



Optimierung und Leichtbau in der Robotik



Optimiertes Strukturelement aus dem
Projekt Low-Cost Lightweight Robotics

Vorwort

Liebe Freundinnen und Freunde des Lehrstuhls für Produktentwicklung und Leichtbau,

in der vorliegenden Ausgabe stehen die Themen Optimierung und automatisierte Gestaltung in der Robotik im Mittelpunkt. Robotik ist für uns das perfekte Anwendungsfeld: Problemstellungen sind multidisziplinär und komplex und profitieren von modernen Entwicklungsmethoden. Gleichzeitig können die Ergebnisse am LPL gefertigt werden und demonstrieren die Wirksamkeit unserer Methoden. Wir sind stolz auf unsere ersten Prototypen!

Wir berichten über die Robotik-Projekte LCL-Robots und DIVA sowie über zwei neue Praktika über Optimierung in der Robotik. Darüber hinaus geben wir Einblicke in laufende Projekte und das neu gestartete Projekt TuWAs.

Während sich die erste Generation von LPL-Doktoranden auf die mündliche Prüfung

vorbereitet, arbeiten sich einige neue wissenschaftliche Mitarbeiter gerade ein: viele neue Gesichter warten in dieser Ausgabe auf Sie.

Neben stetigem Wechsel gibt es am LPL auch Beständigkeit: Ludwig Krämer ist seit 30 Jahren eine wichtige Stütze des Lehrstuhls und seiner Vorgänger. Wir werfen einen Blick auf Ludwig Krämers Vita und gratulieren herzlich zu seinem TUM-Jubiläum!

Viel Spaß beim Stöbern in der Lektüre wünschen Ihnen und Euch

Markus Zimmermann
Markus Zimmermann
Markus Mörtl
Markus Mörtl

Inhalt

02	Vorwort
03	Ludwig Krämer seit 30 Jahren eine Instanz im Leichtbau
04	LCL Robots – Design-on-Demand of Low-Cost Lightweight Robots
05	ICRA 2023 Paper on “Robust Co-design of Robots via Cascaded Optimization”
06	DIVA – Intuitive Design in Contrast to the V-model and its Analysis
07	PROVING – Charakterisierung additiv gefertigter Werkstoffe
08	PLUTO – Redundanzen intelligent nutzen – Satelliten-Nutzlasten mit überschüssiger Rechenleistung heizen
08	Entwurfsmethode für die Strukturen des Myonendetektors am CERN (FCC)
09	TuWAs – Transformationshub für die umformtechnische Industrie
10	Praktikum RobOpt: Numerical Optimization for Robot Design and Controls
11	Praktikum TopOpt: Eine Woche lang Optimierung in der Praxis
12	DT-Lab – The Practical Course on Design and Implementation of Digital Twins
14	Think.Make.Start. (TMS) – Gewinner von Batch #15
15	Münchener Leichtbauseminar 2022 – Munich Symposium on Lightweight Design 2022
16	Verabschiedungen vom LPL
18	Neue Mitarbeiter am LPL
19	Ausgewählte Veröffentlichungen
20	Veranstaltungskalender
20	Impressum

Ludwig Krämer seit 30 Jahren eine Instanz im Leichtbau

Markus Mörtl

Am 15. Dezember 2022 konnte der LPL Ludwig Krämer zu seinem 30jährigen TUM-Jubiläum beglückwünschen und ihm für seine Mitarbeit danken.



Ein weiteres Großereignis war sicherlich die Berufung von Prof. Horst Baier im Jahr 1997, mit ihm entstanden die Forschungsschwerpunkte Leichtbau für die Luft- und Raumfahrt. Für den neuen Lehrstuhl wurde mit Ludwig Krämer als Leiter der Werkstatt und des Versuchsfeldes eine komplette Infrastruktur mit Prüfmaschinen, Messtechnik und selbstentwickelten Prüfständen zur Qualifizierung von neuen Faser-Verbund-Materialien und Strukturbauteilen unter thermaler und mechanischer Belastung entwickelt und seitdem intensiv in unterschiedlichsten Projekten und Industrieaufträgen benutzt. Mit Hilfe dieser Ausstattung konnten 52 Stück Chopperscheiben mit unterschiedlichem Design gefertigt, qualifiziert und in den Dauerbetrieb weltweiter diverser Neutronenforschungs-Institute geliefert werden.

Der größte Meilenstein für Ludwig Krämer war sicherlich die Zusammenlegung des Lehrstuhls für Leichtbau mit dem Lehrstuhl für Produktentwicklung im Rahmen der Neuberufung von Prof. Markus Zimmermann 2017. Hier konnte er sein umfassendes und tiefgreifendes Wissen in die Akquise und die Bearbeitung vieler neuer Drittmittel-Projekte einbringen und die Projekte Röntgentarget, PROVES und ProVing direkt unterstützen. Auch für Projekte anderer Lehrstühle (LHT, LLS, LCC, Metallbau, ...) zeichnet Ludwig Krämer immer wieder verantwortlich und unterstützt mit seinem Team, ebenso bei vielen Neuanschaffungen und Umbauten im Rahmen der Neuausrichtung des LPL.

In der Lehre gibt er kontinuierlich – auch während der Corona-Zeit – sein Wissen in den Praktika Leichtbau und Faserverbund an Studenten weiter.

Der gesamte Lehrstuhl beglückwünscht Ludwig Krämer zu seinem 30jährigen TUM-Jubiläum und bedankt sich für die stets intensive Mitwirkung in fachlichen und organisatorischen Themen, die Kollegialität und seine vielen Hilfestellungen.

Nach erfolgreichem Abitur und einer abgeschlossenen Ausbildung zum Industrie-Zerspanungsmechaniker folgte die erste Anstellung von Ludwig Krämer bei der Hamburg Süd Reederei. Als Offiziersanwärter bei der Handelsmarine ging es mit einem Containerschiff auf große Fahrt nach Südamerika. Damit war das Lernen jedoch noch nicht abgeschlossen, denn er absolvierte noch ein Maschinenbaustudium mit dem Schwerpunkt Verfahrenstechnik in Köln. Im Anschluss folgte eine Anstellung in einem Ingenieurbüro für Regelungstechnik.

1992 wechselte Ludwig Krämer an die TUM an den Lehrstuhl für Leichtbau von Prof. Reimer Johannes Meyer-Jens, damals noch in der Münchner Innenstadt. Gleich zu Beginn kümmerte er sich um das Netzwerken mit hiesigen Industrieunternehmen zum Thema Material-Leichtbau. Ein erster Meilenstein war für ihn der Umzug nach Garching mit all den neuen Anforderungen zu Räumlichkeiten und zur Ausstattung der Werkstätten sowie der riesigen Versuchshalle.

LCL Robots – Design-on-Demand of Low-Cost Lightweight Robots

Akhil Sathuluri

The project LCL Robots deals with rapid design-on-demand and deployment of low-cost lightweight robots. Unlike classical industrial robotic system, we use custom robot modules to design entire robotic systems. Not only are the robots modular and reconfigurable but also the structural elements of the robot are optimized to provide equivalent performance with minimal mass. We developed a systematic top-down procedure based on the V-model. The systems design consists of sequential design steps for the construction of modular robots as described below.

Contact
Akhil Sathuluri, M.Sc.
akhil.sathuluri@tum.de

More information
www.mec.ed.tum.de/en/lpl/research/research-groups/robot-systems/

Robot Systems Design

We designed custom 3D-printable robot modules. Multiple of such modules are connected to build useful robots. This step is similar to using Lego elements to construct larger structures. However, in this step both the kinematics and the control of the robot are designed.



First generation (v1.0.0)
LCL robot developed
using informed
decomposition



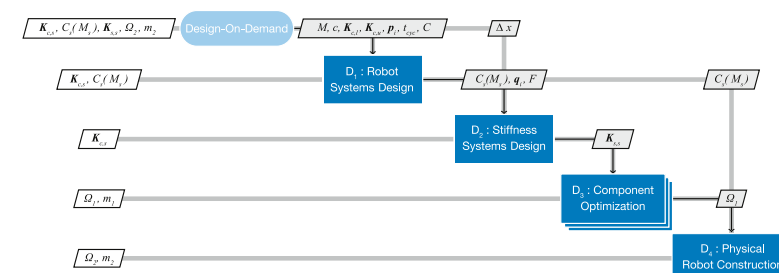
New generation (v1.2.6) LCL robot with circular link cross-sections

optimization of multi-component systems in a computationally tractable way. To handle circular link shapes we currently use an explicit stiffness distribution called “uninformed decomposition”. The advantage is the current method is also capable of accounting for the dynamic loads resulting from the robot's motion.

Results

The design process resulted in a robot with only four-degrees-of-freedom as compared to traditional six or seven degrees of freedom robots. Moreover, the overall robot weighs less than 2.5 kg, where the links only weigh 324 g.

Partners



Overview over optimization process as XDSM

ICRA 2023 Paper on “Robust Co-design of Robots via Cascaded Optimization”

Anand Suresh

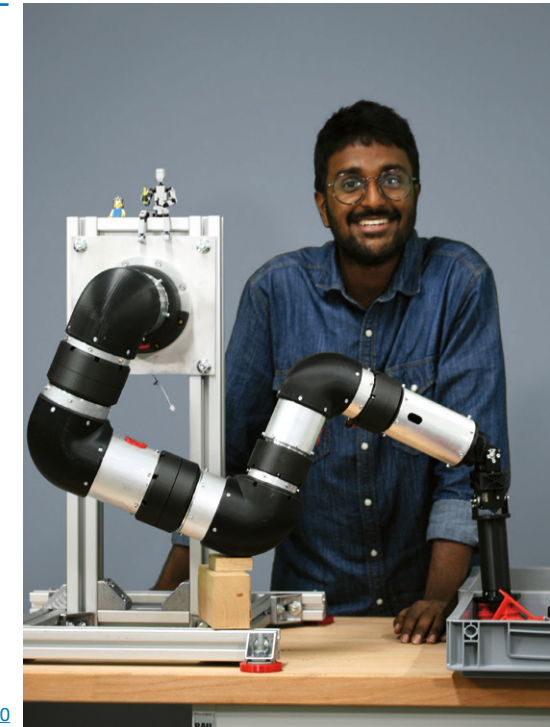
The Robot Systems Group's (Research Group IV) first article on our robot design method has been accepted for presentation at the high-impact conference ICRA 2023, which will be held in London.

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

Preprint links

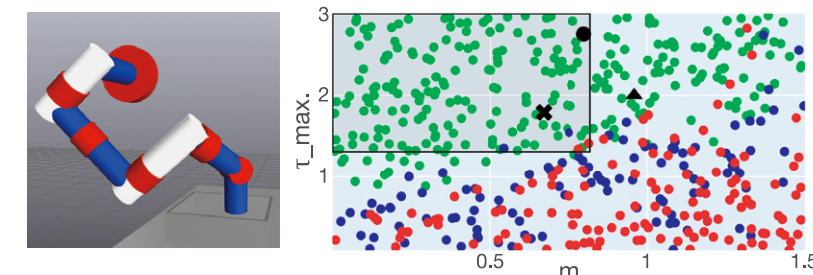
Interested parties can refer to the preprint of the publication here:
arxiv.org/abs/2212.14256

The attached video can be found here:
www.youtube.com/watch?v=QydGXRZJV60



Akhil Sathuluri, our PhD candidate and the paper's first author, with the robot described in the paper

We are pleased to announce that Akhil Sathuluri, Anand Suresh, and Markus Zimmermann's paper “Robust co-design of robots via cascaded optimization” has been accepted for publication in the International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2023), which will be held in London this summer.



Simulation model of the robot design resulting from the cascaded optimization (left) Scatter plot: The rectangular boxes overlaid on each plot are the projections of the solution space. \bullet , \circ , \triangle , \times represent designs that are good and that violating the t_{req} and L requirements. \bullet , \triangle , \times represent the optimal design x^* , physically feasible design x_p and the selected design x_s . (right)

This is the first of several papers that will be presented on the work of the Robot Systems Group (Research Group IV) on robot system design.

The paper deals with optimizing mechanical, control, and actuator together as a co-design problem that enables identifying novel and better-performing robot architectures. Typically, solving such problems using conventional optimization methods yields a single, point-based solution. However, deviating from the computed optimum may be necessary to ensure physical feasibility, typically associated with a performance loss.

In this work, we present a two-step cascaded optimization approach to identify non-intuitive designs and recover the loss in performance by constructing a solution space. The solution space provides robustness in the form of permissible ranges of design variable values and enables the selection of a physically feasible design.

In our study, we observe (1) up to 20% of the lost performance is recovered and (2) an improvement of 30% on the task metric in comparison to an existing robot and (3) designs with cost savings of up to 10% can be identified.

The advantage of concurrent design optimization was illustrated via a quantitative comparison showing significant improvement in the performance metrics. The benefits of constructing solution spaces to identify better designs, provide tolerance on DVs and realize physically feasible designs were discussed. Further, the unique ability to decouple morphology and control of the robot via solution spaces is noted. To emphasize the value of the proposed approach, a tangible prototype constructed using the proposed approach is presented. Finally, the X-Ray toolbox is offered as an interface for designers to comprehend and manipulate solution spaces. The utility of the proposed method with different control strategies and robot morphologies will be explored in the future.

DIVA – Intuitive Design in Contrast to the V-model and its Analysis

Anand Suresh

The DIVA project with the development of two robot arms with different design strategies has been successfully completed.



The bottom-up arm being taught how to pour beer by a student

© Severin Schweiger / TUM

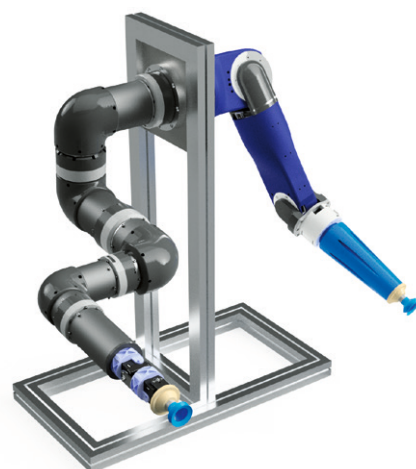
We developed a new method for designing robot arms that are both robust and non-intuitive. The research, titled "Intuitive Design in Contrast to the V-model and its Analysis" or in short DIVA was recently closed with a publication at ICRA.

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

More information
www.mec.ed.tum.de/en/lpl/research/ongoing-projects/diva/

The initial version of the beer-pouring robot was developed through a bottom-up approach, which involved creating individual components such as motors, gears, link structures, housing, and sensors, and then integrating them into the complete robot arm. Although this approach is experience-based, it often requires extensive trial and error to achieve functional coherence among the components.

To design the robot arm in the following iteration, we employed a top-down technique that begins



The two constructed robot arms:
The bottom-up approach arm is on the right, while the top-down designed robotic arm is on the left.

with a high-level aim with very specific requirements and then works down to the minutiae. We used a cascaded optimization technique, which involves breaking down the design process into smaller, more manageable steps, to make sure that each part of the design process was as efficient as possible.

The outcome of this approach is a robot arm that combines robustness with non-intuitiveness. This means that it can endure a range of external stresses and execute tasks and design decisions in ways that are not immediately obvious. For instance, the placement of joints is optimized to counteract loads and improve energy efficiency through optimal mass distribution. This is significant because it enables a wide range of applications for the robot arm, including manufacturing and construction, where a high level of reliability is required. We believe that this method could be used to design other types of robots and robotic systems and hope that this work will inspire others to develop new and innovative designs for robot arms and other robotic systems by adapting our approach.

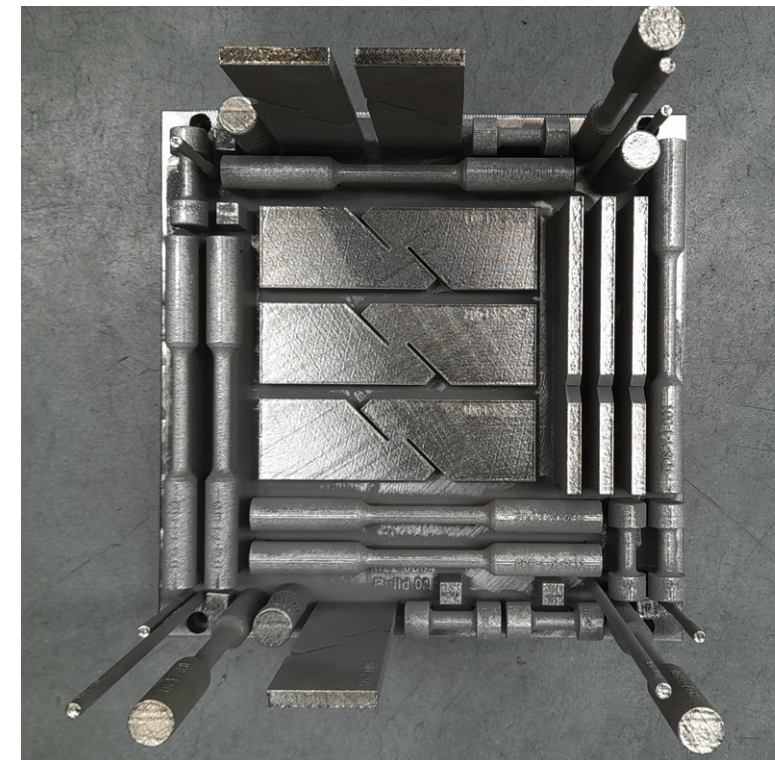
This research is considered the first breakthrough result in the work done by our Research Group IV, the Robot Systems group, as it lays down the exploratory phase of the group's research interests and could have a significant impact on its research direction and help to improve the efficiency and performance of robots in various applications.

The advantages of this method, such as building solution spaces to find better designs, allowing for DV tolerance, and realizing physically practical designs, were investigated. A special ability to separate robot morphology and control using solution spaces is also highlighted. A practical prototype was built to highlight the benefits of the suggested method. The X-Ray toolkit is also made available as an interface for designers to understand and work with solution spaces. Future research will examine the applicability of the suggested technique with various control schemes and robot morphologies.

PROVING – Charakterisierung additiv gefertigter Werkstoffe

Felix Endreß

Im Rahmen des Projektes PROVING werden am LPL Strukturbauteile für die additive Fertigung entwickelt. Im Anwendungskontext der Luftfahrt gilt es dabei durch eine simulationsgestützte Nachweisführung die Zertifizierung der Bauteile auch für kritische Anwendungen zu ermöglichen. Zur Bedatung von Materialmodellen und zur Validierung wurde daher in einer groß angelegten Test-Kampagne additiv gefertigtes Ti6Al4V umfangreich charakterisiert.



Build Job der Zug-, Schub- und Druckproben

Contact
Felix Endreß, M.Sc.
felix.endress@tum.de

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

Additive Manufacturing in der Luftfahrt

Bereits heute kommen additiv gefertigte Bauteile in Flugzeugen zum Einsatz, da die Gestaltungsfreiheit große Potenziale zur Gewichtseinsparung bietet. Oftmals beschränken sich die Anwendungen jedoch auf nicht sicherheitsrelevante Bauteile, wie Scharniere oder Haken. Um auch kritische Bauteile mit additiv gefertigten Strukturbauteilen ersetzen zu können, wird ein kostenintensiver und detaillierter Zertifizierungsprozess benötigt, um höchsten Sicherheitsstandards zu genügen. Zur Kosteneinsparung und um die Zertifizierung von additiv gefertigten Bauteilen zu vereinfachen, werden Methoden zur simulationsgestützten Zertifizierung entwickelt.

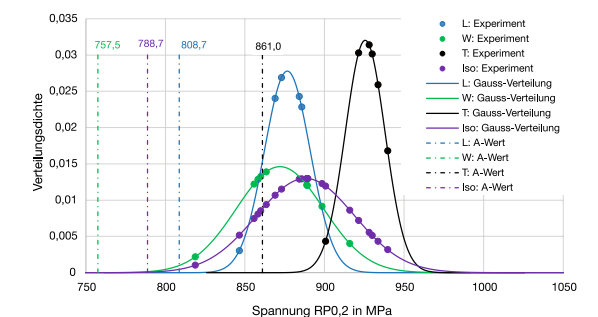
Tests für Detail-Simulationen

Für die Bedatung von Materialmodellen wurde am LPL eine umfangreiche Testserie durchgeführt, in der Proben aus Ti6Al4V zerstörend getestet und

analysiert wurden. Im L-PBF(M) Verfahren (Laser Powder-Bed-Fusion für Metalle) wurden Probekörper hergestellt, um quasi-statisch relevante Werkstoffkennwerte für die Lastfälle Zug, Druck und Schub zu ermitteln. Zur Datenerfassung kamen sowohl optische Systeme (Digital Image Correlation, DIC) als auch Dehnmessstreifen zum Einsatz.

Projektpartner im Austausch

Die getesteten Proben und der Testplan wurden in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern Boeing, IABG und Oerlikon AM entwickelt. Durch die Expertise aller Projektpartner konnten in den Tests zuverlässig Kennwerte ermittelt werden, die im Folgenden für die simulative Abbildung der Proben in CAE-Programmen verwendet werden sollen.



Verteilung der Messdaten (Rp0,2) unter Annahme einer Gaußverteilung für Zugproben aus Ti6Al4V mit verschiedenen Orientierungen (L, W und T) im Drucker

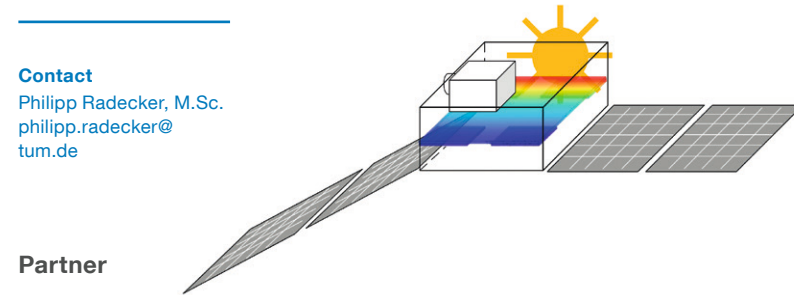
Design-Optimierung der Leichtbaustrukturen

In PROVING dient ein Subsystem im Control System eines Segelfliegers als Referenzbauteil, welches unter Anwendung von State-of-the-Art Optimierungsverfahren (u.a. Topologie-Optimierung) neu entwickelt wird. Die gesammelten Materialdaten werden daher in naher Zukunft für die Nachweisführung eines realen Bauteils verwendet, sodass sicherheitsrelevante, additiv gefertigte Leichtbaustrukturen zertifiziert werden und in Flugzeugen zum Einsatz kommen können.

PLUTO – Redundanzen intelligent nutzen – Satelliten-Nutzlasten mit überschüssiger Rechenleistung heizen

Philipp Radecker

Der Einsatz von kommerziell verfügbarer Elektronik in Kleinstsatelliten bietet Kostenvorteile gegenüber speziellen Raumfahrtkomponenten. Durch die notwendige redundante Auslegung der Prozessoren wird es möglich, überschüssige Rechenleistung zu nutzen, um temperatursensitive Instrumente stabil zu halten. Am LPL werden dafür Methoden entwickelt, mit welchen Komponenten optimal platziert und digitale Zwillinge zur Online-Temperaturregelung abgeleitet werden können.



Contact
Philipp Radecker, M.Sc.
philipp.radecker@tum.de

Partner



Schema der Temperaturregelung durch die Prozessorverlustleistung

Mithilfe von Solution-Compensation Spaces werden in einem zweistufigen Prozess zunächst gute, d.h. mit der Verlustleistung gut regelbare, Designs identifiziert und daraufhin in ein thermales Metamodell abgeleitet. Dieses bildet die Grundlage für die auf einem digitalen Zwilling aufbauende On-Board Temperaturregelung. Rechenprozesse, und die damit anfallende Verlustleistung, können so flexibel auf den redundanten Einheiten verteilt werden, womit einem Ungleichgewicht der Temperaturverteilung entgegengewirkt werden kann.

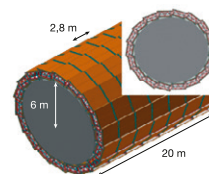
Entwurfsmethode für die Strukturen des Myonendetektors am CERN (FCC)

Mahadevan Ravichandran

Künftige Myonendetektoren am CERN sollen von einer Struktur getragen werden, die den hohen Anforderungen an Genauigkeit und Steifigkeit entspricht. Das Projekt zielt darauf ab, eine Methode für den Entwurf von Stützstrukturen zu entwickeln.

Was sind Myonendetektoren und warum sind ihre Trägerstrukturen kritisch?

Contact
Mahadevan Ravichandran, M.Sc.
mahadevan.ravichandran@tum.de



Future Circular Collider am CERN mit Myonendetektoren

Myonendetektoren sind große Strukturen, die die Elektronik zum Nachweis von Myonen enthalten. Sie müssen mit hoher Präzision positioniert werden und sollten eine hohe Steifigkeit aufweisen, um die Flugbahn genau zu erfassen. Beim Future Circular Collider am CERN handelt es sich bei diesen Strukturen um riesige Quader, die sich etwa einen Meter in jede Richtung erstrecken. Die Biegung dieser Strukturen sollte auf einen kritischen Wert der Verschiebung begrenzt sein, um die Myonen mit der erforderlichen Genauigkeit zu erfassen.

Die Lösungsstrategie

Die Trägerstrukturen der Detektoren müssen an verschiedenen Positionen entlang des Umfangs des Future Circular Collider platziert werden, wie in der Abbildung links dargestellt. Die Strukturen sind an den verschiedenen Positionen mit unterschiedlichen Randbedingungen konfrontiert. Ziel des Projekts ist es, eine Entwurfsmethode zu entwickeln, die die Strukturen für diese unterschiedlichen Randbedingungen erzeugt und dabei die Anforderungen erfüllt.

Partner

Czech Technical University at Prague, Bavarian-Czech Academic Agency

TuWAs – Transformationshub für die umformtechnische Industrie

Lucien Zapfe

Die Mobilitätswende, die Digitalisierung und ein zunehmendes Bewusstsein für nachhaltigen Konsum führen zu einschneidenden, notwendigen Transformationsprozessen in der Automobilindustrie. Das Projekt TuWAs unterstützt Unternehmen der Umformtechnik diese Veränderungen erfolgreich zu bewältigen.



Automobilindustrie im Wandel

Die Automobilindustrie befindet sich im größten Umbruch ihrer Geschichte. Das Zusammenkommen von mehreren zeitgleich wirkenden Trends erfordert ein hohes Maß an Anpassungsleistungen und Innovationen von den Unternehmen. Die zunehmende Digitalisierung, das Zusammenspiel von Mensch und Maschine in der Produktion, erforderliche resiliente Lieferketten sowie hohe Energiepreise bedürfen eines neuen Denkens innerhalb der Industrie. Insbesondere die zunehmende Elektrifizierung des automobilen Antriebsstrangs führt zu weniger komplexen Teilen und zur Reduzierung der Bauteilanzahl. So fallen viele umformtechnische Arbeitsschritte weg.

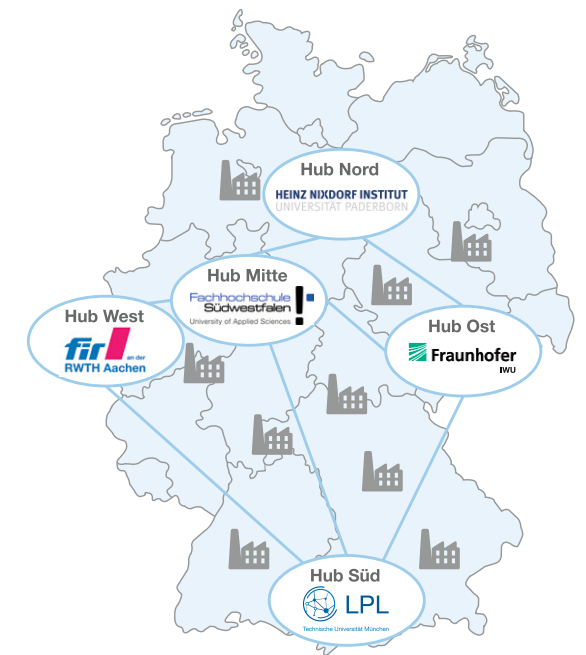
Partner aus ganz Deutschland

Für TuWAs haben sich sechs Forschungseinrichtungen aus ganz Deutschland zu einem interdisziplinären Team zusammengeschlossen, mit dem Ziel Unternehmen ganzheitlich bei dem notwendigen Transformationsprozess zu unterstützen und wichtige Impulse für den Erhalt von Arbeitsplätzen, Know-how und Fertigungsnetzwerken in Deutschland und Europa zu geben. Dazu werden die einzelnen Kompetenzen der Projektpartner in einem modularen Methodikbaukasten gebündelt. Dies ermöglicht ein umfassendes und an die Bedürfnisse der Unternehmen angepasstes Beratungsangebot. Die Konsortialpartner stellen Wissenstransfer- und Vernetzungsangebote zur Verfügung, entwickeln neue Geschäftsmodelle, strukturieren Forschungs- und Entwicklungsergebnisse, skalieren diese über die Wertschöpfungskette und schaffen eine branchenoffene, allen Unternehmen zugängliche Plattform.

Contact
Dr. Markus Mörtl
markus.moertl@tum.de
Lucien Zapfe, M.Sc.
lucien.zapfe@tum.de

Seine Expertise bringt der LPL insbesondere im Kostenmanagement, bei der Anwendung von Produktentwicklungsmethoden sowie in Produkt-Service-Systemen und der Digitalisierung ein.

Darüber hinaus treibt er die Verbreitung der Ergebnisse im wissenschaftlichen Umfeld voran und stellt dafür geeignete neue Transferformate zur Verfügung.



Deutschlandweiter Zusammenschluss von Forschungseinrichtungen

Transformationshub Süddeutschland

Der LPL ist mit der Errichtung eines Transformationshubs in Süddeutschland beauftragt, in welchem das Knowhow des LPL sowie der anderen Projektpartner für Unternehmen in Bayern und Baden-Württemberg gebündelt zur Verfügung stehen. Das Leistungsangebot von TuWAs deckt dabei den gesamten Transformationsprozess vollumfänglich ab. Die Beratungsdienstleistung sowie die Projektteilnahme sind für interessierte Unternehmen kostenfrei. Zur Umsetzung des Projekts fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) das Projekt bis Juni 2025 mit rund 3,5 Millionen Euro.

Praktikum RobOpt: Numerical Optimization for Robot Design and Controls

Akhil Sathuluri

This new practical course is intended to provide an understanding on the usage of numerical optimization tools for a holistic view on the design of robots. Multiple ways to formulate and solve numerical optimization problems are discussed with practical examples. The idea is to develop the skills required to use optimization as a tool to solve problems on kinematic, structural design and control of manipulators. The usage of common optimization tools (in MATLAB and Python) is covered.

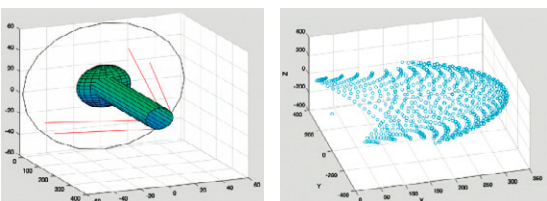


Students working in teams at the labs computing facility during the practical course



Snapshot of the trajectory of a two-link planar robot as obtained by trajectory optimization while moving between the initial and goal poses

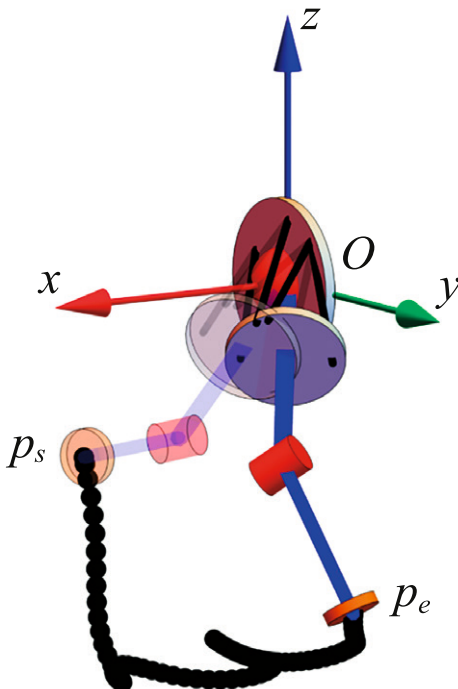
In the first part students learn how to pose the identification of a suitable robot design as an optimization problem. Problems involving design of kinematic parameters, cable placement and maximization of workspace are discussed.



Contact
Akhil Sathuluri, M.Sc.
akhil.sathuluri@tum.de

More information
www.mec.ed.tum.de/en/lpl/research/research-groups/robot-systems/

Exercise involving the design of cable routing points for a ball joint link (left) to maximize the robot workspace (right)



Design and control of a cable driven humanoid robot arm

Objective function

$$\min_{t_f, x(t), u(t)} J(t_0, t_f, x(t_0), x(t_f)) + \int_{t_0}^{t_f} L(\tau, (x(\tau), u(\tau))) d\tau$$

All the robots designed are then used to synthesize controllers by posing it as a “trajectory optimization” problem. Students also visualize the resulting designs and controllers using simulations.

On the last day, Dr. Armin Veitl, senior director of academic programs at Altair Engineering, was invited to present on practical applications of optimization-based design and control, followed by hands-on experimentation with a ball-balance testbench platform.

Praktikum TopOpt: Eine Woche lang Optimierung in der Praxis

Mahadevan Ravichandran, Tobias Wanninger

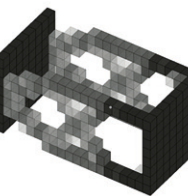
Das neue Topologieoptimierungspraktikum wurde als fünftägiger Blockkurs durchgeführt, in dem die Studierenden lernten, Topologieoptimierungscodes für eine Vielzahl von Problemen mit Hilfe von Programmierwerkzeugen selbst zu schreiben.

Contact
Mahadevan
Ravichandran, M.Sc.
mahadevan.
ravichandran@tum.de

Tobias Wanninger,
M.Sc.
tobias.wanninger@
tum.de

Überblick über den Kurs

Die erste Ausgabe des Praktikums zur Topologieoptimierung am LPL wurde im Oktober 2022 im Rahmen des Wintersemesters 2022/2023 abgeschlossen. Der Kurs vermittelte ein grundlegendes Verständnis für die Technik der Topologieoptimierung durch praktische Übungen. Das Konzept und die Methode wurden anhand grundlegender Problemstellungen der Topologieoptimierung in 2D und 3D vermittelt, die die Studierenden durch das Schreiben numerischer Codes lösten. In einer der Übungen wurde die Topologie eines realen Bauteils mit einem kommerziellen FEM-Paket optimiert.



Von Studierenden erstelltes Beispiel für eine optimierte Geometrie

Im Unterricht besprochene Theorie

Die Studierenden wurden mit den Grundlagen der Finite-Elemente-Methode vertraut gemacht, die für die Topologieoptimierung unerlässlich ist. Durch die Diskussion von Problembeispielen aus den Forschungsprojekten des Lehrstuhls wurden sie dazu motiviert, die Topologieoptimierung aus den Bereichen Robotik, Luft- und Raumfahrt und additive Fertigung zu nutzen.

Praxisnahe Lehrmethode

Indem sie in MATLAB Codes für eine Vielzahl von Topologieoptimierungsproblemen schreiben durften, lernten die Studierenden die Techniken der Topologieoptimierung kennen.

Vorlesungsunterlage zur Erläuterung der Anwendung der Topologieoptimierung in der Robotik

1.1.4. Examples from Robot Design

System and component optimization

- System / Arm:**
Obj.: min. estimated total mass
Constr. w.r.t. stiffness in static pose
DV's: stiffness requirements on components 1 & 2
- Component 1 / upper arm:**
Objective: min. mass
Constraint w.r.t. stiffness (requ.)
DV's: geometry
- Component 2 / lower arm:**
Objective: min. mass
Constraint w.r.t. stiffness (requ.)
DV's: geometry

Lower Arm
Initial Weight: 3.475 kg
Optimized: 0.05612 kg

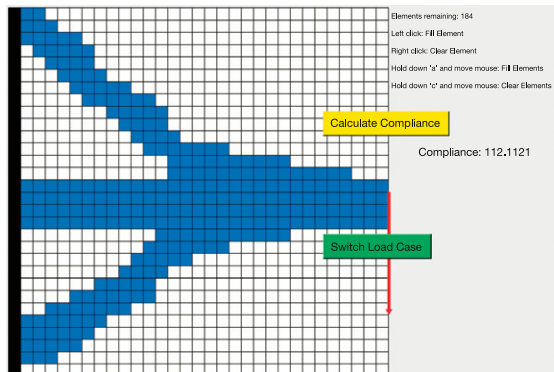
Upper Arm
Initial Weight: 2.222 kg
Optimized: 0.04952 kg

LPL | Topology Optimization

Zu Beginn des Kurses schrieben die Studierenden die Grundversion des Codes für zweidimensionale Probleme und einzelne Lastfälle, im späteren Teil auch die Codes für Mehrfachlasten bei drei-dimensionalen Problemen.

Praktische Ausbildung mit dem FEM-Tool

Nachdem den Studierenden die Grundlagen der Topologieoptimierung vermittelt wurden, erhielten sie praktische Probleme von größerer Komplexität und wurden angeleitet, diese mit kommerziellen FEM- und Optimierungspaketen zu lösen.



Interaktives Tool für Studierende zur Untersuchung verschiedener Materialverteilungen und Lastfälle

Interaktives Werkzeug für das Selbststudium

Die Studierenden bekamen ein interaktives Tool, das vom Vorlesungsteam entwickelt wurde und mit dem sie einen vorgegebenen Raum mit Materialien füllen und die Einhaltung der Vorschriften für verschiedene Lastfälle berechnen konnten. Auf diese Weise konnten sie die Auswirkungen verschiedener Materialverteilungen und deren Einfluss auf die Steifigkeitseigenschaften eines Bauteils untersuchen.

Bewertung

Die Studierenden wurden anhand von Kurzübungen am Ende jedes Tages sowie eines Berichts bewertet, den sie nach dem Lösen von Übungsaufgaben verfassten, um ihre Fähigkeiten zu testen, Codes zu schreiben, Ergebnisse zu generieren und zu interpretieren.

DT-Lab – A Practical Course on Design and Implementation of Digital Twins

Jakob Trauer

In January, the practical course on the design and implementation of Digital Twins took place for the first time. The course is intended to teach students the basics of Digital Twins and to let them experience the challenges in developing Digital Twins, but also how to overcome them and how to get the most out of it. Theory is applied to a Digital Twin Demonstrator.

Contact
Jakob Trauer, M.Sc.
jakob.trauer@tum.de

The course at a glance

Digital twins are one of the most promising concepts for technical product development. However, around 20 years after the first publication by NASA, digital twins (DTs) have still not arrived in the industry across the board. One reason for this is certainly a lack of understanding and expertise. The practical course is designed to address this challenge. The practical course consists of two elements. A short theoretical part and a practical part. In the first part, the students are taught the basics of DTs, as well as the theoretical knowledge that is necessary to be able to work on the later practical project tasks.

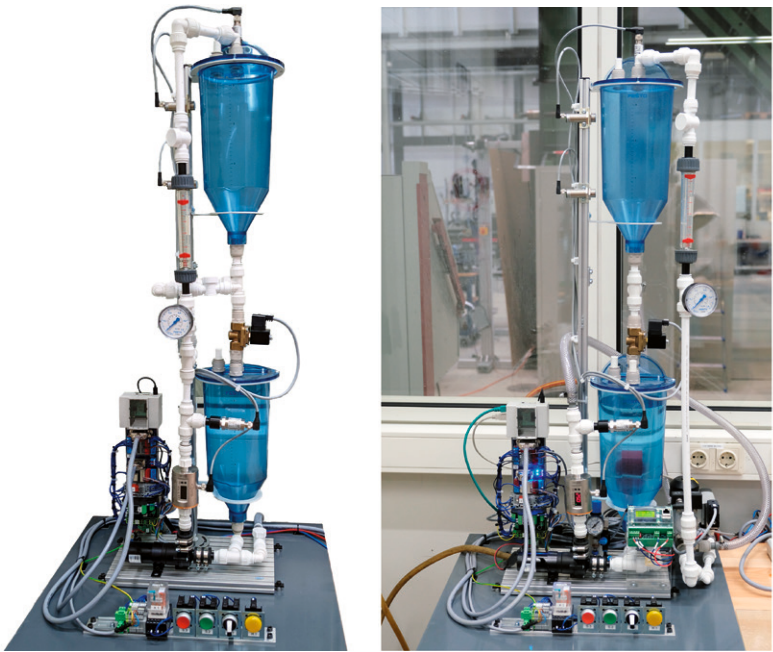
For the practical part, students are divided into interdisciplinary teams. The module is aimed in particular at mechanical engineers, industrial engineers and computer scientists, as these

are usually the skills required for DT projects in industry. Based on an exemplary use case of a bottling plant, these interdisciplinary teams will then develop a DT. In this way, the students get to know the ways of thinking, challenges, and needs of the other disciplines. This is essential to be able to resolve any conflicts of objectives that may arise. The project task is deliberately kept relatively open in order to support proactive and self-directed learning. At the end of the practical course, the teams will present their solutions to each other. In addition, you will reflect on your approaches and project structures

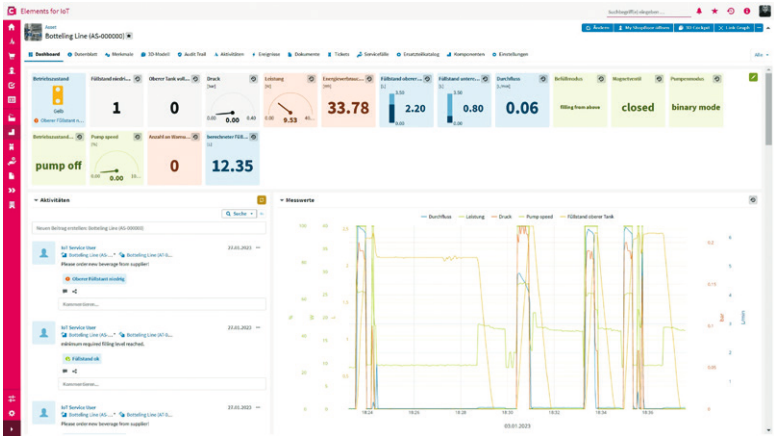
The course setting

For this course, [ADIRO](#) was very kind to lend us a demonstrator of a bottling line. Adiro stands for the design of optimal learning environments and industrial applications in the entire spectrum of automation technology. Thus, they were the perfect collaboration partner for our project. The hardware we are using is the “EduKit Advanced” with the “IoT-Kit extension” ([ADIRO Automatisierungstechnik GmbH - IoT-Kit PA](#)), which offers an operable complete solution of networked processes in table-top size. It consists of two water tanks which are connected over a pump, so that it is able to pump water from the lower to the upper tank. Several sensors are installed to monitor the process, tracking, pressure, flow, as well as the water level in the upper tank.

However, as DT use cases have different requirements than IoT use cases, we had to adapt the demonstrator to make it “DT-ready”. All previously manually operated valves were replaced by digitally controllable ones. Combined with a different layout of the piping, it enables switching between different filling modes. Further, the bottling plant was extended by a “DC-Wattmeter” to be able to also track energy consumption of the demonstrator.



Digital Twin Demonstrator: EduKIT PA Advanced w/ IoT Kit (left), “DT-ready” bottling plant demonstrator (right)



The CONTACT Elements for IoT platform applied to the demonstrator

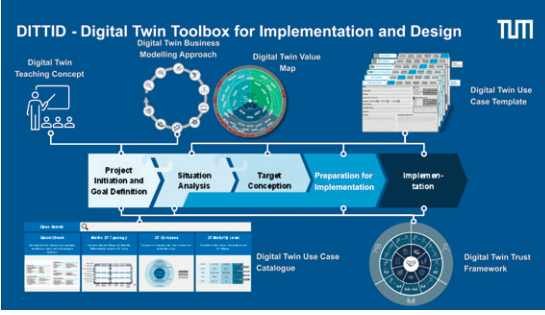
In addition to hardware, software is of course also required for the development of a digital twin. Here we were supported by [CONTACT Software](#), providing us with the latest version of their product “CONTACT Elements for IoT”.

Using MQTT as a broker, the raspberry pi at the demonstrator can send data to and receive control prompts from the CONTACT elements platform. The basic connectivity as well as a very basic dashboard were prepared upfront as a starting point for the students during the practical course.

The artificial case study scenario

To make the project task as realistic as possible, a case study scenario was developed. The scenario is made up around the fictitious medium sized brewery “Zwillingsbräu GmbH”, which is interested in implementing a DT for their bottling plants. They have no previous experience and therefore hired the student teams as experts to set up a DT strategy, accompanied by a business case and a first pilot implementation of a couple of use cases to showcase their potential.

The partners



The DITTID framework

Apart from the scenario, the students were provided with *DITTID – the Digital Twin Toolbox for Implementation and Design*. This framework was developed at LPL over the last years. So far it has not yet been evaluated in whole. Therefore, the course was also designed to offer an assessment of the usability, applicability and usefulness of the framework.

The first run

This year the course was being held for the first time. A total of eight students participated, which were split up in four teams. On the first day, an introduction to the basics of DTs was given. In addition, several keynotes showcased applications and important aspects of DTs. We would very much like to thank Dr. Sebastian Schweigert-Recksiek ([hem engineering methods AG](#)), Dr. Ralf Stetter ([RWU Hochschule Ravensburg-Weingarten University of Applied Sciences](#)), and Sven Forte ([TU Kaiserslautern, Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung \(VPE\)](#)) for their valuable contributions.



Dr. Sebastian Schweigert-Recksiek presenting his keynote

Over the next two weeks the students started applying the DITTID framework and developing their DT solution. Most solutions were related to the error of clogging pipes. Based on the data collected, the DT is able to derive measures in order to protect the plant from further damage while production is carried on as best as possible. During the entire course the students were closely supported and supervised, but not directly guided to ensure self-learning. On the last day of the course, the teams presented their results. Apart from Dr. Schweigert-Recksiek, Prof. Zimmermann and other research associates of LPL, several participants of ADIRO attended the meeting.

Nuno Miguel Martins Pacheco

Zum Ende des Sommersemesters 2022 fand erneut das bewährte Innovationsformat THINK.MAKE.START. (TMS) statt. In 10 Teams nahmen insgesamt 52 Studentinnen und Studenten aller Fakultäten der Technischen Universität München daran teil.

Contact

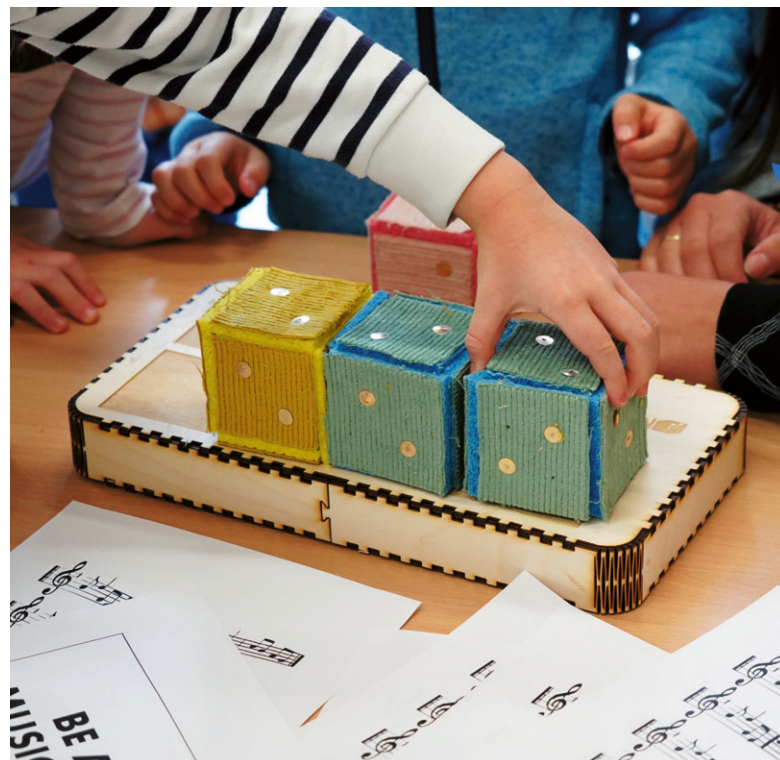
Nuno Miguel Martins
Pacheco, M.Sc.
martins.pacheco@
tum.de

More information

www.tms.tum.de

Wie jedes Semester wurden beim hybriden Demo Day am 28. September 2022 die besten Teams gekürt.

Joy Labs erhielt vom Publikum für seine Lösung eines innovativen Lernansatzes zum Zusammenspiel von verschiedenen Musikinstrumenten für Kinder den THINK.-Award für die beste Idee.

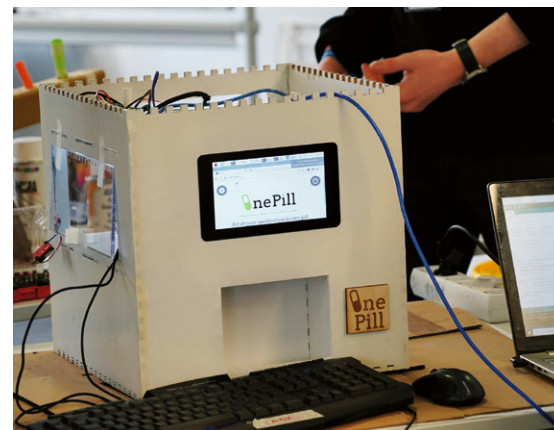


Finale Prototypen
ausgewählter Teams
aus Batch #15
Quelle: TMS Archiv

Das Team **One Pill** stellte ein Produkt für Pharmazeuten vor, mit dem Pillen für die jeweiligen Kunden individuell hergestellt werden können. Es überzeugte damit die Jury und erhielt den MAKE.-Award für den besten Prototyp.

Der START.-Award für das größte Geschäftspotential ging schließlich an das Team **KneeMo**

für sein innovatives Gerät zur Verbesserung von Rehabilitationen von Patienten nach einer Knieverletzung.



Wir danken unseren Partnern UnternehmerTUM, UnternehmerTUM Makerspace, Zeidler Forschungsstiftung, LS Datenbanksysteme, LS Werkstofftechnik der Additiven Fertigung, LS Fahrzeugtechnik, Entrepreneurship Research Institute und den TUM Venture Labs für die gute Zusammenarbeit.



Münchner Leichtbauseminar 2022 Munich Symposium on Lightweight Design 2022

Felix Endreß, Jasper Rieser

Auch in diesem Jahr haben die Technische Universität München, die Universität der Bundeswehr München und die Hochschule München Expertinnen und Experten aus Industrie und Wissenschaft zum Münchner Leichtbauseminar eingeladen. Den Abschluss der dreitägigen Veranstaltungsreihe zu Entwicklungen und Anwendungsmöglichkeiten im Leichtbau machte am 30. November 2022 der Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau.

Contact

Felix Endreß, M.Sc.
felix.endress@tum.de
Jasper Rieser, M.Sc.
jasper.rieser@tum.de

More information

[www.mec.ed.tum.de/
lpl/lehrstuhl/
veranstaltungen/](http://www.mec.ed.tum.de/lpl/lehrstuhl/veranstaltungen/)

Feste Größe im süddeutschen Raum

Mit dem Sitz vieler technischer Konzerne und Startups sowie seiner einzigartigen Forschungslandschaft ist München ein wichtiger Knotenpunkt für den Leichtbau. Seit 2003 laden die TUM, die Universität der Bundeswehr München und die Hochschule München jährlich alle Leichtbauinteressierten zum Münchner Leichtbauseminar ein, um den Austausch zwischen Wissenschaft und industrieller Praxis zu stärken. Nachdem die Tagung über die Jahre hinweg immer populärer wurde, war auch das Symposium 2022 an der TUM mit mehr als 60 Teilnehmenden und elf spannenden Vorträgen ein voller Erfolg.

Industrie trifft Wissenschaft

Auch in 2022 bot das Leichtbausymposium eine Plattform zum Austausch zwischen Industrie und Wissenschaft, im Rahmen von elf Fachvorträgen und einem anschließenden Get-Together.

Gegliedert in Sessions zu Optimization, Designs and Materials und Methods and Processes referierten Experten namhafter Unternehmen wie BMW, DMG Mori und Boeing, neben Wissenschaftlern verschiedener Lehrstühle an den Universitäten in München, Leoben, Bayreuth, Karlsruhe (KIT), Dresden und Paderborn über aktuelle Themen im Leichtbau.

Tagungsband zum Münchner Leichtbauseminar 2022

Referierende des Leichtbauseminars erhalten die Möglichkeit in den Veranstaltungs-Proceedings ein Paper zu veröffentlichen. Im *Tagungsband zum Münchner Leichtbauseminar 2022* (*Proceedings of the Munich Symposium on Lightweight Design 2022*) werden im Laufe des Jahres gesammelte Konferenzbeiträge vom Springer-Verlag veröffentlicht.

Wir bedanken uns bei allen Teilnehmenden und hoffen, Sie auch wieder zum Münchner Leichtbauseminar 2023 begrüßen zu dürfen!



Prof. Markus Zimmermann mit Vortragenden und Teilnehmenden des Münchner Leichtbauseminars 2022 am 30. November an der TUM

Der LPL verabschiedet den externen Doktoranden Sebastian Wöhr in seine Festanstellung bei der BMW Group



Ferdinand Wöhr

Markus Mörtl

Im Sommer 2022 beendete Ferdinand Wöhr seine Tätigkeit als externer Doktorand am Lehrstuhl.

Ferdinand Wöhr startete am 1. Dezember 2018 als externer Doktorand der BMW Group am LPL. Bei BMW war er im Bereich Entwicklung Gesamtfahrzeug tätig.

Im Rahmen seiner Promotion beschäftigte er sich intensiv mit der Frage: Wie oft sollten Teams in einem verteilten Entwicklungsprozess Informationen austauschen, z. B. über Entwicklungsstände oder Anforderungen, um Entwicklungsdauer und -ergebnis zu optimieren. Dafür verknüpfte er die Modellierung technischer Wirkketten mit der Modellierung von Entwicklungsagenten und Entwicklungsprozessen in einer Simulationsumgebung.

In der Lehre wirkte er mit in den Vorlesungen MPD, Kostenmanagement und Leichtbau. Er baute das Seminar EDCP „Experience the Design of Complex Products“ neu auf.

Lieber Ferdinand, vielen Dank für Deinen „externen“ Input und Deine tolle Unterstützung am Lehrstuhl. Wir hatten immer viel Spaß mit Dir. Für Deine Festanstellung bei BMW wünschen wir Dir nun beruflich alles Gute, ebenso im privaten Umfeld.

Der LPL verabschiedet den externen Doktoranden Julian Stumpf in seine Festanstellung bei der Mercedes-Benz AG



Julian Stumpf

Markus Mörtl

Julian Stumpf beendete im September 2022 seine Tätigkeit als externer Doktorand am Lehrstuhl.

Im Oktober 2018 kam Julian Stumpf als externer Doktorand von Daimler an den LPL. Bei Daimler war er zum Thema Vernetzte Auslegung und Solution Spaces tätig. Dies beforschte er auch am LPL, u.a. für die abteilungsübergreifende Auslegung von Motorlagerungssystemen.

Am Lehrstuhl war Julian lange Zeit in die Vorlesung PKE Produktentwicklung – Konzepte und Entwurf eingebunden. Daneben war er anfänglich für die lpl news zuständig und rief die SAMA-Academy, ein spezielles Betreuungsformat für Studierende und ihre Studienarbeiten, ins Leben.

Privat betätigte sich Julian im Allgäu in der Musikgruppe D'Spätschicht, von seinem musikalischen Können profitierte auch der LPL das ein oder andere Mal.

Lieber Julian, auch wenn Du aufgrund der Entfernung nach Ulm, Böblingen oder Stuttgart nicht so oft am LPL sein konntest hatten wir dennoch viel Spaß, wenn Du wieder in Garching warst. Vielen Dank für Deinen umfangreichen fachlichen Input und Deine Unterstützung als externer Doktorand. Wir wünschen Dir privat und für Deine weitere Tätigkeit bei Mercedes-Benz alles Gute.

Der LPL dankt Sebastian Rötzer für seine Mitarbeit



Sebastian Rötzer

Markus Mörtl

Im November 2022 endete die Tätigkeit von Sebastian Rötzer am Lehrstuhl.

Sebastian Rötzer nahm als einer der ersten wissenschaftlichen Mitarbeiter des LPL am 15. April 2018 seine Tätigkeit auf. Gleich zu Beginn entwickelte er Modularisierungsstrategien für einen Systementwickler für Nutzfahrzeuge, im Anschluss auch für Hersteller von Automobilen und Verbindungssystemen. Sein Steckenpferd wurde die kostenoptimierte Produktfamilienauslegung, die er bei mehreren Firmen evaluierte. Seine entwickelte Methodik wendete er auch im DFG-Projekt Röntgentarget an.

In der Lehre war er von Beginn an für den Aufbau der Vorlesung Methods of Product Development zuständig und intensiv an mehreren Überarbeitungsschleifen beteiligt, ebenso an der Vorlesung Multidisciplinary Design Optimization. In der Vorlesung Kostenmanagement in der Produktentwicklung hielt er ebenfalls einen Gastvortrag. Bei Studierenden war er stets sehr beliebt und konnte dadurch viele ihrer Abschlussarbeiten betreuen. Daneben nahm Sebastian das Amt des Orgasprechers wahr, kümmerte sich um den Aufbau der LPL Academy, um eines unserer Ehemaligentreffen, das LPL Marketing und viele andere Kleinigkeiten. Seinen Auslandsaufenthalt absolvierte Sebastian am Stevens Institute in den USA. Am 14. März 2023 hat Sebastian sein Rigorosum.

Lieber Sebastian, wir bedanken uns bei Dir für Deine umfangreiche und intensive Mitarbeit als einer der ersten Stützen beim Aufbau des LPL. Es war immer interessant und auch lustig mit Dir. Für Deine künftige Tätigkeit wünschen wir Dir alles Gute, ebenso auch für dein privates Wohlergehen.

Der LPL verabschiedet seinen ersten wissenschaftlichen Mitarbeiter Lukas Krischer



Lukas Krischer

Markus Mörtl

Der 31. Januar 2023 war der Abschiedstag von Lukas Krischer vom LPL.

Am 1. Februar 2018 hatte Lukas Krischer als erster neuer wissenschaftlicher Mitarbeiter des LPL seinen ersten Arbeitstag. Lukas kümmerte sich in vielen Belangen um Berechnen und Rechnen: Er beforschte die Systemauslegung in der Robotik und war in die Projekte DRAC und DIVA involviert. In der Lehre hatte er den Hut für die Vorlesung MDO auf und war intensiv beteiligt am Leichtbau- und Topologieoptimierungs-Praktikum. Er kümmerte sich um Rechner-, IT- und Lizenz-Themen und setzte ein Mini-Cluster zum Testen von Software auf. Auch beteiligte er sich erfolgreich an diversen DFG-/KME-/ZIM-Forschungsanträgen. Lukas war längere Zeit gewählter Sprecher in der Leitungsrunde, Homepagebeauftragter und die ganzen Jahre über Ersthelfer.

Seinen Auslandsaufenthalt absolvierte er in Spanien an der UPC Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Group of Computational Design & Analysis of Engineering Materials – International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE). Die von Lukas eingereichte Dissertation trägt den Titel „Informed Decomposition: Distributed design optimization of mechanical multi-component systems“.

Lieber Lukas, die Zusammenarbeit mit Dir hat viel Spaß gemacht und war für den Lehrstuhl sehr bereichernd. Du warst immer kritisch – auch Dir selbst gegenüber. Das eine oder andere Mal hat man dich in Deinem Büro fluchen hören. Wir wünschen Dir viel Spaß bei Deiner Südamerika-Tour und freuen uns danach auf Dein Rigorosum.

Neue Mitarbeiter am LPL



Philipp Radecker, M.Sc.

Zum 15. November 2022 trat Herr Philipp Radecker seinen Dienst als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau an.

Herr Radecker ist ein Gewächs der Technischen Universität München und studierte Maschinenwesen konsekutiv im Bachelor wie auch im Master. Dabei lagen die Schwerpunkte im Bachelor vorrangig auf der angewandten Mechanik sowie der Thermodynamik. Für beide Disziplinen entwickelte er an den jeweiligen Lehrstühlen neuartige Sensoren und entdeckte damit sein Interesse an der Mechatronik. Dies beeinflusste die Wahl seiner Spezialisierung im Master wesentlich, welche im Bau eines Inspektions- und Wartungsroboters für das Kernfusionsprojekt ASDEX Upgrade des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik gipfelte.

Seit Beendigung seines Studiums arbeitet Herr Radecker freischaffend als Projektingenieur und leitet die Entwicklung einer smarten Food Delivery Box. Am LPL zeichnet sich Herr Radecker für die Projekte PHYDRA und PLUTO verantwortlich.



Lucien Zapfe, M.Sc.

Der Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau heißt zum 23. Januar 2023 Herrn Lucien Zapfe als neuen wissenschaftlicher Mitarbeiter willkommen.

Herr Zapfe studierte konsekutiv Wirtschaftsingenieurwesen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Economics and Management an der Universität Trient, Italien. In dieser Zeit fokussierte er sich auf die Verknüpfung von wirtschaftlichen und technischen Fragestellungen. In seiner Abschlussarbeit entwickelte er eine datengetriebene Methodik zur Quantifizierung von Unsicherheiten bei Investitionsentscheidungen in Produktionsanlagen mittels künstlicher neuronaler Netze und stochastischer Optimierung. Erfahrungen in der Produktentwicklung hat er bereits durch ein Praktikum im Projektmanagement Elektrofahrzeuge der Porsche AG gesammelt. Zuletzt war er als selbstständiger Unternehmensberater mit dem Fokus auf die Digitalisierung von Geschäftsprozessen und Datenbankentwicklung tätig, wo er Kunden aus Wissenschaft und Wirtschaft bei der digitalen Transformation unterstützte.

Am LPL arbeitet Herr Zapfe an dem bundesweiten Projekt TuWAs, in welchem er einen Transformationshub für die umformtechnische Industrie aufbaut und diesen aus der wissenschaftlichen Perspektive begleitet. Das interdisziplinäre Projekt unterstützt Unternehmen bei der Bewältigung der durch die Elektromobilität hervorgerufen Umbrüche.



Philipp Schröder, M.Eng.

Zum 1. März 2023 wurde Herr Philipp Schröder vom Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau als neuer wissenschaftlicher Mitarbeiter begrüßt.

Herr Schröder studierte Wirtschaftsingenieurwesen im Bachelor und Master an der Hochschule für angewandte Wissenschaften München. Im Rahmen seiner Bachelorarbeit entwickelte er Prozesse und Tools für das Anforderungsmanagement bei Würth Elektronik. In seiner Masterarbeit analysierte er den Einfluss digitaler Technologien auf die Umweltverträglichkeit im Energiesystem. Zuletzt war er als Praktikant bei der KPMG AG tätig und identifizierte Risiken und Chancen für Unternehmen im Bereich sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit.

Am LPL wird Herr Schröder an Möglichkeiten zur Reduktion von CO₂ durch additive Fertigung und Digital Cost Twins im BMWK-Verbundprojekt BUENA „Branchenübergreifende Industrialisierung von additiver Produktion“ in Zusammenarbeit mit iwB, BUW, Boeing, IABG, Voith, Pro-FIT, Deutsche Bahn, Fraunhofer IAPT und nebumind forschen.

Ausgewählte Veröffentlichungen

Pfingstl, Simon; Braun, Christian; Zimmermann, Markus (2022): **Warped Gaussian Processes for Prognostic Health Monitoring**. Structural Health Monitoring 2021: Enabling Next-generation SHM for Cyber-Physical Systems. Stanford University, USA.

Pfingstl, Simon; Tusch, Olaf; Zimmermann, Markus (2022): **Comparison of Error Measures and Machine Learning Methods for Strain-Based Structural Health Monitoring**. Structural Health Monitoring 2021: Enabling Next-generation SHM for Cyber-Physical Systems. Stanford University, USA.

Xu, Duo; Häußler, Michael; Zimmermann, Markus (2022): **Computing Component Requirements for Multiple Connected Transfer Paths of Structural Borne Noise**. The 2022 Leuven Conference on Noise and Vibration Engineering. Leuven, Belgien.

Harold Stowe; Tyson R. Browning; Steven D. Eppinger; Jakob Trauer (2022): **Proceedings of the 24th International DSM Conference**. 24th International DSM Conference. Eindhoven, Niederlande.

Frank, Jintin; Ma, Duo; Zimmermann, Markus (2022): **Topology Optimization Subject to Anisotropic Stiffness Constraints for the Lightweight Design of Vibrating Structures**. International Conference on Noise and Vibration Engineering. Leuven, Belgien.

Trauer, Jakob; Mutschler, Michael; Mörtl, Markus; Zimmermann, Markus (2022): **Challenges in Implementing Digital Twins – a Survey**. ASME 2022 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. St. Louis, Missouri, USA.

Rötzer, Sebastian; Schweigert-Recksiek, Sebastian; Thoma, Dominik; Zimmermann, Markus (2022): **Attribute Dependency Graphs: Modelling Cause and Effect in Systems Design**. In: Design Science.

Ravichandran, Mahadevan; Winter, Johanna; Bartzsch, Stefan; Zimmermann, Markus (2022): **Material Selection for Extreme Thermo-mechanical Loads Using Design Space Projection: A Concept Study for an Ultra-high Power X-Ray Source**. NordDesign 2022. Kopenhagen, Dänemark.

Barthelmes, Nicola; Sicklinger, Stefan; Zimmermann, Markus (2022): **The Impact of the Camera Setup on the Visibility Rate of Traffic Lights**. IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration (MFI 2022). Cranfield, UK.

Schweigert-Recksiek, Sebastian; Trauer, Jakob; Wilberg, Julian; Stöhr, Bernd; Mahlau, Louis; Saygin, Murat; Spreitzer, Karsten; Engel, Carsten; Mörtl, Markus; Zimmermann, Markus (2022): **Einführung eines digitalen Zwillings in die technische Produktentwicklung – Ein Leitfaden für die industrielle Praxis – 3. überarbeitete Auflage**. Garching, Deutschland.

Sathuluri, Akhil; Sureshbabu, Anand Vazhapilli; Zimmermann, Markus (2022): **A Systems Design Approach for the Co-design of a Humanoid Robot Arm**. IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2022). Okinawa, Japan.

Veranstaltungskalender

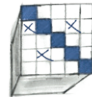


05. – 09. Juni 2023
**The 15th World Congress of
Structural and Multidisciplinary Optimisation**
Cork, Irland
<https://wcsmo2023.com/>

30. Juni 2023
**Ehemaligentreffen des Lehrstuhls für
Produktentwicklung und Leichtbau**
Garching b. München



24. – 28. Juli 2023
**24th International Conference on Engineering
Design 2023**
Bordeaux, Frankreich
<https://iced.designsociety.org/>



03. – 05. Oktober 2023
**25th International Dependency and Structure
Modelling Conference DSM**
Göteborg, Schweden
<https://dsm-conference.org>



November 2023
Münchner Leichtbauseminar
Garching b. München

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



LinkedIn