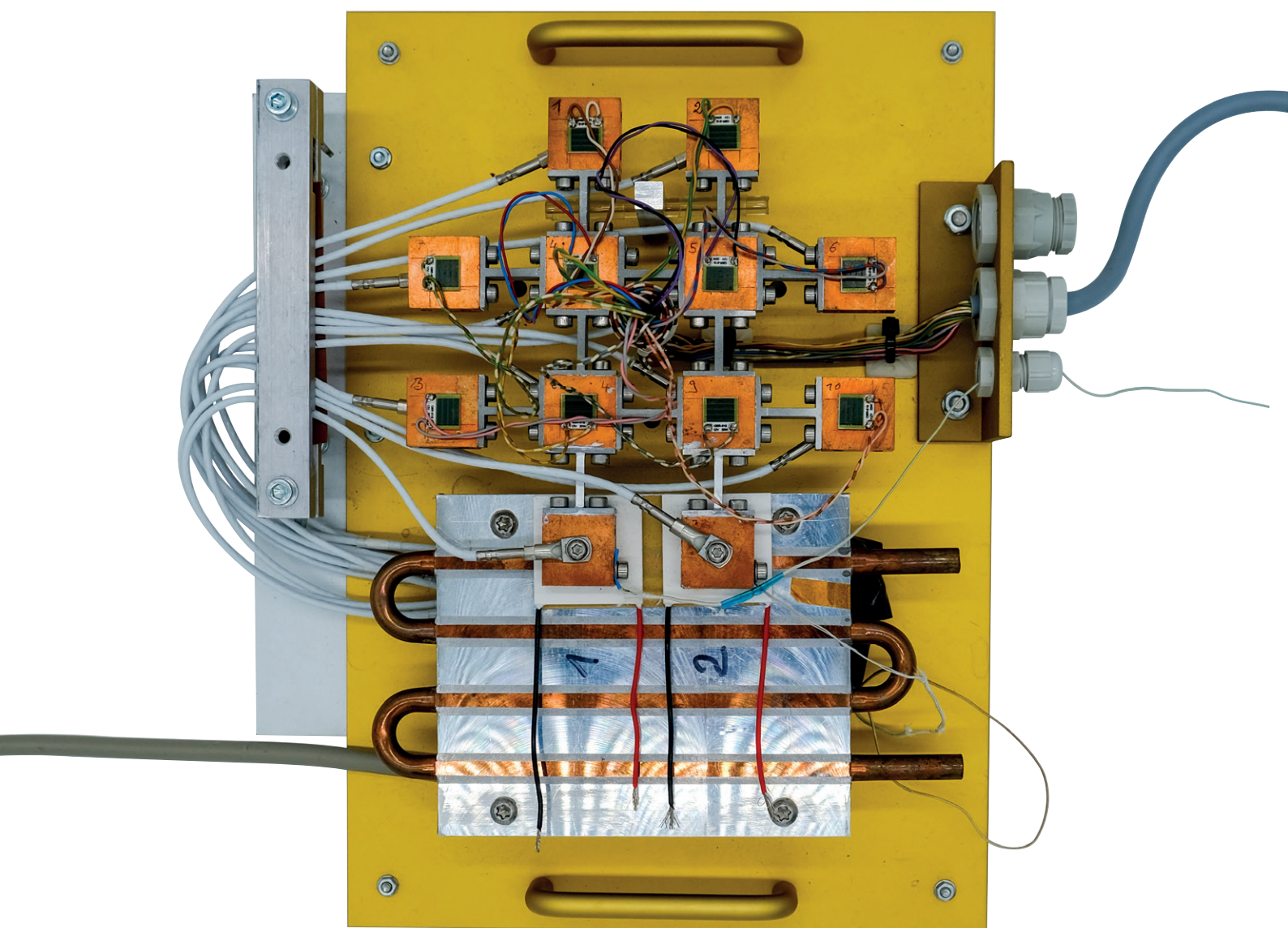




Digital Twins for Intelligent Temperature Control



How predictive control routines can anticipate disturbances and regulate payload temperatures in space applications.

Vorwort

Liebe Freundinnen und Freunde des Lehrstuhls für Produktentwicklung und Leichtbau,

die aktuellen LPLnews berichten wieder über viele Themen:

Imposant war das diesjährige Ehemaligen-Kolloquium zum Thema Produktentwicklung und Künstliche Intelligenz anlässlich des 95. Geburtstags unseres emeritierten Professors Dr.-Ing. Klaus Ehrlenspiel.

Bereits das Titelbild der LPLnews zeigt, was uns am Herzen liegt: Simulation und prototypische Umsetzung zusammenbringen. Wir zeigen dies am Beispiel des abgeschlossenen StMWi-Projektes PLUTO. Abgeschlossen wurden auch die DFG-Projekte Solutions Spaces und DSL4RAS sowie das BMW-Projekt ProVing.

Wir berichten über Zwischenstände in den Projekten KREATIVE (BMW), SOLID (BFS) und Humanoid Robot Walking (DAAD). Im Projekt TuWAs (BMW) wurde der Produkt Transformation Workshop entwickelt. Dieser wird im Automobilbereich umformtechnisch tätigen Firmen kostenfrei angeboten. Sprechen Sie uns bei Interesse dazu an.

Der LPL war auf den Konferenzen WCSMO-16, ICED'25, ASME MSNDC, SIM-AM 2025, DSM 2025, den Summer Schools for Topology Optimization sowie Engineering Design präsent.

Wir zeigen wieder Ergebnisse von Think.Make.Start., einem Lehrformat, das inzwischen 10 Jahre unter unserer intensiven Beteiligung durchgeführt wird. Auch geben wir einen Einblick in unser Modular Robot Design Praktikum.

Abgerundet werden die LPLnews wieder mit der Begrüßung neuer Mitarbeiter, diesmal heißen wir Nils Janßen herzlich Willkommen.

Viel Spaß beim Lesen der Print- oder Online-Version dieser LPLnews wünschen Ihnen und Euch

Markus Zimmermann
Markus Mörtl

KREATIVE – Konstruktionsmethodik für Hybride Additive Fertigung

Jasper Rieser

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsvorhabens KREATIVE entwickelt der Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau (LPL) zusammen mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) sowie den Unternehmen iwis SE & Co. KG und Stöger Automation GmbH eine Konstruktionsmethodik für die Hybride Additive Fertigung. Nach gut der Hälfte der dreijährigen Projektlaufzeit liegen nun verschiedene Ergebnisse vor.



Förderung
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie



Partner
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)
iwis SE & Co. KG
Stöger Automation GmbH



Das Beste aus beiden Welten
Jedes Fertigungsverfahren zeichnet sich durch seine individuellen Vor- und Nachteile aus. So lassen sich durch Dreh- oder Fräsbearbeitung von Halbzeugen auf wirtschaftliche Weise Bauteile mit sehr hoher Oberflächengüte aber nur begrenzter geometrischer Komplexität erzeugen. Demgegenüber zeichnet sich das pulverbettbasierte Schmelzen von Metallen mittels Laserstrahl durch seine Fähigkeit aus, selbst äußerst komplexe Bauteilformen realisieren zu können. Nachteile dieses additiven Fertigungsverfahrens sind allerdings sowohl die ausgeprägte Oberflächenrauigkeit als auch die Anfälligkeit für thermischen Verzug. Die Hybride Additive Fertigung kombiniert die Vorteile konventioneller Fertigungsverfahren mit denen der additiven Fertigung. Dies kann etwa dadurch erfolgen, dass für die Herstellung der unterschiedlichen Bauteilbereiche je nach Eignung entweder ein additives oder ein konventionelles Fertigungsverfahren zum Einsatz kommt. Die Entwicklung einer für derartige hybride Bauteile geeigneten Konstruktionsmethodik ist das Ziel von KREATIVE.

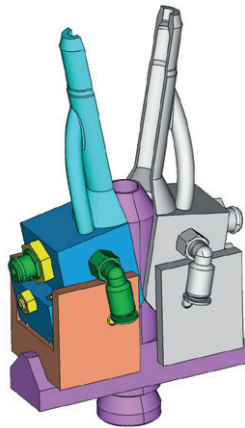


Fig. 1: CAD-Konstruktion eines Zentrierbackensatzes für die Hybride Additive Fertigung

Formgebung verbindet. Mit der Firma iwis wurde ein gewichtsoptimierter Werkzeughalter in hybrider Bauweise für die Spritzgussproduktion entworfen, bestehend aus einer gefrästen Grundplatte und einer daran anschließenden komplexen Fachwerksstruktur, welche additiv gefertigt wird.

Bauteilfertigung als nächster Schritt
Die Demonstratorbauteile werden in den kommenden Monaten in einer neu konzeptionierten hybrid-additiven Prozesskette gefertigt. Das Projektteam erhofft sich hiervon weitere wertvolle Erkenntnisse, welche in die Konstruktionsmethodik mit einfließen werden.

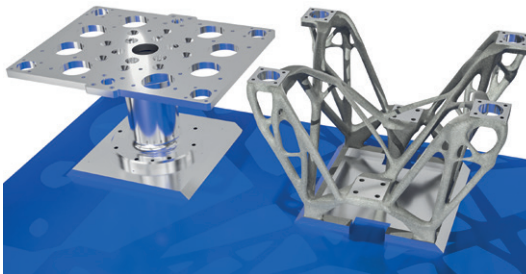


Fig. 2: Werkzeughalter für die Spritzgussproduktion. Konventionelle (links) und hybride Bauweise (rechts).

Inhalt

02 Vorwort
03 KREATIVE – Konstruktionsmethodik für Hybride Additive Fertigung
04 Project Completion: Optimal Requirement Decomposition Using Component Solution Spaces
06 Project Completion PLUTO: Processor Localization and Utilization for Thermal Optimization
08 Project Completion PROVING: Zertifizierung und Auslegung von Luftfahrtstrukturen
10 Recently Published: Maximising Tolerance to Disturbances for Robust Humanoid Robot Walking
11 SOLID: Smart Soil Compaction Devices
12 Hochschulpraktikum Modular Robot Design
13 Produkt Transformation Workshop
14 Kolloquium „Produktentwicklung und Künstliche Intelligenz“
16 Conference Contribution: World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization WCSMO16
20 Conference Contribution: 25th International Conference on Engineering Design ICED25
22 LPL Off Campus: Summer School on Engineering Design Research 2025
23 LPL Off Campus: DTU Summer School 2025: Topology Optimization at Its Best
24 Prototypen, Pitches, Perspektiven – zehn Jahre Think.Make.Start.
26 Think.Make.Start. (TMS) – Gewinner von Batch #20
27 Neu am LPL | Neuerscheinungen des Lehrstuhls | Weitere ausgewählte Veröffentlichungen
28 Veranstaltungen | Impressum

Optimal Requirement Decomposition Using Component Solution Spaces

Eduardo Rodrigues Della Noce

Facing the rising complexity of engineered systems, this project drove requirement decomposition through solution spaces to its theoretical limit. It expanded the concept and generalized the use of component solution spaces – high-dimensional, internally-coupled design regions that still let different components be developed independently, enlarging feasible design freedom by up to eleven orders of magnitude over classic box-shaped methods. A new stochastic algorithm was introduced, with two new trimming strategies that were created: planar trimming for convex spaces and corner-box removal for non-convex ones; both were validated using truss examples. This will be used in future projects to enable better individual designs and product families.



Funding

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Project Goals

Separating a system into different, independent components is a development approach which can reduce the complexity of a given task and enable concurrent engineering of each part of the project. This can save both time and money in the development process.

However, it was an open challenge to compute good component requirements for complex, non-linear systems.

The goal of this project, therefore, was to develop a method and computational tool to determine generalized component solution spaces, which define the permissible regions for all relevant properties of a component. Previously, methods were limited to either fully independent design variables (solution boxes) [1,2,3] or pair-wise coupling of design variables (2D spaces) [4,5]. This project aimed to generalize the approach, allowing each component to have an arbitrary number of design variables, maximizing design freedom while meeting all design objectives.

Project Results

In this project, the concept of component solution spaces was substantially advanced. With component solution spaces, for the first time, admissible regions for arbitrarily many design variables of a component can be computed in a coupled manner, even for highly non-linear systems, while still allowing for independent choice of values for those design variables that belong to different components.

The methodology for computing component solution spaces builds on a stochastic sampling algorithm that iteratively expands, samples, and

trims the candidate regions for each component. Starting from a seed region, each candidate component space is grown, a random sample is evaluated inside it, and any bad points are cut away. This works as a generalization of the algorithm from [1].

The most important change lies in how the component regions are trimmed to remove bad designs, where two new methods were introduced: planar trimming and corner box removal.

The first method developed, planar trimming, erects a single hyper-plane per bad point and keeps the half-space that contains the good region; after all iterations the intersection of half-spaces yields a convex component space. These spaces can be defined as convex hulls. This is explained in detail in [6], and it has been shown to have great numerical scaling [7].

Yet convexity can still eliminate large pockets of good designs for some systems. Another method for trimming is corner box removal: instead of shaving with a plane, the algorithm deletes only the axis-aligned orthotope anchored at the bad point, excluding the region from that to one of the corners of the space. Repeating this selective carving can preserve re-entrant or non-convex regions, producing non-convex component solution spaces without losing the product structure. This is explained in detail in [7], where it is also shown that the increased flexibility comes at the cost of potentially requiring many more computational resources.

The developed algorithm evaluates sampled designs according to global system requirements and remove only those portions of component spaces that lead to violations using these trimming methods. Additional changes and parameters were also created, including

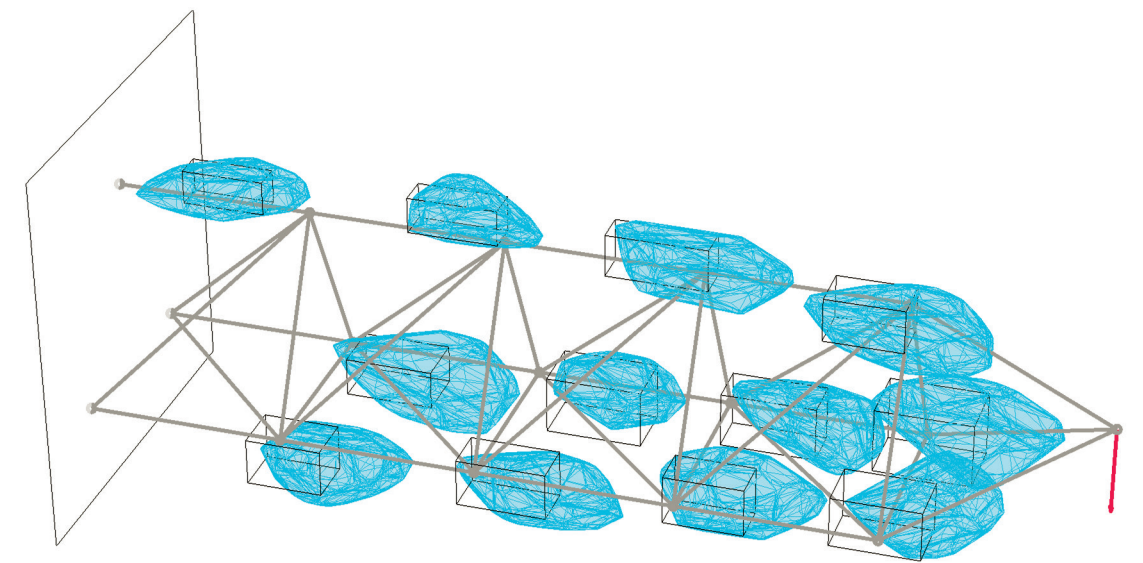


Fig. 1: Planar trimming applied to find component solution spaces for the positions of nodes of a truss structure [6,7]

trimming slack (which defines how aggressive each trimming application is), a new growth rate adaptation strategy (for better behavior and convergence in high dimensions), and tie-breaking criteria for trimming (for efficient determination of the best trimming application at any iteration), all of which help ensure each iteration maximizes useful volume gain. These changes are explained in detail in [6]. By doing so, this strategy preserves as much of the feasible region as possible, even when non-convex or irregular, and avoids the overly conservative results typical of box-based approaches.

When it comes to infinite-dimensional solution spaces, where functions are design variables, numerical procedures were developed to automatically generate shape functions using discrete approximations of component characteristics. With this, the previously developed algorithm can be used directly [7].

Throughout the project, these new numerical algorithms were developed and successfully tested on structural engineering problems, such as truss designs, and on robot design problems. Through these different applications, we have shown how component solution spaces can generate spaces which are up to eleven orders of magnitude larger than those you could obtain with the previous box-shaped solution spaces.

The outcomes are relevant for any domain dealing with complex systems, including automotive, robotics, and aerospace engineering. The methods developed can be used to enable concurrent engineering with maximum design freedom, speeding up product development, enabling better choice of materials, and increasing reliability. This can benefit high-tech

sectors as well as everyday products – for example, by enabling electric vehicles that are lighter, sturdier and more affordable.

All the data from the project was produced with the code created during it, which was made in MATLAB. The code is available as free and open-source software at the Laboratory's open GitLab repository; it has been licensed under the Apache License 2.0.

Publications and Presentations with LPL

- [1] Zimmermann et al.: Computing solution spaces for robust design. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2013.
- [2] Erschen et al.: Robust design using classical optimization. *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics*, 2015.
- [3] Zimmermann et al.: On the design of large systems subject to uncertainty. *Journal of Engineering Design*, 2017.
- [4] Erschen et al.: On the optimal decomposition of high dimensional solution spaces for complex systems. *ASME Journal*, 2018.
- [5] Harbrecht et al.: A sampling-based optimization algorithm for solution spaces with pair-wise-coupled design variables. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2019.
- [6] Rodrigues Della Noce et al.: Stochastic optimization of convex component solution spaces for arbitrary performance functions. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2025. (Currently accepted with request for revisions)
- [7] Rodrigues Della Noce et al.: Stochastic optimization of non-convex component solution spaces. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2025. (Currently to be submitted)

Project P0918

Contact

Eduardo Rodrigues Della Noce, M.Sc.
eduardo.noce@tum.de

More information

<https://gitlab.lrz.de/lpl-tum-open/lpl-optimization-platform/sso-toolbox>

PLUTO: Processor Localization and Utilization for Thermal Optimization

Sergi Pagés i Diaz

After three years of intensive research in the field of compact satellites and thermal management for space applications, the PLUTO project comes to a successful conclusion. In collaboration with our industry partners Engineering Minds Munich (EMM), we managed to exploit the presence of redundant electronic components in CubeSats to perform thermal control in space applications with strict temperature requirements. The project encompasses state of the art methods in Thermal Modeling, Model-Predictive Control, and Systems Identification, as well as hardware implementation and extensive prototype testing.



Funding
Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie



Partner
Engineering Minds Munich GmbH

Project Goals

In satellite communications, and particularly in emerging technologies such as laser-based communications, thermal requirements become critical and challenging to fulfill. The project's goal is to develop a control routine that takes advantage of redundant electronic components in a CubeSat payload to minimize temperature gradients, and the optical aberrations associated with irregular thermal dilatation.

Project Results

At its core, the project aimed to address the thermal challenges posed by advanced satellite communication systems, such as those relying on laser-based communication, where even minimal temperature gradients can lead to optical aberrations due to structural dilatation. The most impactful outcome of the project lies

in the development and deployment of a thermal control strategy centered around the concept of Digital Twins, which can seamlessly integrate Model-Predictive Control (MPC), Systems Identification, and Thermal Modeling into a unified framework.

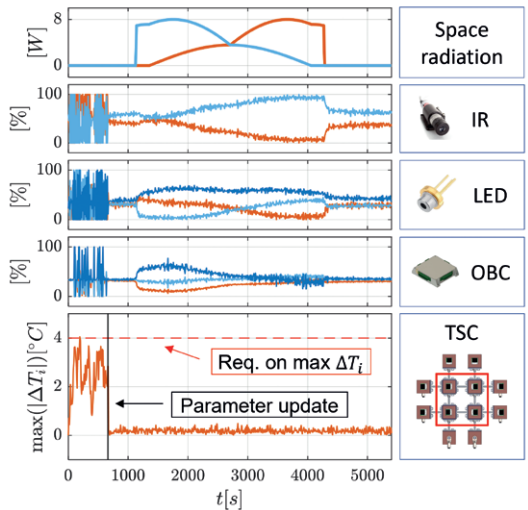


Fig. 2: Test results during Low Earth Orbit conditions. This figure shows the different redundant subsystems being activated at different rates to keep the maximum temperature differences below the upper limits for operation.

Throughout the course of the project, the idea of utilizing redundant electronic components not merely as backup hardware but as active thermal actuators was not only validated but elevated into a core control approach. Traditional thermal regulation in CubeSats typically relies on passive measures, such as radiators, insulation, or thermal coatings, which are often insufficient for missions with stringent thermal requirements. The PLUTO project demonstrated that by dynamically activating specific redundant electronics, it is possible to redistribute thermal energy across the spacecraft structure in a

Fig. 1: Abstraction representing the PLUTO Payload. In this description, electronic modules belonging to redundant systems are represented as thermal capacitors connected by thermal resistances.

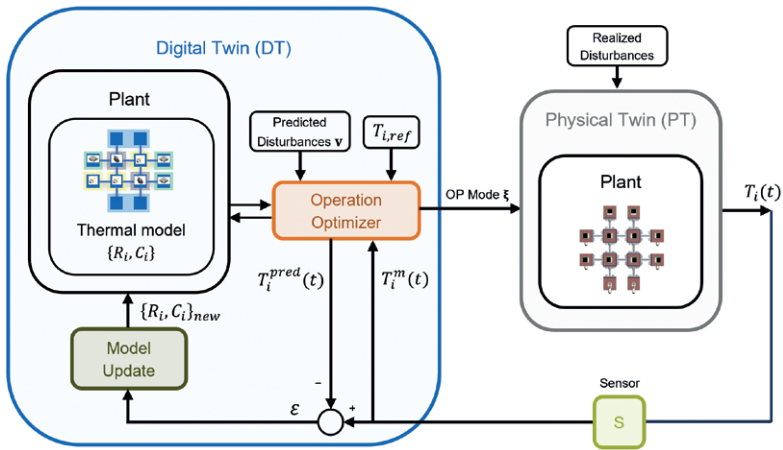
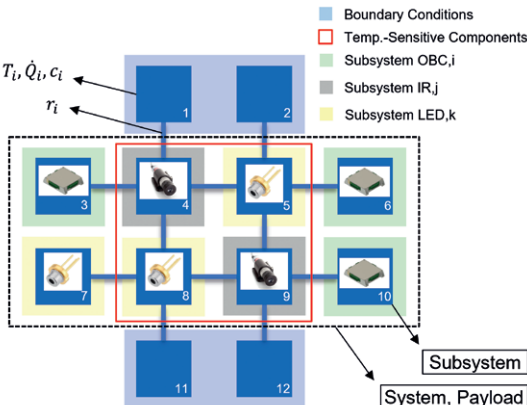


Fig. 3: The PLUTO Digital Twin concept comprising the plant thermal model, the operation optimizer based on MPC, the model updating routine, and the bi-directional communications channels with the plant.

controlled manner. However, achieving this demanded the ability to accurately predict and regulate thermal behavior in real time – an objective accomplished through the integration of a Digital Twin.

The Digital Twin developed within PLUTO functions as a high-fidelity virtual replica of the CubeSat's physical and thermal states.

Unlike static simulation models, this digital counterpart continuously evolves in sync with the satellite's actual operating conditions. It ingests telemetry data and applies Systems Identification algorithms to update model parameters, ensuring that its thermal predictions remain aligned with reality. In practice, this allows the control algorithms to anticipate temperature changes, adapt to environmental variations, and maintain optimal thermal distributions across the payload. The implementation of this Digital Twin required the combination of detailed thermal modeling and advanced data-driven calibration techniques.

The convergence of these three core disciplines – thermal modeling, predictive control, and system identification – within the Digital Twin

enabled an unprecedented level of control robustness. In controlled laboratory conditions and hardware-in-the-loop simulations, the PLUTO system demonstrated the ability to keep temperature differences between its critical subsystems below 4°K, which was the project goal during requirement elicitation. This degree of precision is transformative for optical systems onboard CubeSats, where minor misalignments due to thermal expansion can lead to significant degradation in signal quality or data resolution. Moreover, the energy-efficient nature of the control strategy – by using already installed redundant components – avoided the need for dedicated thermal actuators, preserving payload mass and power budgets.

Finally, the PLUTO project's results were validated not only through simulation but also through extensive hardware prototyping. A CubeSat prototype was subjected to space-analogous thermal environments, including solar radiation profiles from orbit calculations. The Digital Twin-based driven control system maintained thermal stability within predefined limits, even during induced disturbance events such as simulated power surges or payload duty cycles. These tests confirmed the system's robustness and readiness for operational deployment.

In conclusion, the PLUTO project delivered a comprehensive and innovative solution to one of the most critical challenges in modern small satellite missions. By leveraging Digital Twin technology as the integrative backbone for thermal modeling, control, and adaptation, the project succeeded in not only achieving its stated goals but also laying the groundwork for a new class of intelligent, self-regulating satellite platforms. The implications can extend beyond CubeSats, offering a scalable methodology for thermal management in more complex space missions where performance, resilience, and precision are critical.

Fig. 4: The PLUTO project developed demonstrators including the multi-processor system developed by EMM (left), as well as the thermal prototype developed by LPL with its measurement and control electronics (right).



Publications and Presentations with LPL

- [1] Plattner et al.: Satellite Payload Design for Optimized Thermal Management Using a Distributed Processor System. Forum on Specification and Design Languages FDL, 2023.
- [2] Pagés et al.: CubeSat Thermal Optimization using Onboard Digital Twins. WCSMO-16, 2025.

PROVING: Zertifizierung und Auslegung von Luftfahrtstrukturen

Felix Endreß

Mit dem erfolgreichen Abschluss des vierjährigen Forschungsprojekts PROVING ist ein bedeutender Schritt in Richtung Auslegung additiv gefertigter Metallstrukturen in der Luftfahrt gelungen. Ziel des interdisziplinären Projekts war es, neue Wege für die Zertifizierung sicherheitsrelevanter Leichtbaustrukturen aufzuzeigen – auf Basis virtueller Methoden, numerischer Optimierung und simulationsgestützter, validierter Nachweise.

Das Projektteam, bestehend aus führenden Industrie- und Forschungspartnern, arbeitete unter der Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE) eng mit dem Flugzeughersteller RS.aero, MSC Software, sowie der Zulassungsbehörde EASA zusammen.



Förderung
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie



Partner
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)



Boeing Deutschland GmbH



EES Eppinger Engineering Solutions GmbH



IABG Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH (Koordinator)



Oerlikon AM GmbH



Technische Universität Berlin (TUB)

Der Beitrag des LPL – Systemauslegung, Optimierung und Simulation

Der Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau (LPL) brachte insbesondere seine Kompetenz in den Bereichen System- und Topologieoptimierung ein. Dabei wurde ein Referenzsystem, die sogenannte Hänle-Tüte, ein trennbarer Steuermechanismus im Flügel eines Segelfliegers, neu ausgelegt.

Im Fokus stand der Aufbau einer virtuellen Zertifizierungspyramide, die sich eng an die Vorgaben der EASA-Regularien CS-22, CM-S-008 und CM-S-014 anlehnt. Diese Pyramide umfasst verschiedene Validierungsebenen – vom Material über Strukturelemente bis hin zur vollständigen Komponente.

Darauf aufbauend entwickelte das Team:

- Optimierungsansätze für die Topologie lasttragender Strukturen
- Simulationsbasierte Verfahren zur Quantifizierung von Streuungen in Bauteileigenschaften.

Ausblick: Additive Fertigung auf dem Weg zur Serienanwendung

Die im Projekt entwickelten Methoden zeigen, dass ein digitaler, simulationsgetriebener Nachweisweg für additiv gefertigte Luftfahrtkomponenten möglich ist – inklusive Berücksichtigung realer Unsicherheiten. Durch die Kombination aus physikalischen Tests auf Coupon-, Element- und Komponentenebene sowie numerischen Analysen lassen sich Kosten senken und Entwicklungszeiten verkürzen. Daten aus Materialtests konnten erfolgreich in der System- und Bauteilauslegung genutzt werden.

Ein besonderer Dank gilt den Projektpartnern, die durch ihre Expertise wesentlich zum Erfolg beigetragen haben.

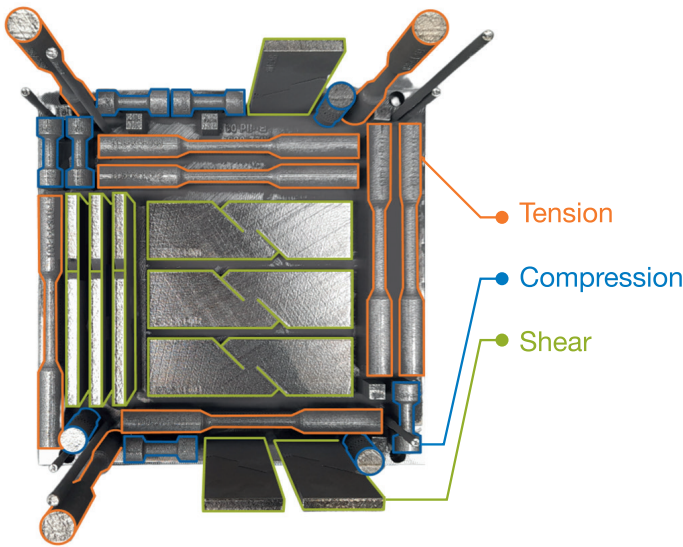
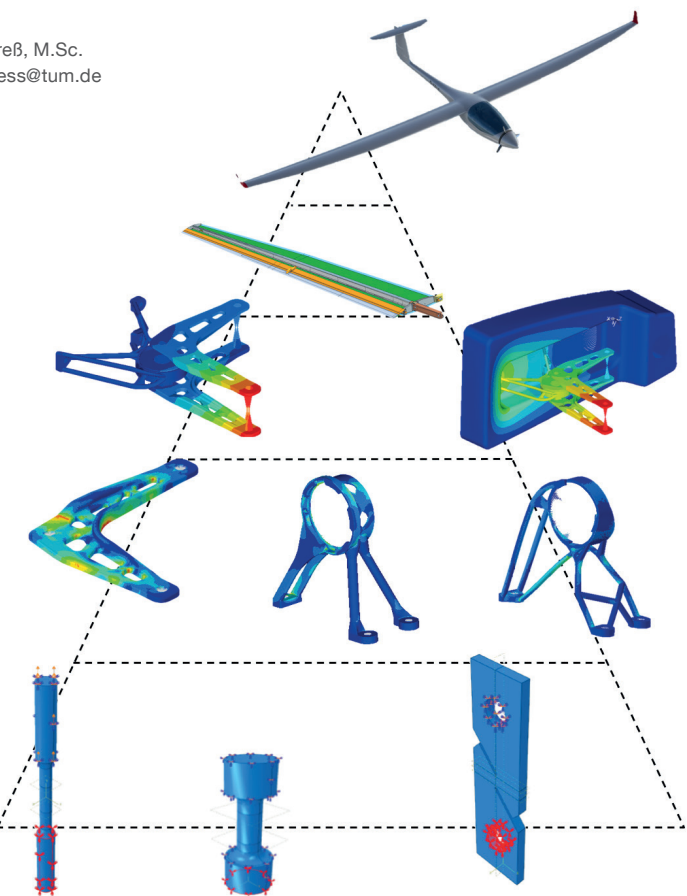


Fig. 1: Gedruckte Probekörper zur Ermittlung von Materialeigenschaften

Projekt P0893

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



Veröffentlichungen und Präsentationen mit LPL

[1] Endress, Zimmermann: Designing Variable Thickness Sheets for Additive Manufacturing Using Topology Optimization with Grey-Scale Densities. AMPA Conference, Lucerne, Switzerland, 2023.

[2] Endress, Kipouros, Zimmermann: Distributing Design Domains for Topology Optimization in Systems Design. IDETC-CIE Conference, Boston, USA, 2023.

[3] Endress, Rieser, Zimmermann: On the treatment of requirements in DfAM: three industrial use cases. ICED Conference, Bordeaux, France, 2023.

[4] Endress, Kipouros, Zimmermann: Topology optimization in systems design: a simple approach to distribute design domains. Presented at WCSMO-15, Cork, Ireland, 2023.

[5] Endress, Zimmermann: Technical cleanliness of additively manufactured Inconel 718: a comparative study of surface treatment methods. Rapid Prototyping Journal, 2024.

[6] Endress, Zimmermann: Distributed optimization with informed decomposition: extension to 3d structures with asymmetrical 2-interface elements. Presented at WCSMO-16, Kobe, Japan, 2025

Maximising Tolerance to Disturbances for Robust Humanoid Robot Walking

Akhil Sathuluri

Combined optimisation of various robot subsystems as a co-design problem has been shown to identify high-performing robots. However, classical optimisation methods result in point-optimum solutions that may not ensure robust performance and physical feasibility, i.e., the existence of components with specifications matching the computed optimum value. To address this problem, we present a set-based robust co-design optimisation strategy to maximise disturbance tolerance. Instead of identifying a single point-optimum solution, a so-called solution space evaluates the combination of the largest design space that delivers the necessary performance while being robust to the largest set of disturbances. The utility of the proposed approach is demonstrated via a computational design study of the ergoCub robot. This study focuses on the robots' walking performance, illustrating (1) improvement in task success considering at least 3 times larger magnitudes of disturbances, (2) identifying a set instead of a point-solution in the design-disturbances space, and (3) improving standardisation of the joint actuation design.



Funding
DAAD



Partner
Istituto Italiano di Tecnologia di Genoa,
Center for Robotics Technologies (CRIS)

Robots need to stay stable and perform reliably even when unexpected disturbances occur – such as uneven terrain, external pushes, or sudden payload shifts. Traditionally, engineers design a robot's control system (software that tells it how to move) and its actuation hardware (motors, joints) separately. This separation often leads to solutions that look optimal on paper but fail in real-world scenarios because the parts do not actually exist or the controller can't handle real disturbances.

Instead of optimizing control and actuation one after the other, this paper proposes a **set-based co-design method**. That means engineers design them together, but they consider ranges of parameter values – not just single “perfect” values. For example, instead of saying “motor torque = 10 N·m and controller gain = 15,” they define ranges like motor torque between 8 – 12 N·m and controller gain between 13 – 17. This helps ensure that no matter what variation occurs

in the real system (like manufacturing differences or wear and tear), the robot can handle disturbances while staying physically realizable within reasonable bounds of the solution.

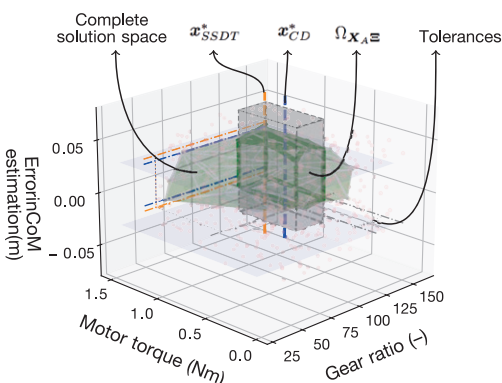


Fig. 1: The complete solution space i.e., a set of all feasible designs (green hull). Current approach maximises the volume of intersection (green lines) of the solution space and a range of disturbances (grey box).

By performing a set-based optimization in the combined design-disturbance space, we can overlap intervals corresponding to the solutions to standardize component-level properties between the different joints of the robot. Finally, we show in simulation that the proposed method is robust to larger magnitudes of disturbances as compared to the baseline robot.

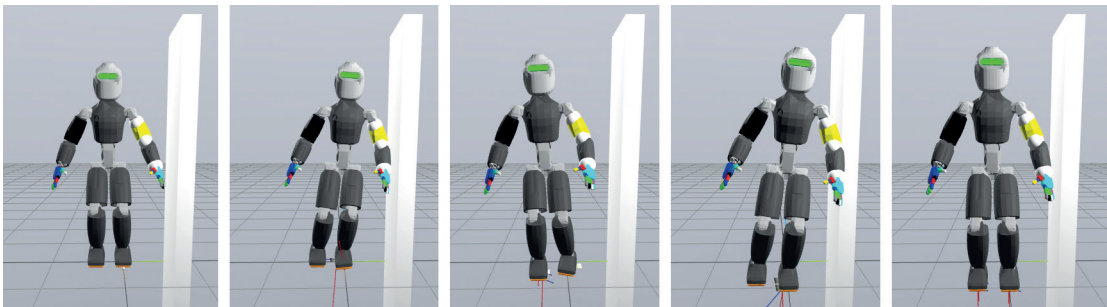


Fig. 2: Solution obtained via the presented algorithm successfully performing the walking task in simulation despite disturbances.

SOLID: Smart Soil Compaction Devices

Andela Babaja

Digital twins enable bi-directional data exchange between a system's physical and digital counterparts, facilitating real-time control of operation. The SOLID project applies that framework to vibratory rammers. Vibratory rammers are human-operated soil compaction machines. Normally, they are designed to be optimal for a single soil type, but must contend with variable field conditions. By integrating continuous system monitoring and optimal control, the digital twin dynamically adjusts compaction parameters to maximize soil density, minimize operator vibration exposure, and balance other conflicting requirements.



Bayerische Transformations- und Forschungsförderung

Funding
Bayerische Transformations- und Forschungsförderung (BFS)



Partners
Zentrum Geotechnik, TUM
(Prof. Dr.-Ing. Roberto Cudmani)



Wacker Neuson

The attribute dependency graph (ADG) integrates static design and optimal control by encoding how soil parameters influence an impact characteristic, which influences performance outputs, or quantities of interest (QoIs), such as net soil compaction, energy consumption, and hand-arm vibrations (HAVs). Those outputs also depend on the permissible ranges for component design variables (e.g., rubber mount stiffness) and real-time control parameters (e.g., drive frequency).

Project P1092

Contact
Andela Babaja, M.Sc.
andela.babaja@tum.de

More information
<https://www.mec.ed.tum.de/lpl/forschung/laufende-projekte/solid/>

To control the machine in real time, computationally efficient evaluations of the system behavior are needed. Therefore,

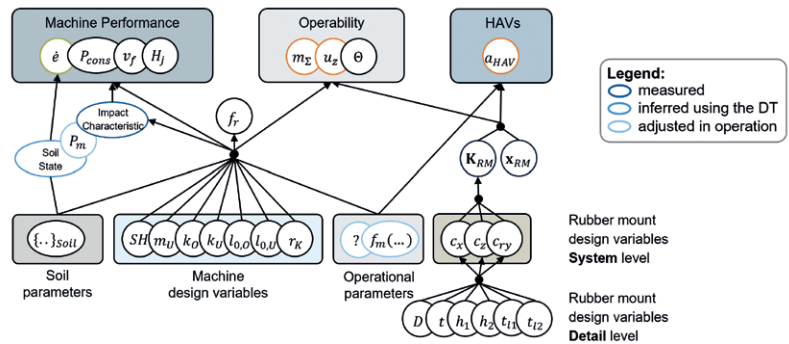


Fig. 1: **Attribute Dependency Graph (ADG)** overviews quantities of interest (QoI) and design variables (DV), as well as the operational parameters on both system and component levels.

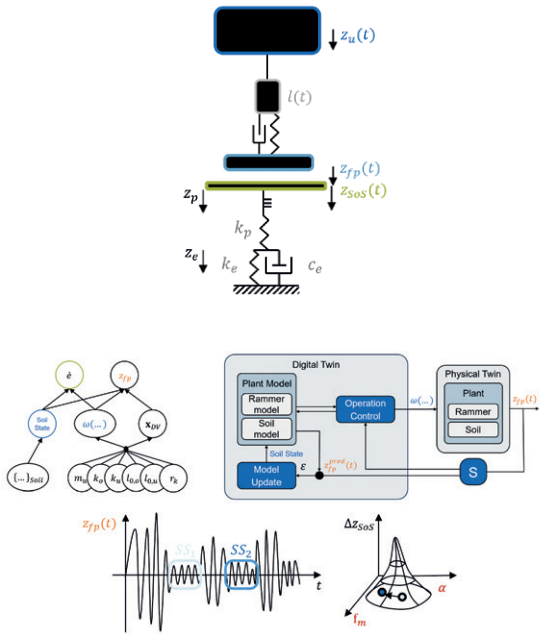


Fig. 2: Mechanical surrogate model of the system (top figure) and digital twin scheme (bottom figure)

we derived a mechanical surrogate model that captures the essential dynamics of the vibratory rammer-soil interaction across varying conditions (soil parameters). This mechanical surrogate model is a hybrid system of ODEs that switches between two characteristic operational phases (free flight and contact with the soil). To ensure reliable performance metrics, we developed a framework that identifies a steady state and derives a limit cycle, which serves as a basis for the evaluation of QoIs relevant to the operation optimization (e.g., maximizing net soil displacement). Based on the predictions of this model and the in-situ sensor readings, operational parameters are updated.

Future work includes expanding the surrogate model further and identifying the best quantity of interest for the optimization of the process.

Hochschulpraktikum Modular Robot Design

Maximilian Amm

Im Wintersemester 2024/25 wurde am Lehrstuhl erstmals das Hochschulpraktikum Modular Robot Design durchgeführt. Ziel der Lehrveranstaltung ist es, Studierenden praxisnah die Entwicklung modularer Robotersysteme näherzubringen. Im Rahmen eines Blockpraktikums erarbeiteten Studierende eigene Robotermodule, setzten diese prototypisch um und präsentierten ihre Ergebnisse. Der Kurs verbindet theoretische Grundlagen mit angewandtem Projektlernen und vermittelt dadurch sowohl fachliche als auch methodische Kompetenzen im Bereich Robotik.

Kontakt
Maximilian Amm,
M.Sc.mult.
maximilian.amm@tum.de

Weitere Informationen
<https://www.mec.ed.tum.de/lpl/studium-lehre/lehrveranstaltungen/modular-robot-design/>

Im Wintersemester 2024/25 fand am Lehrstuhl für Robotersysteme erstmals das Hochschulpraktikum Modular Robot Design statt. Das Angebot richtete sich an Studierende, die ein vertieftes Verständnis für den Entwicklungsprozess modularer Roboter erlangen möchten. Die Lehrveranstaltung war als Blockpraktikum mit einem Umfang von vier Semesterwochenstunden konzipiert und wurde vollständig in englischer Sprache durchgeführt.

Ziel des Kurses war es, Studierende sowohl mit theoretischen Konzepten als auch mit praktischen Methoden vertraut zu machen. Hierfür wurde zunächst in einführenden Fachvorträgen ein Überblick über die Grundlagen modularer Robotik vermittelt. Aufbauend darauf arbeiteten die Teilnehmenden in Teams an eigenen Projekten, in deren Rahmen sie ein Robotermodul für eine spezifische Aufgabe konzipierten, simulierten, prototypisch umsetzten und in Betrieb nahmen. Die Arbeitsschritte umfassten den vollständigen Entwicklungszyklus: von der Konzeption und Simulation über die mechanische und elektronische Umsetzung bis hin zur Funktionsprüfung und Leistungsbewertung.

Fig. 1: Abschlusspräsentation der Lehrveranstaltung



Fig. 2: Prototyp für ein Robotermodul, das seine Steifigkeit über einen Motor verändern kann

Besondere Bedeutung kam der engen Verknüpfung von Theorie und Praxis zu. Während die Fachvorträge den notwendigen theoretischen Rahmen boten, lag der Schwerpunkt des Kurses auf der eigenständigen praktischen Arbeit. Studierende mussten ihre Module nicht nur entwickeln, sondern diese auch in ein modulares Gesamtsystem integrieren und die Ergebnisse in einer Abschlusspräsentation vorstellen. Diese Herangehensweise stärkte neben den fachlichen Kenntnissen insbesondere auch Problemlösungsfähigkeit, Teamarbeit und Präsentationskompetenz.

Die erstmalige Durchführung des Praktikums verlief erfolgreich. Vier Studierendenteams präsentierten innerhalb einer Woche innovative Lösungsansätze, die von der Konzeptentwicklung bis zur prototypischen Umsetzung reichten. Damit bestätigte sich das Potenzial des Formats, den Lernenden nicht nur technisches Fachwissen, sondern auch praxisrelevante Schlüsselqualifikationen zu vermitteln. Mit dem Praktikum Modular Robot Design konnte der Lehrstuhl sein Lehrangebot im Bereich Robotik erweitern und eine praxisorientierte Ergänzung zu den bestehenden Vorlesungen schaffen.

Produkt-Transformations-Workshop

Lucien Zapfe

Zukunft gestalten mit bestehenden Ressourcen: Im Rahmen des TuWAs-Projekts bietet der LPL den Produkt-Transformations-Workshop an. Dieser richtet sich an Unternehmen aus der Automobilindustrie, die sich den aktuellen Transformationsherausforderungen stellen und gleichzeitig ihre bestehenden Produktionsanlagen und Kompetenzen optimal nutzen wollen.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Förderung
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Transformation als Chance

Die Industrie – allen voran die Automobilbranche – befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel. Mit dem Übergang von Verbrennungsmotoren zu elektrischen Antrieben sinken Produktionsvolumina und die Nachfrage nach klassischen Komponenten. Gleichzeitig entstehen neue Märkte, die andere Technologien, Materialien und Kompetenzen verlangen. Für viele Zulieferer bedeutet dies: bestehende Fertigungstechnologien und Know-how drohen ihre Relevanz zu verlieren.

Hier setzt der Produkt-Transformations-Workshop an. Ziel ist es, Unternehmen konkrete Wege aufzuzeigen, wie sie ihr Produktions- und Technologieportfolio erweitern und neue Märkte erschließen können – ohne dabei ausschließlich auf riskante Neuinvestitionen setzen zu müssen.

Strukturierter Innovationsprozess

Der Workshop basiert auf dem am LPL entwickelten Product Transformation Approach, der die Methodik des Double Diamond Frameworks auf die industrielle Produktentwicklung überträgt.

Fig. 1: Synektik-Karten genutzt für den Ideation-Prozess im Produkt Transformation Workshop



Dieser Ansatz kombiniert:

– Analysephase:
Teilnehmende untersuchen ihr bestehendes Produktportfolio, ihre Produktionsanlagen und Kompetenzen sowie externe Faktoren wie Markttrends, regulatorische Rahmenbedingungen und Wettbewerbsumfeld. Dadurch entsteht ein klares Verständnis der eigenen Ausgangslage.

– Ideation Phase:
Auf Basis dieser Analyse entwickeln Teams mithilfe von Synektics-Methoden und Kreativitätstechniken neue Produktideen. Dabei wechseln sich Technology Push (Ausgangspunkt: vorhandene Technologien) und Market Pull (Ausgangspunkt: Marktbefordernisse) ab, sodass ein breites Spektrum an Produktideen entsteht.

Ergebnisse aus der Praxis

Der Workshop wurde bereits mehrmals erfolgreich durchgeführt. Die Ergebnisse reichten von kurzfristig realisierbaren Lösungen bis hin zu langfristigen Innovationspfaden. Alle Konzepte zeichneten sich dadurch aus, dass sie bestehende Fertigungsanlagen und Kompetenzen nutzten, was Investitionsrisiken minimiert und schnelle Markteintritte ermöglicht.

Nutzen für Unternehmen

Der Produkt-Transformations-Workshop macht deutlich, dass Unternehmen trotz schrumpfender Märkte und unsicherer Rahmenbedingungen konkrete Innovationschancen erschließen können. Der Workshop ist nicht nur auf die Automobilbranche beschränkt. Der Ansatz lässt sich auch auf andere industrielle Sektoren übertragen – von Energie über Logistik bis hin zum Gesundheitswesen. Damit wird er zu einem wertvollen Werkzeug im Transformationsprozess, das Unternehmen dabei unterstützt, bestehende Stärken weiterzuentwickeln und neue Geschäftsfelder zu erschließen.

Kolloquium „Produktentwicklung und Künstliche Intelligenz“

Markus Mörtl

Am 27. Juni 2025 gab sich der Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau die Ehre, zum Ehemaligentreffen und Fest-Kolloquium „Produktentwicklung und Künstliche Intelligenz“ nach München einzuladen.



95. Geburtstag em. Prof. Dr.-Ing. Klaus Ehrlenspiel
Die Veranstaltung stand ganz im Zeichen des wissenschaftlichen Austauschs und einer besonderen Würdigung: Im März 2025 beging unser Emeritus seinen 95. Geburtstag. Dies war für uns Anlass genug, ein Jubiläums-Kolloquium im größeren Stil durchzuführen.

Im großen Festsaal des Hotel Bayerischer Hof in München fanden wir einen dem Rahmen würdigen und passenden Veranstaltungssaal. Bereits Monate vorher wurde geplant, organisiert, gebaut und gedruckt. Die Aufgaben wurden über alle Lehrstuhlmitarbeitenden verteilt, jeder trug zum Erfolg bei. Am Vormittag wurde aufgebaut und aufgestellt. Am Nachmittag konnten wir etwa 160 aktive und ehemalige Mitglieder der Vorgänger-Lehrstühle begrüßen.

Abwechslungsreiche und spannende Vorträge aus Forschung, Lehre und Praxis
Nach dem anfänglichen Networking überbrachte Prof. Karsten Stahl (FZG, TUM) in einer kleinen Laudatio für Prof. Ehrlenspiel Grußworte aus der SoED und des Department of Mechanical Engineering, der WiGeP und der TUM. Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen (IPEK, Karlsruhe) erläuterte uns in seinem Vortrag den Entwicklungsprozess eines Rasthakens –



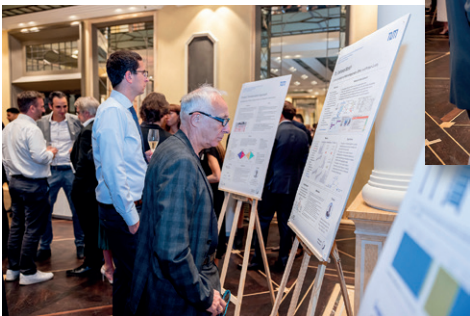
Kontakt
Dr.-Ing. Markus Mörtl
markus.moertl@tum.de

Wissen und Erfahrung, neue Probleme sowie Forschung, gepaart mit Prototypenbau. In seiner Präsentation über die Anwendung und Einsatzgebiete, aber auch die Herausforderungen, Möglichkeiten und aktuellen Grenzen von KI bei Porsche berichtete Dr.-Ing. Michael Steiner (Porsche, Weissach). Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack (FAU, Erlangen-Nürnberg) spannte in seinem Beitrag einen Bogen über verschiedene Methoden und Werkzeuge künstlicher Intelligenz, von wissensbasierten Systemen zu LLM's.

Zum Abschluss betonte Prof. Ehrlenspiel in seinem Kurzbeitrag, wie wichtig das Begegnen und der Austausch untereinander ist und wie dankbar er für das heutige Treffen ist. Er stellte intuitives, automatisches Handeln aus unbewusst gespeicherter Erfahrung den neuen Möglichkeiten von KI gegenüber: Expertensysteme von vor 40 Jahren als eine Vorstufe der KI.

Die Fotos auf diesen beiden Seiten geben nur einen begrenzten Einblick in die imposante Veranstaltung, die nicht nur ein anspruchsvolles fachliches Programm bot, sondern auch einen feierlichen Rahmen für persönliche Begegnungen und den Austausch über die Zukunft der Produktentwicklung – ganz im Sinne von em. Prof. Dr.-Ing. Klaus Ehrlenspiel, dessen Lebenswerk weiterhin viele Impulse für Forschung und Anwendung liefert.

Wir danken allen Gästen und Rednern aus Nah und Fern, die mit ihrem Kommen und ihrer Diskussionsfreude zum Gelingen dieses Tages und Abends beigetragen haben. Danke auch an alle helfenden Hände, an das Hotel Bayerischer Hof und die Musikband. Wir freuen uns, viele von den diesjährigen Teilnehmenden – und evtl. noch mehr – nächstes Jahr wieder beim Ehemaligentreffen begrüßen zu dürfen.



Fotos: Sindia Boldt – Fotoatelier Hohenkammer

Felix Endress

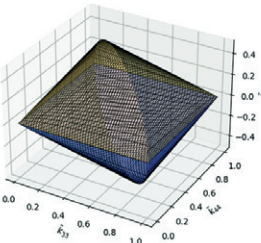
Distributed optimization with informed decomposition: extension to 3d structures with asymmetrical 2-interface elements

Funding
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Informed decomposition enables distributed systems design in two subsequent steps: system optimization, and then independent optimization of an arbitrary number of components. The systems considered here consist of linear-elastic structural elements with two interfaces. Key ingredients for system optimization are trained models that estimate the lowest possible mass and the physical feasibility of a component based on a predefined interface stiffness matrix, comprising all information about its elastic properties. These estimators are used in system optimization to produce appropriate stiffness targets for the individual detailed component optimization. The estimators are trained by sampling the space of interface stiffness matrices. Each sample point serves as a stiffness target for a coarse topology optimization run to produce training data for the estimators.

Training is difficult, as a large portion of stiffness targets obtained by random sampling are not physically feasible, i.e., a corresponding density field cannot be identified. For this reason and to reduce numerical cost, the previous approach is limited to a class of symmetric 2-interface elements.

This paper improves the training of estimators and the general applicability of the approach by first excluding sample stiffness matrices that are stiffer than the stiffest possible physically feasible design. Second, data points for training the estimators are generated not exactly at the sample interface stiffness matrices, but for those that are at least as stiff, improving numerical efficiency. Third, symmetry constraints are omitted. Fourth, the general 2-interface stiffness matrices are replaced by 1-interface stiffness matrices, thus significantly simplifying the theory. Application results are shown for a simple 3-D robot structure.

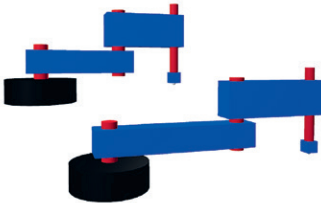
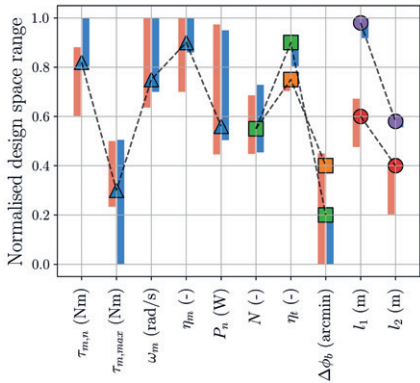


Normalized space of theoretically physically feasible designs

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

Akhil Sathuluri

Co-design optimization of a family of robots with shared components: We presented our results on product family design of multiple robot variants at the World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization that took place in Kobe, Japan, 2025. We discussed a method to reduce the combinatorial complexity of designing in the combined discrete-continuous space of robots.



The resulting solution sets and the corresponding SCARA robot family realised

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

Funding
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Partners
Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme, TUM (Prof. Dr. Birgit Vogel-Heuser)
Lehrstuhl für Maschinenelemente, TUM (Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl)

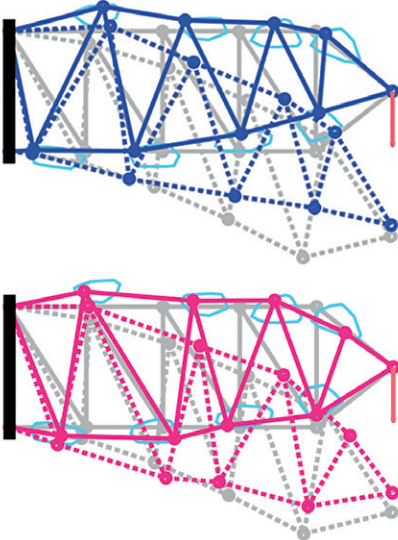
The proposed solution-space-based optimization-based approach not only improves computational efficiency but also physical feasibility and enables trade-off between different components.

Eduardo Rodrigues Della Noce

A stochastic optimization strategy to compute convex component solution spaces for generic performance functions: We presented the newly developed algorithm for computing component solution spaces, which can generate much larger admissible regions compared to previous methods. This algorithm is based on a stochastic process, where the candidate region is iteratively grown, sampled, evaluated, and then trimmed based on the evaluation results to only include good designs.

Funding
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Finding regions of feasible designs that satisfy all design objectives yields solution spaces, which can be computed in such a way that each component's variables can be selected independently. This enables parallel design. Earlier approaches either capped a component's dimensionality or worked only for narrow system classes. The newly developed algorithm presented here constructs admissible sets for components with any number of variables. Demonstrated on 2-D and 3-D trusses under tip-deflection and mass limits, it finds node position regions that match or outperform a reference design's stiffness and weight. The resulting component solution spaces are up to 880 times larger than conventional box bounds, giving far greater freedom for subsequent optimization.



Component solution spaces found for the positions of nodes of a truss, with two example trusses which are both lighter and stiffer than the reference

Contact
Eduardo Rodrigues Della Noce, M.Sc.
eduardo.noce@tum.de

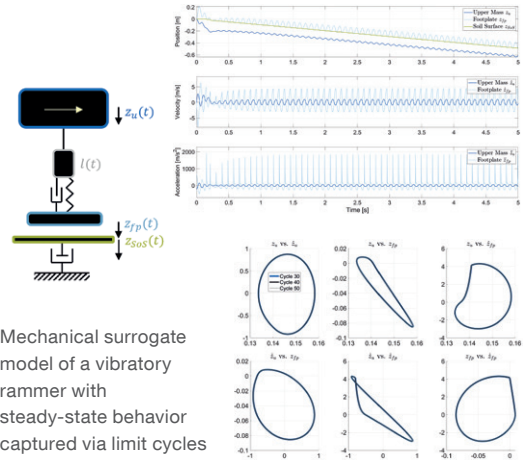
Andela Babaja

Optimization of steady-state operation using surrogate models: A vibratory rammer case study. Numerical models are powerful tools for simulating product behavior, but often prohibitively computationally expensive for use in optimization. In this study, we develop a mechanical surrogate model for human-operated vibratory rammers used in soil compaction that captures the essential dynamics of the rammer-soil system across varying soil conditions. By evaluating steady state limit cycles, the model accurately reflects the system's long-term behavior. This enables fast optimization of the process, balancing soil compaction efficiency with harmful hand-arm vibration (HAV) exposure.



© Wacker Neuson Group

Contact
Andela Babaja, M.Sc.
andela.babaja@tum.de



Funding
Bayerische Transformations- und Forschungsförderung (BFS)

Partners
Wacker Neuson
Zentrum Geotechnik, TUM (Prof. Dr.-Ing. Roberto Cudmani)

This approach lays the groundwork for future integration into a digital twin framework, supporting adaptive control and real-time optimization based on in-field sensor data.

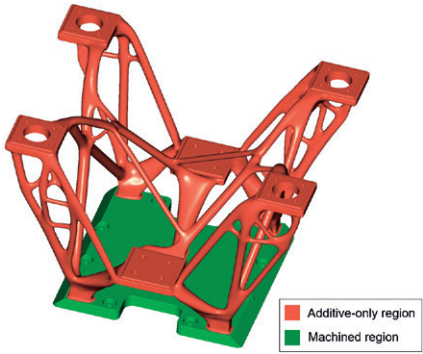
Jasper Rieser

A case study on design for hybrid additive manufacturing: Robots are an invaluable tool for automating the repetitive unloading tasks in injection molding production. For this purpose, commercially available robots are equipped with customized end effectors. While the structural design of modern industrial robots is often fairly optimized with respect to cost and mass, this rarely holds true for the end effectors. However, lowering the mass of end effectors improves dynamics, reduces energy consumption, causes less wear, and, in the best case, allows for the deployment of smaller and cheaper robots.

Funding
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Partner
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)
iwis SE & Co. KG
Stöger Automation GmbH

The paper *Topology optimization-based design of a robot end effector for hybrid additive manufacturing* presents a case study on the design and optimization of a support structure of a modular end effector for unloading an injection molding machine. To achieve a lightweight but still cost-effective end effector, a hybrid support structure with mass savings of more than 20% was developed, where additive manufacturing is used to realize optimized and complex geometries, but conventional machining is used for simple block-shaped, standardized geometries. The paper illustrates the impact of such a hybrid



Hybrid support structure of an end effector for unloading an injection molding machine

manufacturing strategy on the formulation of the topology optimization problem and discusses how a reasonable balance between simple and complex geometric features could be found by shaping of the design domain and predefining solid features. The research was conducted together with iwis SE & Co. KG as part of the research project KREATIVE.

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

Sergi Pagés i Diaz

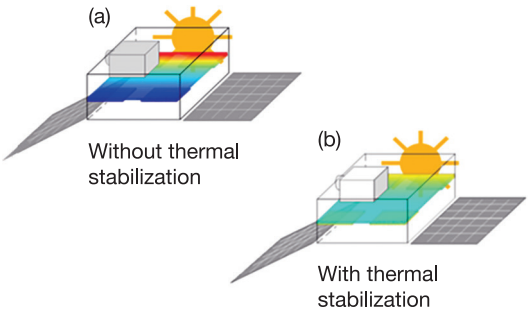
Leveraging Digital Twins for CubeSat temperature gradient control: The PLUTO project successfully utilized redundant electronic components within CubeSats to actively manage thermal conditions in space missions demanding tight temperature control. It integrated Thermal Modeling, Model-Predictive Control, and Systems Identification in a Digital Twin framework, complemented by practical hardware deployment and comprehensive testing to ensure system reliability and precision under operational constraints.

Funding
Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Partner
Engineering Minds Munich (EMM)

Further information can be found on page 6, where a detailed project closure description is provided. The project results were presented at the international conference WCSMO-16.

Contact
Sergi Pagés i Diaz, M.Sc.
sergi.pages@tum.de



Two satellites highlighting the difference in temperature distributions when thermal control is not activated (a) compared to a payload having active thermal control (b)

Tobias Wanninger

Optimizing 3d structures with two interfaces subject to constraints on the interface stiffness matrix

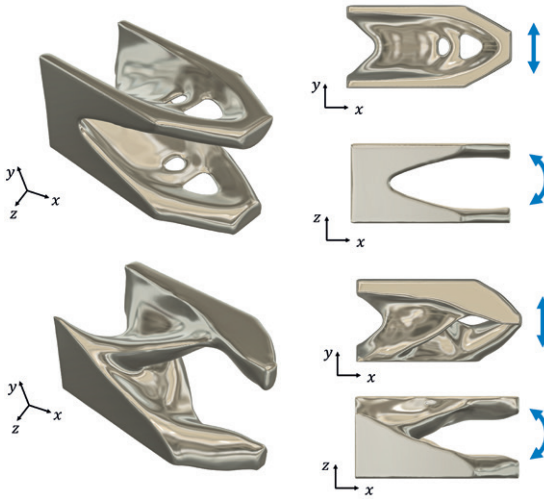
Funding
Bayerische Transformations- und Forschungstiftung (BFS)

Partner
FORAnGen

Topology optimization problems with multiple load cases and several constraints on the elastic response can be expensive. For 2-interface elements, the complexity can be reduced by replacing these constraints with constraints on the so-called interface stiffness matrix (or similarly, its inverse, the interface compliance matrix). This matrix contains all the information associated with the elastic behavior of the component. A component is sufficiently stiff if its interface stiffness matrix is larger than a limit matrix according to Loewner ordering, i.e., the smallest eigenvalue of the difference of the interface stiffness and a limit matrix is non-negative. Optimization problems with these constraints were solved for 2d components, however, with some convergence problems which are typical when using eigenvalues as objective or constraint function.

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

This work studies the performance of MMA and GCMMA, each with standard constraint



Computed results are obtained using the MK approach with limit stiffness matrices having different off-diagonal elements. Both designs realize shear and rotational stiffness, while the off-diagonal elements allow for non-symmetric designs and coupling between deformation modes.

functions and polynomials of constraint functions. For a systematic comparison, parametric optimization of a simple truss structure and topology optimization of 2d and 3d structures with two interfaces are considered.



Johannes Soika

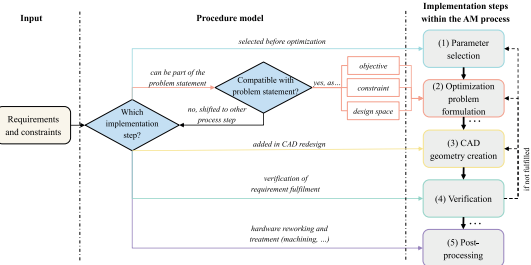
A procedure model to manage requirements for topology optimization and additive manufacturing: This paper develops a systematic procedure to incorporate requirements into the design process of topology optimized components for additive manufacturing. This approach assists engineers in identifying problem statements, particularly when dealing with conflicting requirements, and enhances transparency in how each requirement is considered in the process.

Funding

Bayerische Transformations- und
Forschungstiftung (BFS)

Partners

AUDI AG, FORAnGen



Find full article here:
<https://doi.org/10.1017/pds.2025.10037>

Contact

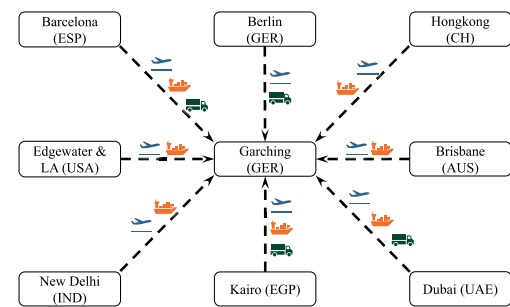
Johannes Soika, M.Sc.
johannes.soika@tum.de

In the first step, requirements are ordered in the process step in which they will be implemented. Then, the problem statement is identified.

The role of engineers is evolving from meticulous *detail designers* to strategic *definers* of objectives. At the heart of this paradigm shift lies the rise of generative design (GD) with tools as topology optimization, which combined with additive manufacturing enables the creation of complex, high-performance products. However, industrial applications often involve numerous and sophisticated requirements, making it challenging to align the design and manufacturing process to meet all demands. A particular challenge is to determine which requirements should be included in the optimization problem statement. This paper presents a procedure model to integrate requirements and constraints into the design and manufacturing process. It includes two major steps: *organizing requirements and constraints in the process* and *identifying the problem statement*. The procedure is applied to the requirements of an engine bracket of AUDI AG.

Klemens Hohnbaum

Enabling engineers to identify sustainability improvements in industrial digital printing systems using the Double Diamond model: This paper presents an adapted design framework that helps engineers uncover sustainability potentials without requiring expert knowledge. Through stakeholder surveys, collaborative workshops, and simplified assessments, the method identifies practical improvements and validates them using life cycle and circularity metrics. A case study on an industrial printer demonstrates the approach's effectiveness.



Find full article here:
<https://doi.org/10.1017/pds.2025.10216>

Contact

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

We introduce a hands-on approach to identifying sustainability improvements in product development, tailored to engineering practice. Adapting the Double Diamond model

empowers development teams to explore environmental optimizations using internal knowledge and minimal external input. A case study in industrial digital printing led to three validated measures: improving recyclability through mono-material rivets, reducing offcuts by redesigning sheet metal panels, and reusing packaging components across logistics chains. These measures were assessed using Life Cycle Assessment and recyclability metrics, confirming their ecological benefits. The approach makes sustainability more accessible to non-experts and supports early-stage decision-making. While tested in digital printing, it can be adapted to other sectors. Future improvements may include integrating standardized circularity indicators and refining the evaluation process.

Maximilian Amm

Automatic generation of product architectures with application to prototyping in mechatronics: This paper presents a method that maps project requirements onto sets of electronic modules and microcontrollers from a database, optimizes module selection and combinations using search algorithms based on graph theory, maintains electrical feasibility, and generates a bill of materials. The result is a blueprint that describes how to connect the selected modules to enable the desired functionalities.

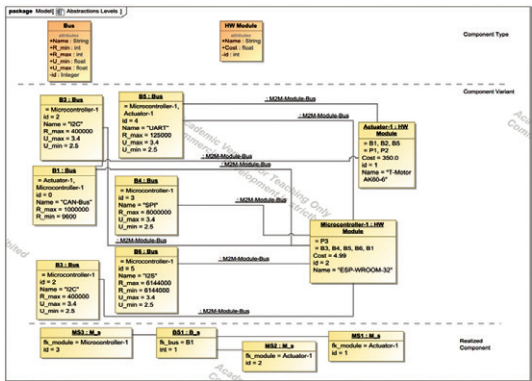
The Paper introduces a novel approach to addressing the challenges in product architecture generation in modular electronics. The approach leverages an A* search algorithm and a data-base of available modules to efficiently identify the most cost-effective combination to fulfill a specific function. The approach automates the selection of appropriate electronic modules during the prototyping phase, reducing barriers to entry for individuals lacking specialized expertise in electronics and circuit design. The method streamlines the process from initial concept to fully realized electronic modules, accelerating the development cycle for advanced mechatronic solutions. The approach allows engineers to refine designs at an individual component level, enhancing flexibility and efficiency. Overall, the paper presents a comprehensive approach to product family design in modular electronics, highlighting its benefits and limitations.

Find full article here:
<https://doi.org/10.1017/pds.2025.10082>

Contact

Maximilian Amm,
M.Sc.mult.
maximilian.amm@tum.de

Future improvements could focus on integrating more sophisticated graph search techniques and developing a system that automates data extraction and database integration.



Abstraction levels of the Problem considered modeled in UML

Lucien Zapfe

Leveraging existing production assets for new markets – A transformation approach for automotive suppliers: The automotive industry is under massive pressure: declining production volumes of internal combustion engines, the rise of battery-electric vehicles, and disruptive market dynamics put suppliers in a difficult position. Many companies operate highly specialized production assets whose future is uncertain as the combustion engine is phased out.

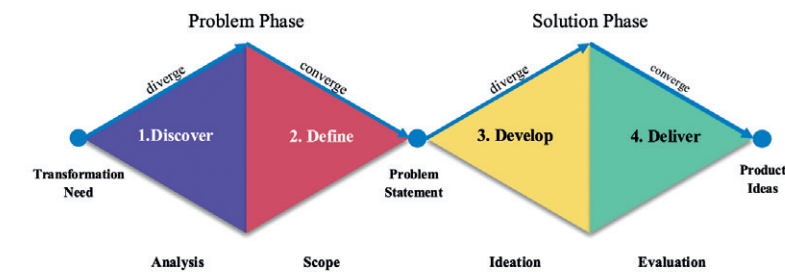
Funding

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

The developed Product Transformation Approach (PTA) builds on the Double Diamond framework. The goal is to transfer existing technologies, competencies, and production resources into new products and markets – rapidly, cost-efficiently, and with minimal investment. Following two major phases: First, within the Problem Phase the company environment, product portfolio, and production assets were analysed and to clear transformation opportunities defined; within the Solution Phase, the focus is on developing and evaluating

Find full article here:
<https://doi.org/10.1017/pds.2025.10038>

product ideas in interdisciplinary workshops. By combining both “technology push” and “market pull” ideation methods, the PTA balances existing competencies with emerging market needs. A case study with a leading exhaust system manufacturer demonstrates the method in practice. In a five-hour workshop involving 15 experts, more than 400 ideas were generated and systematically refined into 15 viable concepts. These ranged from short-term realizable solutions such as industrial filter and pipe systems to long-term developments like automated guided vehicles or second-life



Contact

Lucien Zapfe, M.Sc.
lucien.zapfe@tum.de

The four phases of the Product Transformation Approach based on the double diamond design approach

battery systems. All selected concepts shared one key characteristic: they made use of existing production assets, ensuring low investment costs and accelerated time-to-market.

The study highlights how a structured and method-driven ideation process not only sparks creativity but also delivers actionable strategies for suppliers under transformation pressure. In the long run, the PTA could become a valuable tool to strengthen resilience and open up new markets.

LPL Off Campus

Summer School on Engineering Design Research 2025

Lucien Zapfe

Two inspiring weeks of design research: The Summer School on Engineering Design Research (SSEDR'25) brought together PhD students and leading scholars for two intensive weeks in Lecco, Italy, and Aveiro, Portugal. The program offered a rich combination of lectures, discussions, and group work focused on advancing design science.



Participants of the Summer School on Engineering Design Research (SSEDR'25) during the sessions in Lecco, Italy

The first week in Lecco introduced the fundamentals of Design Research Methodology (DRM). Participants explored how to clarify research aims, identify gaps, and define precise questions and success criteria. These sessions strengthened methodological foundation and supported the structured development of individual research projects.

Contact

Lucien Zapfe, M.Sc.
lucien.zapfe@tum.de

The second week in Aveiro emphasized application and reflection. Exercises on reference

and impact models helped participants capture current challenges and envision improvements. The Areas of Relevance and Contribution framework further guided participants in positioning research within broader scientific contexts. Feedback from lecturers and peers inspired valuable debates and new perspectives.

Beyond the formal program, SSEDR fostered an open spirit of collaboration. Informal exchanges across diverse research backgrounds were as enriching as the academic content and opened the door to future collaborations. With the guidance of Professors Lucienne Blessing (Competency Edge), Daniela Pigosso (Technical University of Denmark), and Gaetano Cascini (Politecnico di Milano), SSEDR 2025 proved to be both academically rigorous and personally rewarding. It equipped participants with new tools, clearer direction, and a strong international network within the Design community.

LPL Off Campus

DTU Summer School 2025: Topology Optimization at Its Best

Johannes Soika, Sergi Pagés i Diaz

From June 11 to 18, the Technical University of Denmark (DTU) hosted an inspiring international summer school on topology optimization. Organized by the renowned research team led by Professor Ole Sigmund, the event brought together students, researchers, and professionals from around the world to focus on one of the most cutting-edge areas of engineering design. The week at DTU offered a perfect of foundational theory, current research insights, and hands-on experience – an unforgettable opportunity to learn, connect, and innovate.

Contact

Sergi Pagés i Diaz, M.Sc.
sergi.pages@tum.de
Johannes Soika, M.Sc.
johannes.soika@tum.de

The DTU Summer School 2025 on topology optimization took place at the DTU Lyngby campus, north of Copenhagen. Over five days, participants engaged in a program combining theoretical lectures with practical applications. Each morning featured sessions with leading experts, including Professor Ole Sigmund, who covered both classical concepts, such as SIMP methods, and recent breakthroughs in multiphysics, material design, and robust optimization.

In the afternoons, theory turned into action through practical exercises and project-based tasks involving advanced simulations and custom-developed tools. One of the highlights was the poster session, where participants presented their research and discussed new ideas. DTU Summer School concluded with final presentations, showcasing strong technical results and the participants' creativity.

Overall, we left Denmark inspired. The technical insights and practical tips will guide our daily work.

DTU Topology optimization



Fig. 1: Applications of topology optimization: from single parts to complex systems and large-scale structures. © DTU

Equally valuable were the networking opportunities and the connections made with researchers in this dynamic field.

Fig. 2: The DTU Summer School 2025 batch, consisting of 54 students and PhD candidates from all over the world



Prototypen, Pitches, Perspektiven – zehn Jahre Think.Make.Start.

Klemens Hohnbaum

Seit 2015 bringt Think.Make.Start. (TMS) TUM-Studierende in nur zwei Wochen vom Problem zum Prototyp – interdisziplinär, entrepreneurial und immer hands-on. Das Format wird jedes Semester angeboten und ist in fast alle Masterstudiengänge der TUM eingebunden. Der Höhepunkt eines jeden Batches ist der Demo Day, bei dem hochschulöffentlich die Prototypen vorgestellt werden. Und auch aus dem TUM-Gründungsökosystem ist TMS nicht mehr wegzudenken, mit statistisch gesehen einer Ausgründung pro Semester ist TMS auch hier ein führendes Angebot für Studierende, die „mehr“ wollen.



Fig. 1: Ein motiviertes Team ist die Basis für außergewöhnliche Performance.

TMS ist ein zweiwöchiger, projektbasierter Kurs, in dem Teams reale Probleme adressieren, Nutzer und Nutzerinnen befragen, Ideen testen und funktionierende Prototypen bauen; am Ende steht der Demo Day mit Pitches vor Peers, Forschenden, Industrie und Investoren und Investorinnen. Die Mischung aus intensiver Teamarbeit, engem Coaching und der Werkstatt-Infrastruktur des MakerSpace macht das Format zu einem Katalysator für anwendungsnahe Innovation an der TUM. Seit 2015 nahmen über 200 Teams mit über 2.000 Prototypen teil – eine Größenordnung, die den Output und die Sichtbarkeit des Formats gut illustriert. Wer nach TMS weiter an Produkt und Team arbeiten will, findet im Münchner Ökosystem kurze Wege: TUM ForTe, TUM Incubator sowie Unternehmer-TUM und die TUM Venture Labs unterstützen von der Validierung bis zur Finanzierung.

Was TMS im Alltag ausmacht, ist die Dichte: vierzehn Tage im Blockformat, in denen Interviews geführt, Hypothesen geschärft und Ideen in echte Hardware oder lauffähige Software übersetzt werden. Teams strukturieren sich entlang klarer Verantwortlichkeiten: Problem-, Tech- und Business-Experten und -Expertinnen bündeln

Problemverständnis, Prototyping-Können und Nutzer-/Marktperspektive. Diese Rollen beschleunigen Entscheidungen, machen Lernziele transparent und erzeugen genau die Reibung, aus der oft die besseren Lösungen entstehen. Dass man im MakerSpace nicht nur über Ideen spricht, sondern sie tatsächlich baut, prägt die Kultur des Kurses: zeigen statt erzählen, scheitern dürfen, Erkenntnisse sofort in den nächsten Prototypen gießen.

Seit 2022 sind aus dem TMS-Umfeld 28 Ausgründungen hervorgegangen – vier davon entstanden direkt während TMS. Damit schafft mehr als jedes zehnte Team den Sprung in die Gründungsförderung! Diese Quote unterstreicht eindrucksvoll die Rolle des Kurses als Sprungbrett in Richtung Gründung.



Fig. 2: Die kritische Jury diskutiert Prototypen während der Mid-Terms.

Wie dieser Übergang konkret aussehen kann, zeigen zwei aktuelle Beispiele. Beautechful entstand 2023 in TMS und verwandelt Kosmetik-Stores in Mikro-Fabriken: Die „Foundation Station“ scannt den Hautton und mischt vor Ort eine passgenaue Foundation – in etwa einer Minute. Nach dem Sieg im TMS-Wettbewerb ging es in den TUM Incubator; die Weiterentwicklung lief unter anderem im MakerSpace Garching. MediOwl entwickelte im Kurs den ersten Prototyp „InflammAid“, gewann den Think-Award und

Fig. 3: Prototyping und Basteln im MakerSpace



arbeitet heute an Lösungen zur Überwachung chronischer Entzündungen – ein gutes Beispiel dafür, wie in zwei Wochen ein technisch funktionsfähiger Prototyp (minimum viable product, „MVP“) entsteht, der anschließend wachsen kann. Aus dem weiteren Alumni-Umfeld zeigt abaut (Digitalisierung für Bau- und Rohstoffbranche) die Skalierungskraft solcher Projekte: Das Unternehmen schloss im Sommer 2025 eine Finanzierung über 3,2 Mio. € ab – ein ermutigendes Signal für B2B-Cases aus unserem Umfeld.

Die internen Daten spiegeln dabei nicht nur einzelne Leuchttürme, sondern Breite. Zu den von TMS-Teilnehmenden gegründeten Startups zählen neben den bereits genannten auch Savonic, Sensei, Bumpee, KraphX, Traceback.ai, TrackLife, The Visual Travelguide, sam Robotics, CO-log, CONIC, JoinIn, NaMo Tec, Nexwise, Perian, Planshader, Scentum, Stella und weitere. Dass nicht alle dieser Firmen unmittelbar aus einem TMS-Projekt hervorgegangen sind, ist Teil des Bildes: Oft liefern Kurs-Erfahrung, Netzwerk und Validierungs-Know-how das Fundament, auf dem später – manchmal mit neuem Team, manchmal in einem anderen Thema – eine Gründung entsteht.

Warum TMS bei den Studierenden zieht, lässt sich an drei Punkten festmachen. Erstens Tempo und Ownership: Der direkte Problembezug, kurze Testzyklen und sichtbarer Fortschritt sorgen für eine Lernkurve, die man sonst selten in so kurzer Zeit erlebt; das unmittelbare Feedback am Demo Day macht Leistungen greifbar und motiviert zu den nächsten Schritten. Zweitens Interdisziplinarität und Infrastruktur: Engineering, Business und Design arbeiten von Beginn an zusammen – mit einem Budget und mit Zugriff auf Maschinen, Elektronik und Werkzeuge, sodass aus Skizzen Prototypen werden. Drittens der kurze Pfad in die Gründung: Nach TMS führt der Weg oft direkt zur Gründungsberatung, in den Incubator oder in eines der Venture Labs – eine Anschlussfähigkeit, die bis zu EXIST-

Fig. 4: Es wird ernst: Pitch und Demonstration eines Prototypen (rechtes Bild)

THINK. MAKE. START.

Anträgen, Pilotprojekten und Seed-Runden reicht und im Alltag tatsächlich genutzt wird.

Zur Geschichte gehört, dass TMS sich inhaltlich mit den Themen der Zeit weiterentwickelt hat. Wo zu Beginn vor allem Hardware-Prototypen dominierten, sind heute viele Projekte an der Schnittstelle von Hard- und Software, KI-gestützter Entwicklung und Nachhaltigkeit angesiedelt. Die Didaktik bleibt gleich: von der Problemexploration über die Zuspitzung bis zur Validierung am Nutzer und zur Präsentation auf der Bühne. Ergänzt wird das Ganze durch Mentoren und Mentorinnen aus Forschung und Industrie, die punktgenau da unterstützen, wo es für den nächsten technischen oder konzeptionellen Schritt nötig ist.

Nicht zu unterschätzen sind die Nebeneffekte, die in keiner Statistik auftauchen: Teams gewinnen Sicherheit im Umgang mit Unsicherheit, lernen klare Kommunikation unter Zeitdruck, bauen ein belastbares Netzwerk auf und erleben, dass Qualität und Geschwindigkeit keine Gegensätze sein müssen, wenn Entscheidungen daten- und nutzungsbasiert getroffen werden. Viele Projekte enden bewusst als „gute Experimente“ – mit klar dokumentiertem Lerngewinn –, einige werden zu Lehrstuhl-Kooperationen oder Abschlussarbeiten, andere schlagen die Brücke in die Gründungsförderung.

Mit dem Durchlauf im September 2025 setzte TMS den Schwerpunkt weiter auf anwendungsnahe Prototypen und gründungsfähige MVPs. Für uns am Lehrstuhl heißt das: weiterhin gute Problemstellungen einspeisen, Mentoren und Mentorinnen aktivieren und die Brücke in die Gründung früh schlagen. Wer TMS kennt, weiß: Die zwei Wochen sind nur der Anfang; entscheidend ist, was danach möglich wird – und genau dafür zeigen unsere Zahlen seit zehn Jahren in eine klare Richtung.



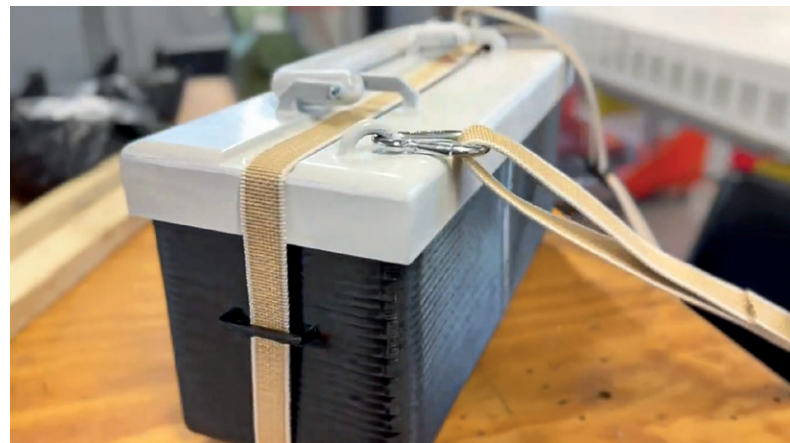
Think.Make.Start. (TMS) – Gewinner von Batch #20

Klemens Hohnbaum

Zu Beginn des Sommersemesters 2025 fand erneut das bewährte Innovationsformat THINK.MAKE.START. (TMS) statt. 53 Studierende aller Fakultäten der Technischen Universität München nahmen in insgesamt 11 Teams daran teil.

**THINK.
MAKE.
START.**

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



Demonstration
finaler Prototypen
der ausgezeichneten
Teams aus Batch #20
Quelle: TMS Archiv

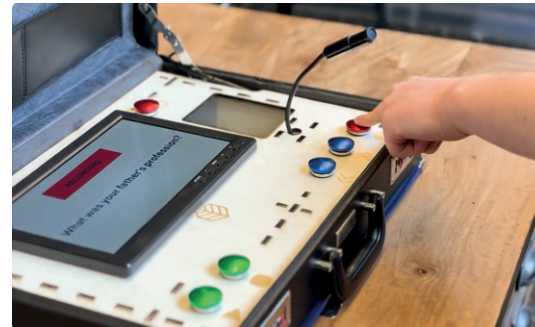

ZEIDLER
FORSCHUNGS-
STIFTUNG

HighFive erhielt vom Publikum den THINK.-Award für die beste Idee. Das Team präsentierte mit MEDcooler ein stromunabhängiges Kühlsystem für medizinische Produkte. Es soll Medikamente zuverlässig unter 25 °C halten, vor allem in abgelegenen Regionen. MEDcooler ist langlebig, transportfreundlich und günstiger als bestehende Lösungen. Besonders geeignet ist es für Länder, wo hohe Temperaturen und instabile Stromnetze die Kühlkette gefährden, wie Nigeria.

Das Team Zeitlose Zeilen stellte mit dem Erzählomat einen retro-inspirierten, KI-gestützten Koffer vor, der ältere Menschen spielerisch dazu ermutigt, ihre Lebensgeschichte zu erzählen. Durch einfache Bedienung werden die Erinnerungen der Großeltern angeregt, strukturiert und in eine teilbare Biografie verwandelt. Alles wird datenschutzkonform und vollständig offline verarbeitet. Die Jury zeigte sich begeistert und verlieh dem Team den MAKE.-Award für den besten Prototyp.

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

Weitere Informationen
<https://www.tms.tum.de/>



Den START.-Award für das größte Geschäftspotential erhielt schließlich das Team POWERGRIP mit ihrer Lösung LiftOps. Die mechanische Unterstützung für Bodenpersonal im Flughafenbetrieb hilft beim Heben von Gepäckstücken und reduziert dadurch physische Belastungen, Ausfälle und Verzögerungen bei der Flugzeugabfertigung. Damit adressiert POWERGRIP ein zentrales Problem der Luftfahrtbranche und trägt zur Effizienzsteigerung in der Gepäcklogistik bei.



Wir danken allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern für eine gelungene und reibungslose Veranstaltung, sowie unseren Partnern 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.

Neu am LPL



**Nils Janßen,
M.Sc.**

Nils Janßen studierte Luft- und Raumfahrttechnik im Bachelor und Master an der Universität Stuttgart. Seine fachlichen Schwerpunkte lagen in den Bereichen numerische Simulation und mathematisch / physikalische Modellbildung. In seiner Masterarbeit bei Airbus Defence and Space entwickelte er ein Machine-Learning-Modell zur Vorhersage von Fluglärm, basierend auf numerisch simulierten und experimentellen Strömungsdaten. Praktische Industrienerfahrung sammelte er außerdem in Praktika und Werkstudententätigkeiten unter anderem bei der Robert Bosch GmbH im Bereich Projektmanagement.

Seit August arbeitet Nils im Projekt MeViPeP am LPL. Das Projekt befasst sich mit Bewertungsmethoden und Metriken zum Monitoring und strategischen Ausbau des Virtualisierungsgrades eines PKW-Entwicklungsprozesses in Kooperation mit der Audi AG.

Neuerscheinungen des Lehrstuhls

Duo Xu

Vibration and noise reduction using solution spaces

This dissertation proposes a quantitative approach to decompose the development of a vibrating system into the development of various components. Requirements for component development are derived and formulated as solution spaces. This approach simplifies the development process and enhances its efficiency. The effectiveness of the proposed approach is validated by practical application examples.

München: TUM, Diss. 2024

Yunzhe Zhang

An approach for automatic design variation and assessment of technical and economic performance

Designing components that meet demanding multi-criteria technical requirements is critical. Typically, the focus is on technical specifications, with economic factors often being overlooked. An approach integrates DoE, CAD, FEA, and cost calculations, to assess designs for both technical and economic aspects, aiming for cost-effective designs with sufficient technical performance. This approach is exemplified by the design of a target wheel for a high-power X-ray source and a rubber mount.

München: TUM, Diss. 2025.

Weitere ausgewählte Veröffentlichungen

Schröder, Sathuluri, Hohnbaum, Mörtl, Zimmermann (2025): **Towards Sustainability Modelling with Attribute Dependency Graphs – A Case Study on Industrial Robots**. In: Proceedings of the 27th International DSM Conference, Hoboken, USA.

Oberneder, Hujo-Lauer, Ji, Sathuluri, Otto, Vogel-Heuser, Zimmermann, Stahl (2025): **LEITFADEN-DSL4RAS**.

Ravichandran, Winter, Dimroth, Bartzsch, Kraus, Zimmermann (2025): **Design and Validation Strategy for an X-Ray Target Subject to Ultra High Heat Flux Loading**. In: Journal of Thermal Science and Engineering Applications.

Sathuluri, Sartore, Daffarra, Traversaro, Zimmermann, Pucci (2025): **Maximising Tolerance to Disturbances via Combined Control-Actuation Optimisation for Robust Humanoid Robot Walking**. In: IEEE Robotics and Automation Letters.

Della Noce, Zimmermann (2025): **Stochastic optimization of convex component solution spaces for arbitrary performance functions**. In: Structural and Multidisciplinary Optimization.

Barthelmes, Sicklinger, Zimmermann (2025): **Product family optimization with solution-compensation spaces**. In: Engineering Optimization.

Veranstaltungen



26. November 2025

Münchner Leichtbauseminar

Garching b. München

<https://www.mec.ed.tum.de/lpl/lehstuhl/veranstaltungen/>



18. – 21. Mai 2026

19th International Design Conference

Cavtat, Kroatien

<https://designconference.org/>

Impressum

Die  LPLnews 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