom Publikum den THINK.-Award für die beste Idee. Das Team präsentierte eine tragbare Lösung, um Entzündungswerte rheumatischer Patienten im Alltag zu messen, um so individuelle Diagnosen und Medikationen zu erleichtern.

Demonstration
finaler Prototypen
der ausgezeichneten
Teams aus Batch #17

Quelle: TMS Archiv



THINK. MAKE. START.

Das Team **Beautechful** stellte eine Anlage vor, welcher den Hautton des Anwenders bzw. der Anwenderin erfasst, um anschließend eine Foundation, also eine Make-up-Grundierung, im passenden Ton zu mischen. Damit sollen Foundations in individuell abgestimmten Farben für professionelle Make-Up-Artists angeboten werden können. Das Team überzeugte damit die Jury und erhielt den MAKE.-Award für den besten Prototyp.

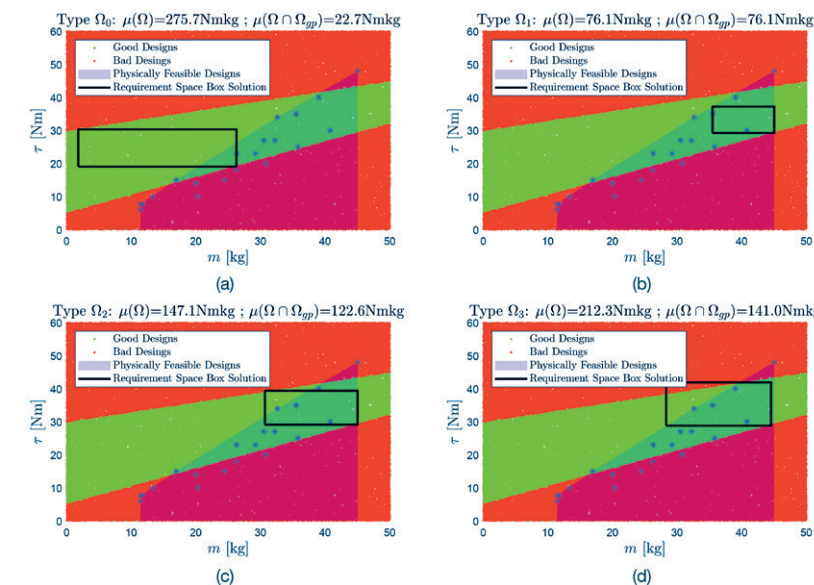


Den START.-Award für das größte Geschäftspotential verlieh die Jury schließlich an Team **CraftSense** für eine smarte Leiter, welche durch Messung des Stehwinkels und der Gewichtsverteilung Risiken im Umgang mit Leitern minimieren soll. Damit können gefährliche Gewichtsverlagerungen, unsichere Leiterpositionen und Stürze detektiert und signalisiert werden.

Wir danken allen Teilnehmern und Teilnehmerinnen für eine gelungene und reibungslose Veranstaltung, sowie unseren Partnern UnternehmerTUM, UnternehmerTUM Makerspace, der Zeidler-Forschungs-Stiftung, dem Entrepreneurship Research Institute, den TUM Venture Labs, sowie den Lehrstühlen Datenbanksysteme, Werkstofftechnik der Additiven Fertigung und Fahrzeugtechnik, für die stets gute und fruchtbare Zusammenarbeit.

24th International Conference on Engineering Design

ICED23 addressed the intricate relationship between design and engineering in a hyper-connected world, with a focus on sustainability. The conference provided a platform for academia and industry to explore challenges in designing complex systems with limited resources, involving many different application areas, such as automotive and aerospace engineering. Social events allowed for networking and complemented the exploration of key technical focuses. Five of our scientific staff presented their current research on six different presentations over the course of the conference week, between the 24th and 28th of July.



Requirement spaces, shown in (c) and (d), can lead to more design freedom than classical solution spaces, shown in (a) and (b).

E.R. Della Noce; M. Zimmermann:

Optimizing Requirements for Maximum Design Freedom Considering Physical Feasibility.

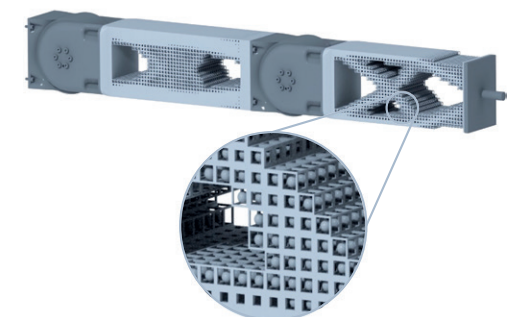
To deal with challenges of complex systems design one possible strategy is to decompose your requirements into permissible regions for your design variables. These permissible regions are called solution spaces. Unfortunately, the computation of these solution spaces does not account for physical feasibility of considered designs, which may lead to sub-optimal results. Here, we introduce the concept of requirement spaces. This is an extension of the classical formulation of solution spaces, which takes physical feasibility of considered designs into account in special ways. By doing so, larger and more useful permissible regions can be found, potentially allowing complex products to be developed more easily.

M. K. B. Janousek; D. Xu; A. V. Sureshbabu; M. Zimmermann:

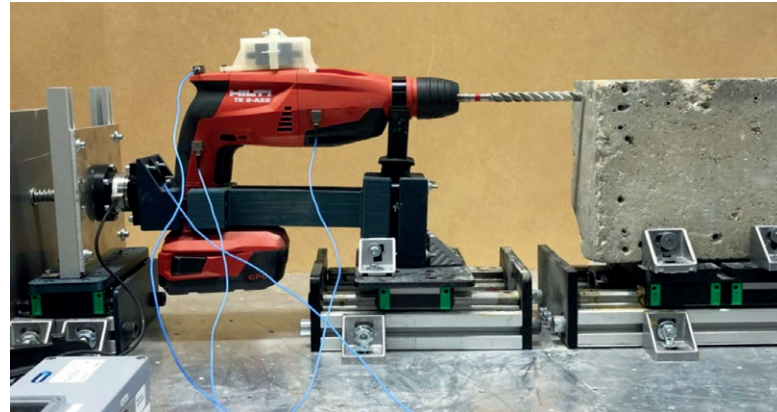
Vibration Reduction by Tuned Mass Dampers Inside Cavities of Topology Optimized Lattice Structures.

This study investigates the integration of tuned mass dampers (TMDs) within lattice structures in topology-optimized robotic arms, aiming to enhance vibration control while maintaining a lightweight design. Utilizing the sCube unit-cell for its optimal stiffness-to-weight ratio, the research demonstrates significant vibration reduction through the strategic placement of multiple-tuned mass dampers (m-TMDs) within these lattice structures.

A key aspect of this study is the detailed workflow adopted for the design process. Starting from the selection of the sCube unit-cell, the research progresses through various stages of design iteration, each meticulously engineered to optimize vibration reduction while maintaining the structure's lightness. The integration of tuned mass dampers within topology-optimized lattice structures paves the way for more efficient and better performing designs.



Sample image of the Unit-cell robotic arm with multiple TMDs housed within the robot arm structure

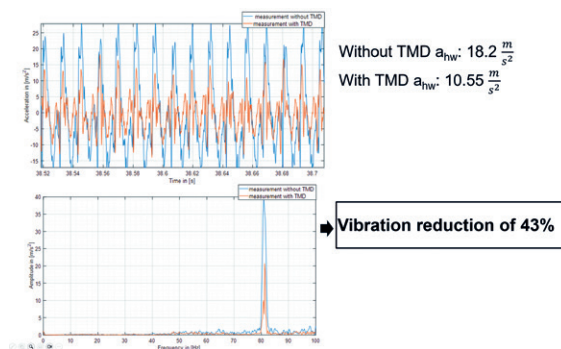


The experimental setup for testing the vibration of a hammer-drill

P. Le; D. Xu; A. V. Sureshbabu; M. Zimmermann: **Vibration Reduction of a Hammer Drill with a Top-Down Design Method.**

This paper introduces a novel method for reducing vibrations in hammer drills using a top-down design approach. This approach streamlines the design of vibrating systems, focusing on individual component requirements to meet overall design objectives. The study showcases the design of a vibration absorber for hammer drills, notorious for causing white finger syndromes due to excessive vibrations. Using a lumped mass model, the authors establish clear, quantitative requirements for the vibration absorber's components, enhancing the design process's efficiency.

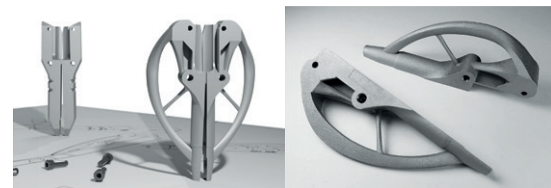
The final product, a Tuned Mass Damper (TMD), is designed to attach to the hammer drill's housing, conserving space. This TMD, validated experimentally, achieves a significant 43% reduction in vibrations, demonstrating the top-down method's effectiveness in creating efficient vibration control solutions.



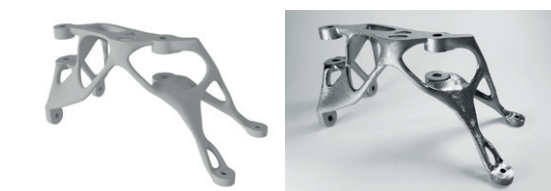
Results from the validation measurement where a vibration reduction of 43% was achieved

F. Endress; J. Rieser; M. Zimmermann: **On the Treatment of Requirements in DfAM: Three Industrial Use Cases.**

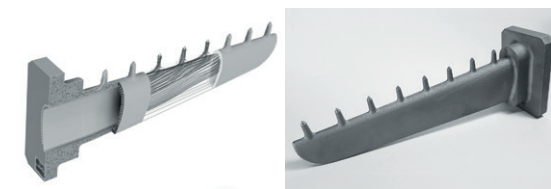
In this paper the challenge of translating real-world requirements into optimization-driven design for Additive Manufacturing (AM) is discussed. Requirements from three use cases were clustered into three types: those directly considerable in optimization problems (~40%), indirectly considered in optimization formulations (~20%), and evaluated after the design (~40%). Based on these findings we propose strategies to enhance formulating complex design tasks unambiguously, especially for the latter two categories. Harmonizing practical needs with optimization-centric design paradigm, this research advances the field of Design for Additive Manufacturing, promising more efficient and robust design and practical optimization practices.



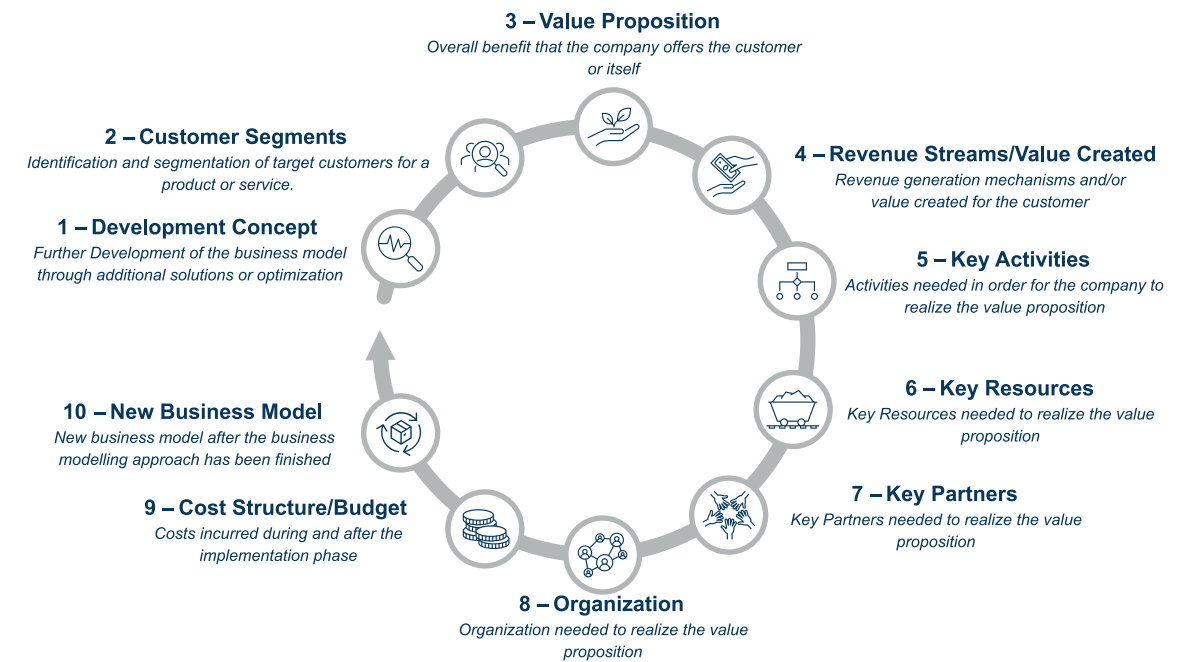
Conventional design of the screw gripper (left), optimized re-design (middle) and parts of the manufactured prototype (right)



CAD representation of the optimized aero engine bracket (left) and manufactured prototype (right)



Cross-sectional view of the manually optimized measurement rake showing details of the internal pressure channels (left) and printed prototype (right)



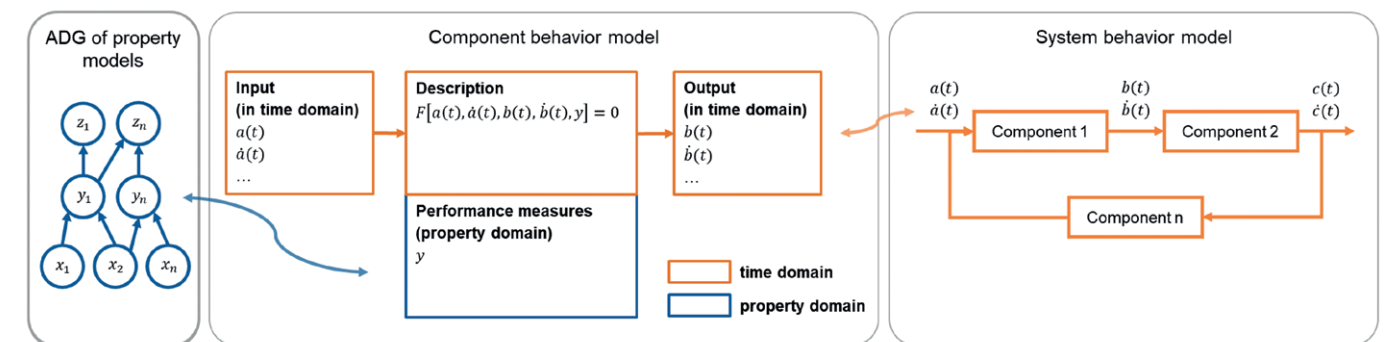
Digital Twin business modelling approach

J. Trauer; D. P. Mac; M. Mörtl; M. Zimmermann: **A Digital Twin Business Modelling Approach.**

The paper presents a Digital Twin (DT) Business Modelling Approach consisting of 10 steps – (1) describe a basic development concept of the DT, (2) identify the customer segments, needs and pain points, (3) derive a value proposition, (4) identify revenue streams and values created, (5) identify key activities, (6) resources needed, and (7) necessary partners. (8) Adapt the organization to fit the business model and (9) evaluate the cost structure of the project. In the end, document and communicate the new business model (10). Each step is supported by auxiliary methods, tools and procedures.

K. Ziegler; M. Volpert; M. Amm; B. Vogel-Heuser; K. Stahl; M. Zimmermann: **MBSE incorporating time-dependent behavior for the design of robot-like systems.**

Complex systems typically consist of many components and are subject to many requirements. In order to design these systems to fulfil the system requirements, the properties (property domain) of every component need to be considered. In a time-dependent system, such as a dynamic system, also the time-dependent behavior (time domain) is relevant to design the system. The paper shows a systematic approach on how to combine time and property domain to enable a design that follows solution space engineering, demonstrated with the example of a robot system.



Elements to connect time and property domain (1) ADG (property domain), (2) Component model (time and property domain), (3) System model (time domain)

Verabschiedungen vom LPL



Jakob Trauer

Markus Mörtl

Jakob Trauer verlässt den LPL in Richtung :em engineering methods

Im September 2018 startete Jakob Trauer als einer der ersten wissenschaftlichen Mitarbeiter am LPL. Zunächst bearbeitete er noch im SFB768 das Teilprojekt A10 unter Leitung von Dr. Mayada Omer sowie das Projekt KMEagil und schloss beide erfolgreich ab. Hier beschäftigte er sich noch mit Nutzerverhalten und Agilität. In einer Zusammenarbeit zunächst mit Viessmann und dann auch mit Siemens und Hammerer Aluminium Industries wechselte und vertiefte er seine Forschung in Richtung Digital Twin (DT). Neben vielen Veröffentlichungen und z.T. häufig zitierten Konferenzpapern mündete dies u.a. darin, dass er für Studierende ein Seminar zu DT aufbaute und selbst durchführte. In der Lehre hatte er sich in viele Veranstaltungen eingebracht und war teilweise auch der verantwortliche Hut dafür (u.a. KOMA, GEP, PKE).

Jakob hat sehr viele Projekte für den Lehrstuhl angestoßen, Anträge mitgeschrieben und erfolgreich für den LPL akquiriert (TuWAs, BUENA, KREATIVE, SOLID u.a.). Mehrere Projekte hat er auch selbst bearbeitet oder intensiv daran mitgewirkt (KME ExoTool und OptProLaS, Stöger, ProStep, BSH, ...). Hier sind wir ihm zu großem Dank verpflichtet. Am LPL war Jakob ein Macher und Treiber, als Orgasprecher, Zwickelwart, Finanzvorstand unseres ZfE e.V., Co-Organisator der DSM Conference, bei der Einführung von MS365 und der stärkeren Nutzung digitaler Medien usw.

Seinen Auslandsaufenthalt absolvierte Jakob bei Prof. Matthias Gürtler an der University of Technology Sydney. In seiner Freizeit engagierte er sich ehrenamtlich im Verein Studenten bilden Schüler e.V.

Nun schließt sich der Kreis: Jakob wurde bei :em engineering methods AG Kollege von Dr. Sebastian Schweigert-Recksiek, mit dem er schon am LPL in diversen Projekten erfolgreich zusammengearbeitet hatte. Dort ist er Senior IT Consultant für Digital Twin Architecture.

Jakob, wir wünschen Dir viel Erfolg zum Abschluss Deiner Promotion und in Deinem Team bei :em viel Spaß! Und nochmal als kleiner Hinweis, Jakob: Zebrastreifen sind der zweitschlechteste Parkplatz, gleich nach einer Feuerwehrezufahrt!



Martin Frank

Miguel Martins Pacheco, Markus Mörtl

Der Designer Martin Frank verlässt den LPL und ist nun wieder vollständig in seiner eigenen F I D GmbH tätig

Mit dem 31. Dezember 2023 verabschieden wir Martin Frank, einen Schlüsselfaktor unseres Lehrstuhls im Bereich Transportation Design. Martins Engagement begann bereits vor seinem offiziellen Einstieg, als er pro bono Studierende bei TMS ab Batch 12/13 unterstützte und mit seinen Designfähigkeiten beeindruckte.

Im Projekt MCube STEAM, das er gemeinsam mit Miguel Pacheco und weiteren Partnern vorantrieb, spielte Martin eine zentrale Rolle. Seine innovativen Konzepte für das Exterieur und Interieur des Busses haben das Projekt maßgeblich geprägt und zu dessen Erfolg beigetragen.

Martins Talent beschränkte sich nicht nur auf Transportation Design. In der Welt der Robotik leistete er ebenfalls bedeutende Beiträge zu Projekten wie DIVA, ExoTool und Lightweight Robotics. Seine Kreativität und sein technisches Know-how waren in diesen Projekten unverzichtbar und haben zu

bahnbrechenden Ergebnissen geführt. Auch im Projekt TuWAs war er als Mitarbeiter in die Gestaltung von Road Show, Präsentationsfahrzeug und Messeauftritt intensiv eingebunden.

Als Kollege war Martin immer da, wenn man ihn brauchte, und bot seine Hilfe und Expertise an. Sein Wirken im Projekt wird uns als Beispiel für Leidenschaft, Teamgeist und Innovation in Erinnerung bleiben.

Wir danken Martin für seine herausragende Arbeit und seinen unermüdlichen Einsatz. Wir sind überzeugt, dass er auch in seinen zukünftigen Herausforderungen beachtenswerte Erfolge erzielen wird und wünschen ihm alles Gute auf seinem weiteren Weg, in seiner Firma F I D, FRANK INDUSTRIAL and INTERFACE DESIGN.



Yunzhe Zhang

Markus Mörtl

Yunzhe Zhang geht neue Wege...

Yunzhe Zhang beendet nach 5 Jahren ihre Zeit als Doktorandin am LPL.

Yunzhe war nach ihrem Bachelorstudium an der Shenyang Aerospace University und dem Masterstudium an der TU Darmstadt (mit Masterarbeit bei der BMW Group) von Januar 2019 bis Januar 2024 exakt fünf Jahre wissenschaftliche Mitarbeiterin am LPL.

In ihrer Forschungstätigkeit war sie in die Projekte DIVA, Röntgentarget (Klinikum Rechts der Isar), Schwingungsreduktion (Wacker Neuson Group) und PLUTO (Processor Layout and Utilization for Thermal Optimization) für das StMWi eingebunden. Auf der Basis der von ihr begleiteten Forschungsprojekte entwickelt sie in ihrer Dissertation einen Ansatz, der DoE mit Stichproben, parametrischer CAD-Modellierung, numerischer Simulation und Kostenmodellierung integriert. Seine Hauptfunktion besteht in der automatischen Generierung von Entwurfsvarianten auf der Grundlage eines Konzepts und in der anschließenden Bewertung dieser Varianten.

In der Lehre war Yunzhe über mehrere Semester als Hut für die Organisation von Vorlesungen, Übungen und Prüfungen des Faches Kostenmanagement in der Produktentwicklung verantwortlich. Auch für die Vorlesung GEP war sie zeitweise zuständig und zur Vorlesung PKE Produktentwicklung – Konzepte und Entwurf – trug sie einen namhaften Anteil bei. Als Lehrstuhlaufgaben hatte Yunzhe die Verwaltung der CATIA Lizenzen und das Antragslisten-Management inne.

Liebe Yunzhe, danke für Deine umfassende und hilfreiche Unterstützung bei KOMA und Dein immer humorvolles Auftreten. Wir wissen noch nicht, wo es Dich nach Deiner Lehrstuhlzeit jetzt „hintreibt“. Wir wünschen Dir viel Erfolg beim Abschluss Deiner Dissertation und auf Deinem weiteren Weg in Beruf und auch im Privaten alles Gute.



Philipp Radecker

Markus Mörtl

Philipp Radecker wechselt zum Lehrstuhl für Angewandte Mechanik

Philipp Radecker war von November 2022 bis August 2023 wissenschaftlicher Mitarbeiter am LPL.

Seine Forschungsprojekte waren das Teleskopkran-Projekt mit der Firma Palfinger (A), IVARnext – die Weiterentwicklung eines Inspektions- und Instandhaltungsroboters in der Hochvakuumkammer eines Fusionsreaktors für das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik sowie im Satellitenbau das Projekt PLUTO (Processor Layout and Utilization for Thermal Optimization) für das StMWi. In seine Projekte hat sich Philipp mit Akribie hineingekniet, er hat abgeschätzt und detailliert berechnet.

In der Lehre war Philipp im Themenbereich Leichtbau tätig; er hat sich mit großem Interesse im Abhalten von Übungen verwirklicht und Klausuren mitgestaltet.

Am LPL hat sich Philipp um unser internes Wiki gekümmert, es aktualisiert und weiter gepflegt. Die Organisation unserer LPL-Winterolympiade lag vertrauensvoll in seinen Händen. Philipps nimmermüder Einsatz in allen Lagen, Situationen und mit fast allen erdenklichen Freiheitsgraden wurde leider mit einer Bänderverletzung während des Fakultäts-Fußballturniers bestraft.

Lieber Philipp, bei Deinen weitaus umfangreicheren Lehreaufgaben am AM wünschen wir Dir viele interessierte Studierende und gutes Gelingen.



Michael Schweiger

Markus Mörtl, Ludwig Krämer

Verabschiedung von Michael Schweiger zur MTU Aero Engines GmbH

Anfang 2021 wechselte Michael Schweiger aus der Industrie an den LPL, um den 3D-Druck und den Prototypenbau am Lehrstuhl zu unterstützen.

Mit seiner Ausbildung als staatlich geprüfter Mechatroniker Techniker konnte er direkt tatkräftig in den Projekten zu „robotics“ und KME „ExoTool“ unterstützen.

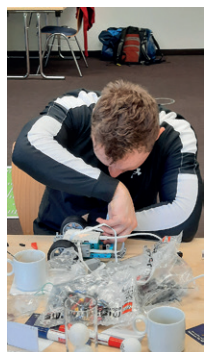
Er betreute die Vielzahl von unterschiedlichen 3D-Druckern, mit denen in Abhängigkeit der Bauteile mit verschiedensten Materialien gedruckt wurde. Neben der Wartung und der Bedienung der Anlagen gehörte auch die Optimierung der Prozessparameter zu seinen Aufgaben. Die gefertigten Bauteile wurden von Michael nachbearbeitet sowie zusammen mit Studierenden und wissenschaftlichen Kollegen montiert und zu Prototypen verbaut.

Unter anderem betreute er auch den neuen Wasserstrahlschneider und sorgte allgemein für Ordnung und Sauberkeit im Prototyp- und Test-Raum. Michael hat in diesem Rahmen mehrere studentische Hilfskräfte bei ihren konstruktiven Arbeiten begleitet.

Unvergessen ist, wie er sich auf den Klausurtagen 2022 beim Bau des Lego-Tischtennisball-Wurf-Roboters beteiligt, akribisch gebastelt und montiert hat.

Michael, wir vermissen Dich als supernetten, lustigen und stets hilfreichen Kollegen und ebenso Dein Engagement und Deine Mitarbeit bei den Projekten und Aktivitäten in der Werkstatt.

In Deinem neuen Wirkungskreis bei MTU wünschen wir Dir, Michael, viel Spaß und Raum zur Weiterentwicklung.



Neu am LPL



Andela Babaja, M.Sc.

Miss Babaja studied Civil Engineering in her bachelor's at the University of Zagreb. She continued her education at the Technische Universität München, earning a master's degree in Computational Mechanics.

During her studies, she focused on the virtual numerical assessment of physical phenomena via FEM, structural optimization, and material mechanics and modeling. In her master's thesis, she explored the blend of concepts of dimensionality reduction of physical fields related to the manufacturing process of extrusion and ML methods. Her work aimed to obtain a reduced-order model supporting faster FE evaluations, serving as a basis for optimization of the procedure. Miss Babaja gained her industrial experience as an intern and working student at Linde Engineering's Department for Equipment Process Design & Computational Mechanics.

In September, Miss Babaja joined the LPL's Solution Space Engineering research team and will work on the SOLID project with the industrial partner Wacker Neuson and the TUM Chair of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rock Mechanics and Tunneling (Prof. Roberto Cudmani).



Sergi Pagés i Díaz, M.Sc.

Zum 13. November 2023 heißt der Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau Herrn Sergi Pagés als neuen wissenschaftlichen Mitarbeiter willkommen.

Herr Pagés studierte Maschinenbau im Bachelor an der Universitat Politècnica de València und Computational Mechanics im Master an der Technischen Universität München. Während seines Studiums nahm Herr Pagés am Formula Student Projekt teil und arbeitete unter anderem an der Simulation der Bremsentemperatur. Im Rahmen seiner Bachelorarbeit entwickelte er ein Simulationsmodell für Konzept-Design von Rennfahrzeugen und absolvierte schließlich ein Praktikum bei der BMW AG mit dem Ziel der Simulation und Prognose von Lenksystemkräften.

Während seines Masterstudiums fokussierte sich Herr Pagés auf die Strukturoptimierung und in seiner Masterarbeit untersuchte er die optimale Verteilung von Bauräumen in topologieoptimierten Systemen.

Am LPL wird Herr Pagés im Rahmen des PLUTO-Projekts zum Wärmemanagement von Satelliten forschen.

Neuerscheinungen des Lehrstuhls

Simon Kremer
User Experience verstehen, strukturieren, analysieren und gestalten – Ansätze für die Produktentwicklung

User Experience (sprich das Erleben durch den Nutzer) ist entscheidend für den Erfolg oder Misserfolg von Produkten. Die Dissertation beschäftigt sich mit dem systematischen Untersuchen und Vordenken von User Experience (UX) in der Produktentwicklung. Entwickelte Ansätze bieten methodische Unterstützung in den Bereichen „UX verstehen“, „UX-Design-Prozess strukturieren“, „UX analysieren“ und „UX gestalten“. Die Ansätze vereinen eine ganzheitliche Perspektive auf User Experience mit Anforderungen der industriellen Praxis-tauglichkeit. Mehrere Fallstudien bestätigten die Anwendbarkeit und Nützlichkeit der Ansätze.
München: TUM, Diss 2022.

Veröffentlichungen

Markus Plattner; Chedi Fassi; Florian Kreiner; Jintin Frank; Philipp Radecker; Markus Zimmermann (2023): **Satellite Payload Design for Optimized Thermal Management using a Distributed Processor System.** Forum on Specification and Design Language 2023. Turin, Italien.

Nicola Barthelmes; Stefan Sicklinger; Markus Zimmermann (2023): **Flexibility Despite Dependencies and Constraints: Product Family Design with Solution-Compensation Spaces.** Proceedings of the 25th International DSM Conference (DSM 2023). Gothenburg, Schweden.

Felix Endress; Markus Zimmermann (2023): **Designing Variable Thickness Sheets for Additive Manufacturing Using.** Additive Manufacturing for Products and Applications. Zürich, Schweiz.

Felix Endress; Timoleon Kipouros; Markus Zimmermann (2023): **Distributing Design Domains for Topology Optimization in Systems Design.** ASME IDETC. Boston, USA.

Duo Xu; Michael Häußler; Markus Zimmermann (2023): **Requirement Definition for a Vibration Source Using Transfer Path Analysis and Solution Spaces.** Automotive Acoustic Conference 2023. Zürich, Schweiz.

Jasper Rieser; Markus Zimmermann (2023): **Closed-walled Topology Optimization of an Additively Manufactured Motor Bracket for an Unmanned Cargo Aerial Vehicle.** The Fourth International Conference on Simulation for Additive Manufacturing Sim-Am 2023. München.

Lukas Krischer
Informed Decomposition: Distributed Design Optimization of Mechanical Multi-component Systems

In this work, a new distributed optimization architecture is proposed that does not require coordination. The proposed architecture consists of two parts: (1) a system optimization based on pre-trained meta models of an offline database, and (2) component optimizations that can be solved independently and in parallel. The required training data is computed using a new active-learning undersampling strategy that enables efficient sampling and a well-balanced dataset. The approach is used for the lightweight design of mechanical multi-component systems.
München: TUM, Diss 2023.

Felix Endress; Jasper Rieser; Markus Zimmermann (2023): **On the Treatment of Requirements in DfAM: Three Industrial Use Cases.** In: Proceedings of the Design Society.

Simon Fritsch; Stefan Landler; Michael Otto; Birgit Vogel-Heuser; Markus Zimmermann; Karsten Stahl (2023): **Discussion of a Variant of Eccentric Drives Utilizing Rolling Elements.** In: Forschung im Ingenieurwesen.

Birgit Vogel-Heuser; Dominik Hujo; Marcus Volpert; Stefan Landler; Michael Otto; Karsten Stahl; Markus Zimmermann (2023): **Formalizing Selected Mechatronic Component's Constraints in SysML Models.** 49th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON). Singapur.

Christian Petrich; Anton Dimroth; Kim Melanie Kraus; Johanna Winter; Christoph Matejcek; Michael Butzek; Ghaleb Natour; Mahadevan Ravichandran; Markus Zimmermann; Kurt Aulenbacher; Marek Galek; Jan Wilkens; Stephanie E. Combs; Stefan Bartzsch (2023): **Towards Clinical Translation of Microbeam Radiation Therapy (MRT) with a Compact Source.** In: International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics.

Birgit Vogel-Heuser; Mingxi Zhang; Bjarne Lahrsen; Stefan Landler; Michael Otto; Markus Zimmermann (2023): **SysML' – Incorporating Component Properties in Early Design Phases of Automated Production Systems.** In: Automatisierungstechnik.

LPL-Klausur 2023 in Bayerisch Gmain

Katja Zajicek

Ein besonderes Highlight 2023 – die Lehrstuhlklausur am Rande der bayerischen Alpen im Landkreis Berchtesgadener Land in Oberbayern in unmittelbarer Nähe zu Bad Reichenhall.



Eine perfekte Symbiose aus Arbeiten und Entspannen. In den gemeinsam gestalteten Workshops zu KI und Nachhaltigkeit und der Postersession entstanden viele neue Ideen, wurden Konzepte festgehalten und dank vielfältiger Inspiration und Kreativität in den LPL-Alltag mitgenommen. Im Tagungsraum des Hotels Klosterhof fanden die LPLer und LPLerinnen eine lockere und entspannte Atmosphäre. So konnten entstandene Ideen zu Papier gebracht und viele Forschungsanregungen mit nach Garching genommen werden.

Im Rahmen der jährlichen Wahl zur Mitarbeitervertretung bekam Lucien Zapfe die Mehrheit und genießt seither das Vertrauen des LPL Teams.

Ausgangspunkt fernab von der Hektik der Stadt, inmitten der Natur und der frischen Luft der Alpen, startete der Lehrstuhl seine Klausurtage am Königssee.

Dank des großartigen Ambientes wurden auch die Pausen zwischen den Workshops effektiv für gegenseitigen Austausch genutzt. Eine rundum gelungene Auszeit.



Contact
Katja Zajicek
katja.zajicek@tum.de

Veranstaltungskalender

14. – 15. Mai 2024

23. VDI-Tagung Wertanalyse 2024

Bad Pyrmont

vdi-wissensforum.de



20. – 23. Mai 2024

18th International Design Conference

Cavtat, Kroatien

designconference.org



03. – 07. Juni 2024

9th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering

Lissabon, Portugal

eccomas2024.org

28. Juni 2024

Forschungskolloquium mit Ehemaligentreffen

Garching b. München



15. – 17. Juli 2024

SHTC 2024 – Summer Heat Transfer Conference

Anaheim, USA

event.asme.org/SHTC



24. – 26. September 2024

26th International Dependency and Structure Modelling Conference DSM

Stuttgart

dsm-conference.org



November 2024

Münchner Leichtbauseminar

Garching b. München

www.mec.ed.tum.de/lpl/lehrstuhl/veranstaltungen

Impressum

Die  LPL news werden herausgegeben vom:

Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau

Technische Universität München

Prof. Dr. Markus Zimmermann

Boltzmannstr. 15

D – 85748 Garching bei München

www.mec.ed.tum.de/lpl/

Verantw. i.S.d.P.

Prof. Dr. Markus Zimmermann

zimmermann@tum.de

Redaktion und Layout

Eva Körner, eva.koerner@tum.de

ISSN 2568-9843



[Homepage LPL](https://www.mec.ed.tum.de/lpl/)



[LinkedIn](https://www.linkedin.com/company/lpl-tum/)