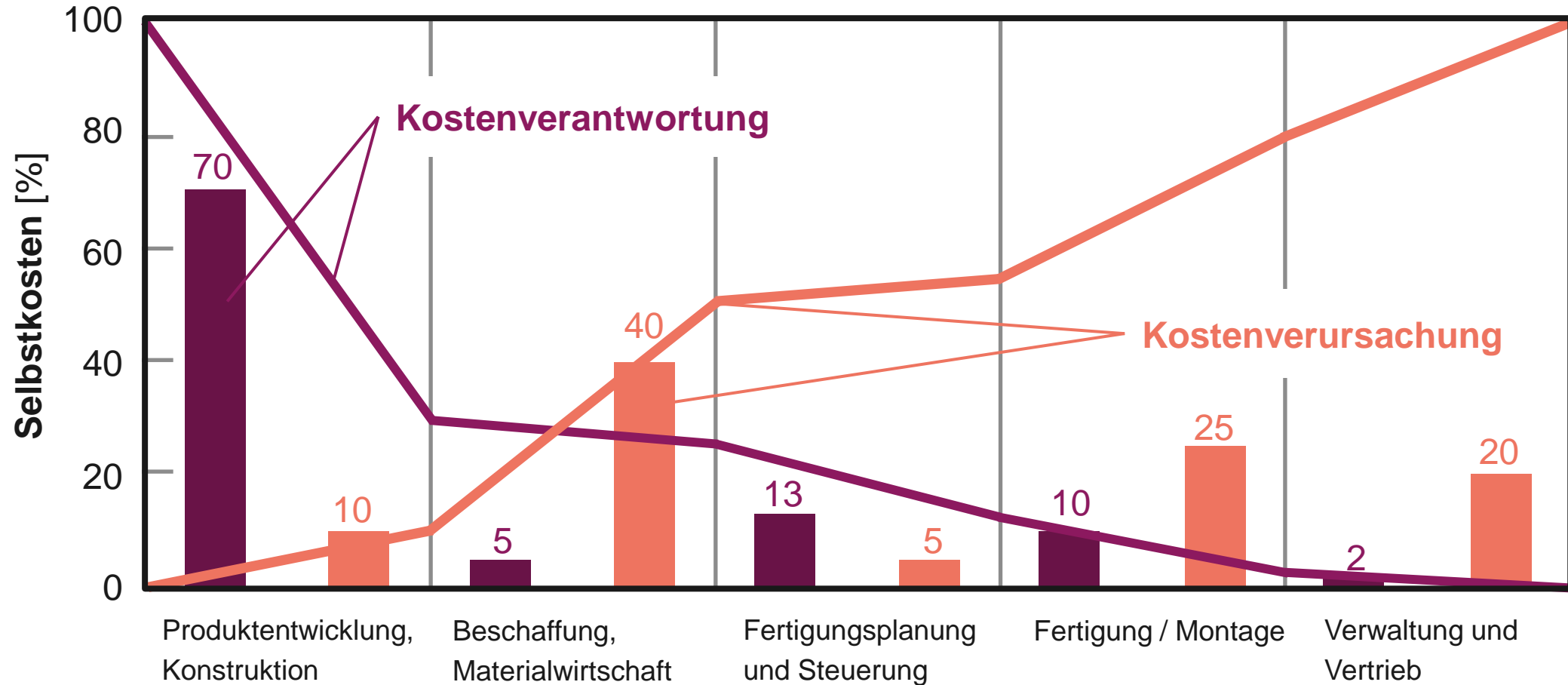
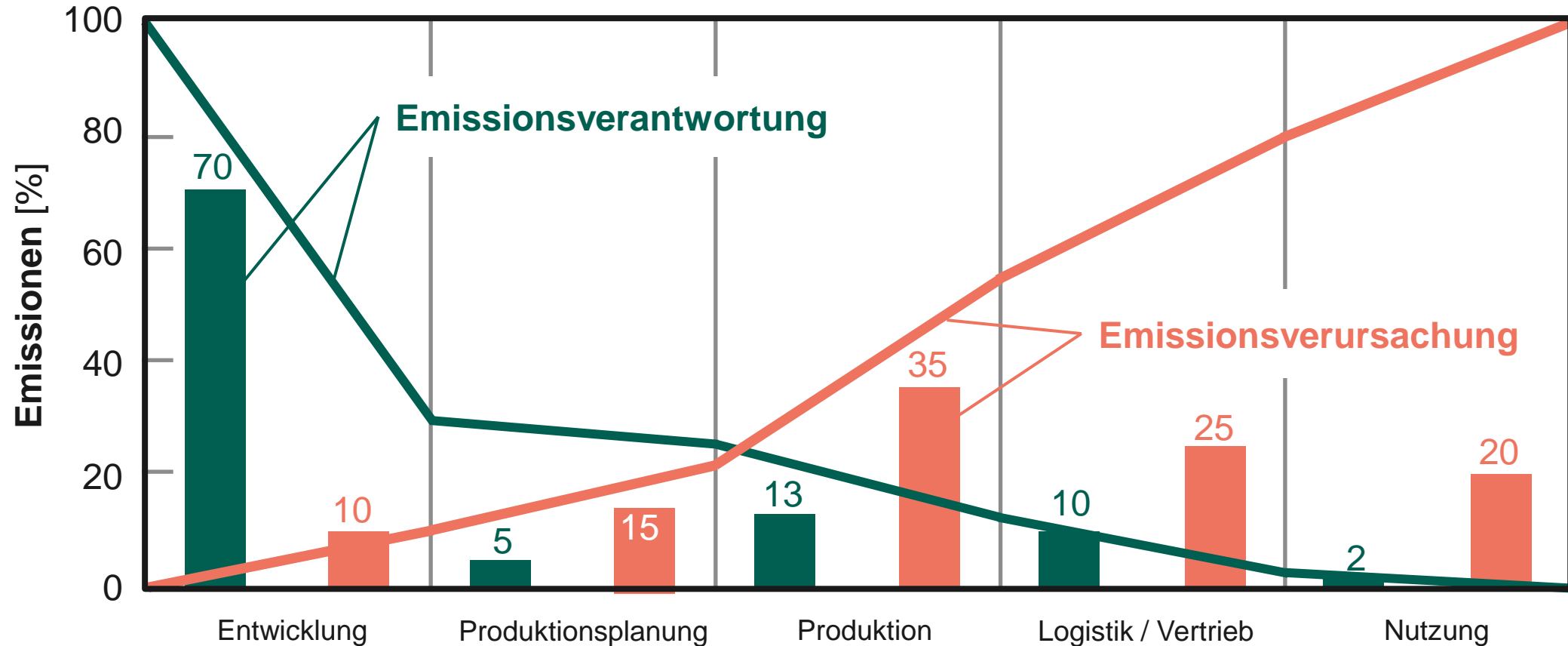


Verantwortung vs. Verursachung – Kosten



Quelle: VDI2234

Verantwortung vs. Verursachung – Emissionen





OST

Ostschweizer
Fachhochschule

Simulation driven Design for Sustainability

Seminar INOS – Kunststoffrecycling in der Industrie

Prof. Dr.-Ing. Mario Studer | 12. März 2024



INSTITUT FÜR WERKSTOFFTECHNIK
UND KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Kennzahlen des IWK



**Prof. Dr.
Frank Ehrig**
Institutsleiter



Gründung 2005



53 Mitarbeitende



9 Fachbereiche

Fachkompetenzen am IWK: Von der Idee bis zum fertigen Produkt

Kunststoffverarbeitung



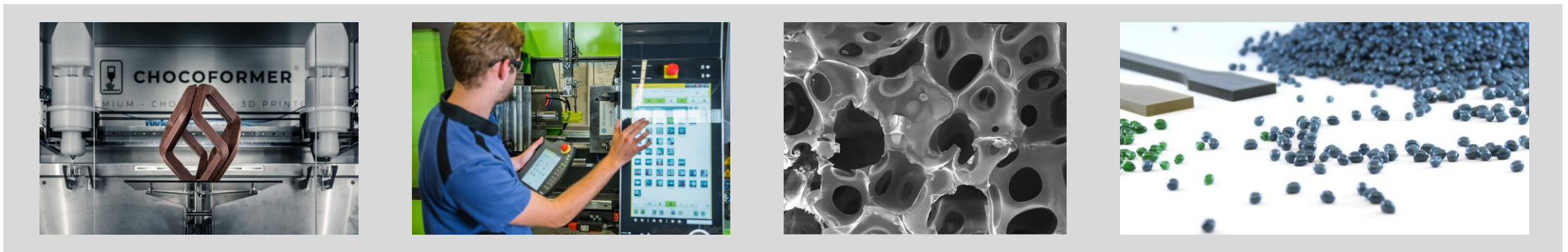
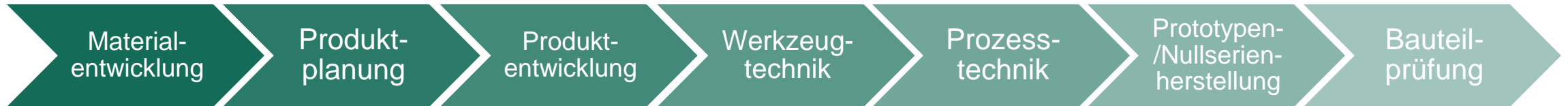
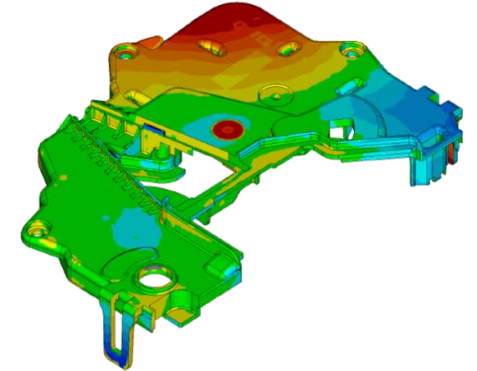
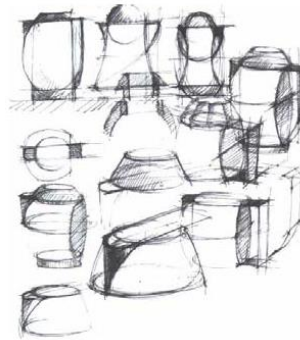
Querschnittsthemen



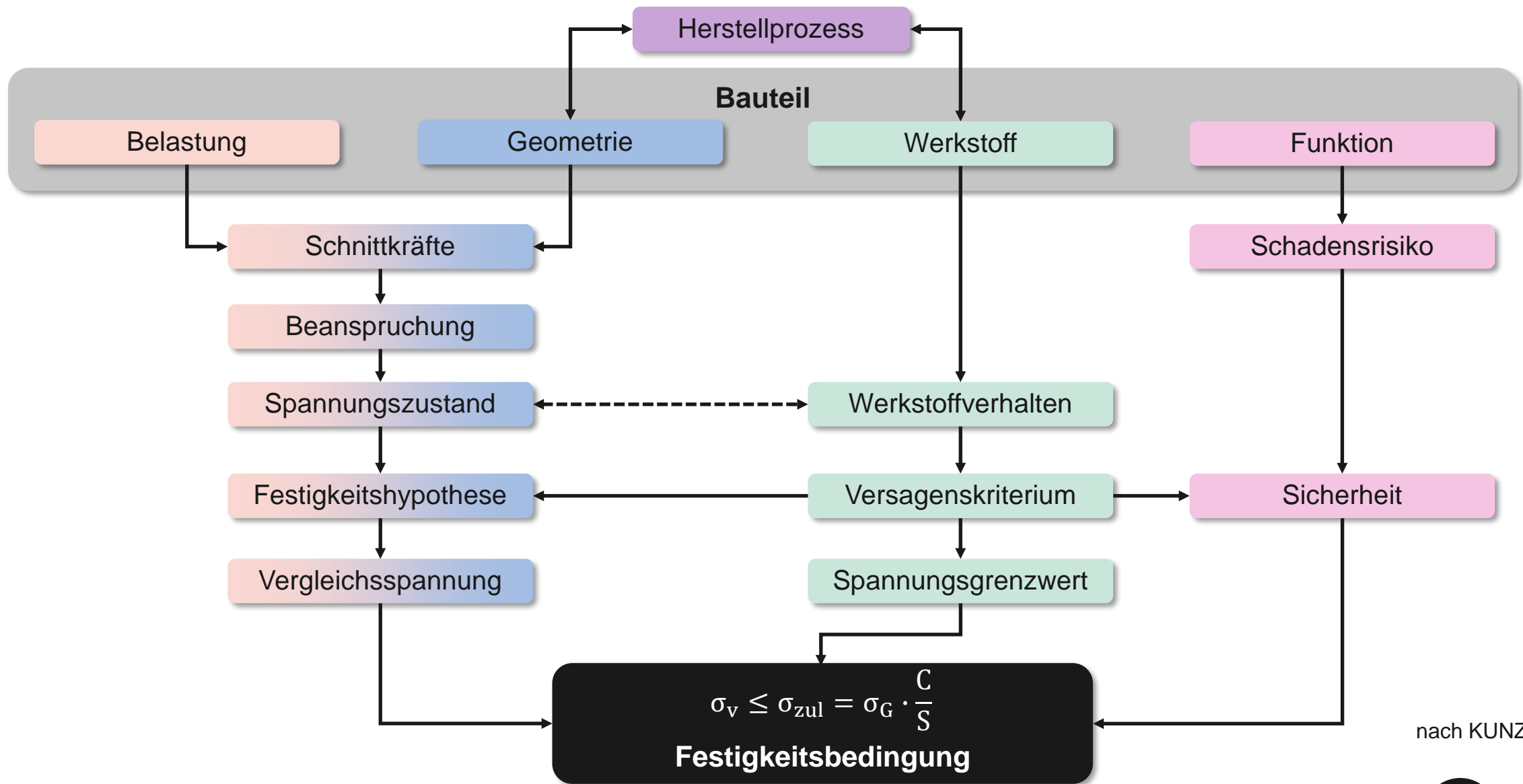
Metallbearbeitung



Fachkompetenzen am IWK: Von der Idee bis zum fertigen Produkt



Dimensionierung von Kunststoffbauteilen



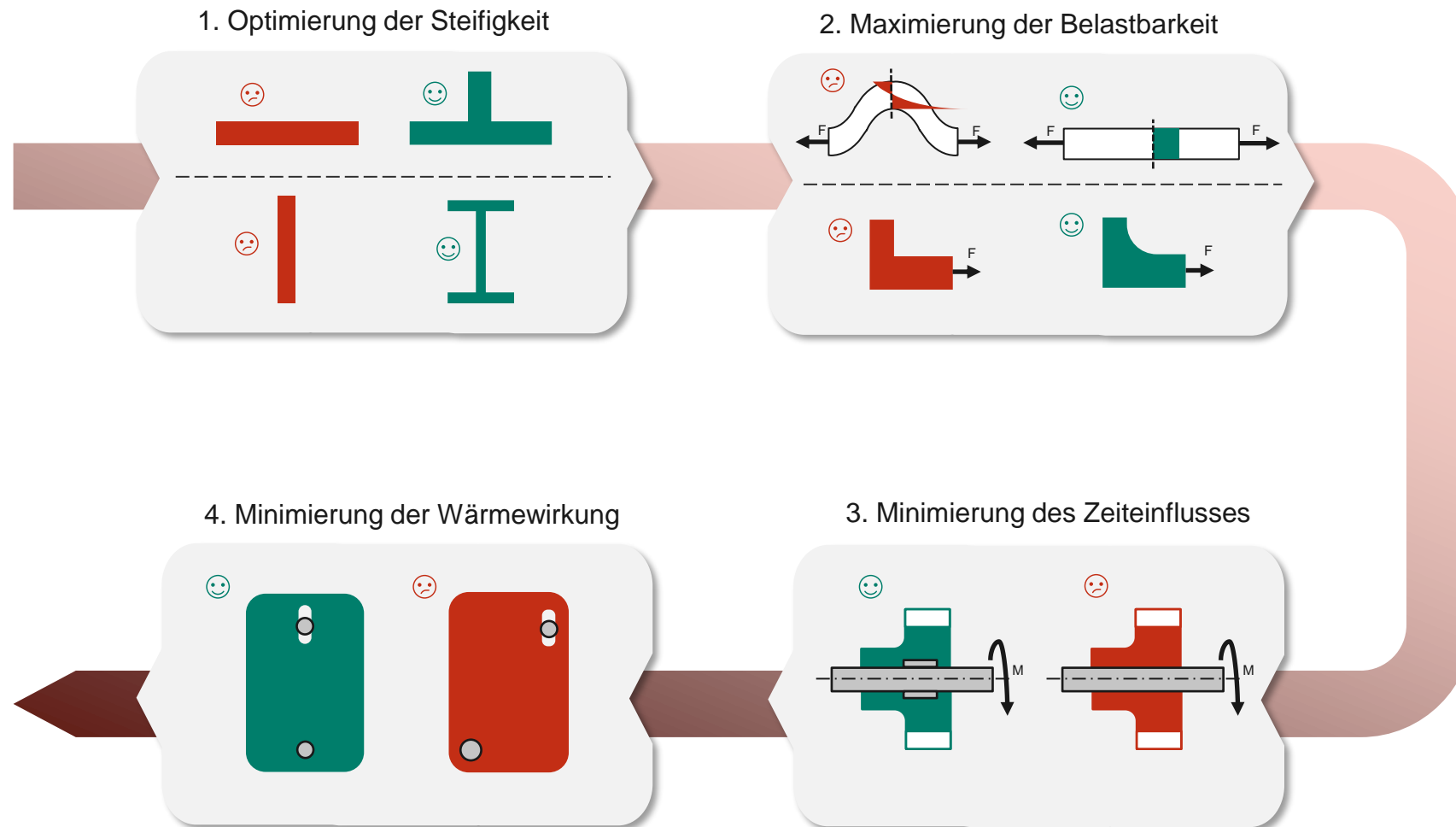
nach KUNZ

Herausforderungen bei der Dimensionierung

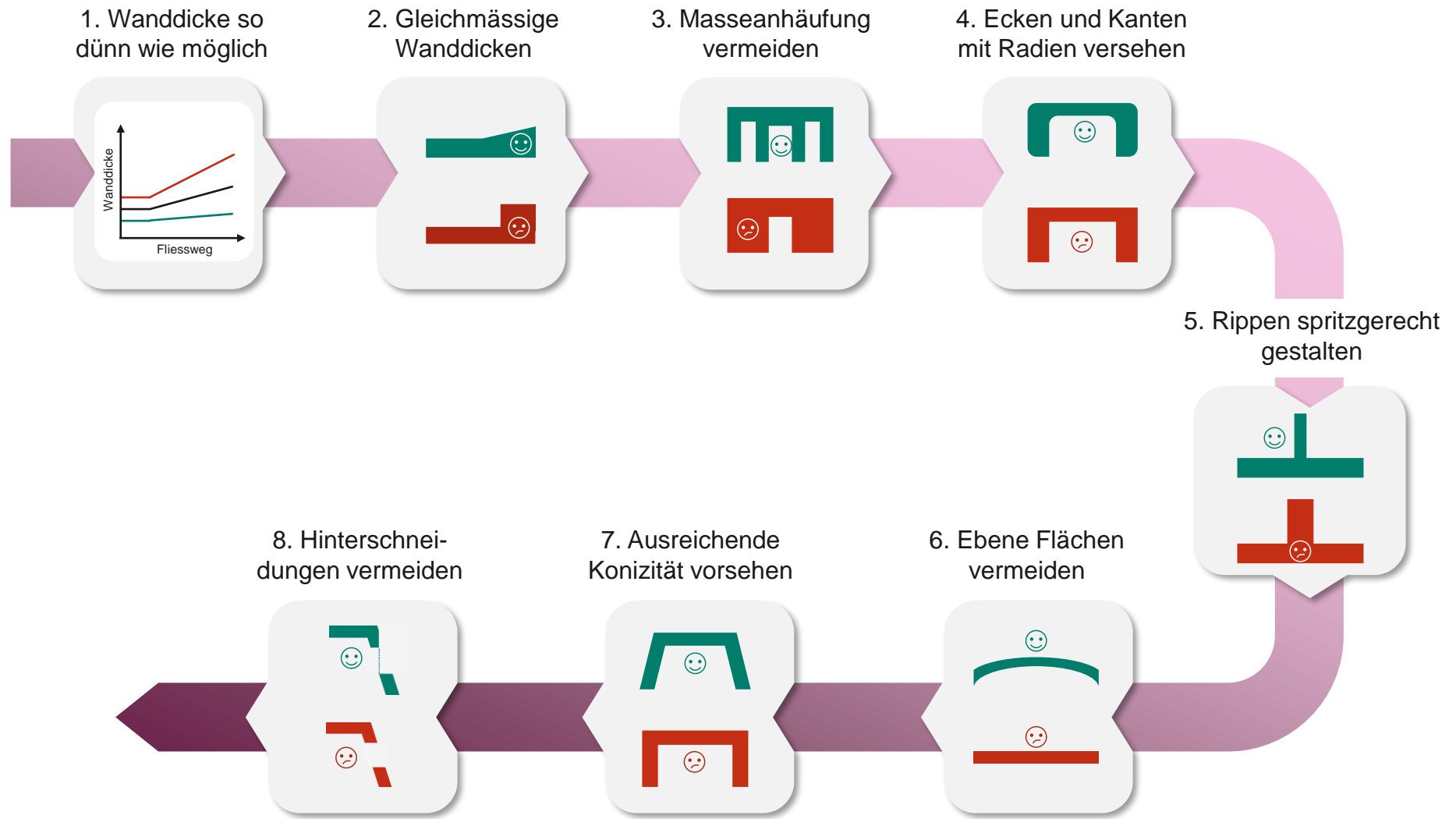
	Herstellprozess	Geometrie	Werkstoff	Bauteil
Herstellprozess		Verzug Trenn- / Binde-naht Designfreiheit	Molekularer Abbau Orientierungen Kristallisationsgrad	Kosten Nachhaltigkeit Verfügbarkeit
Geometrie	Füllverhalten Abkühlverhalten		Orientierungen Kristallisationsgrad Scherinduzierter Abbau	Funktion / Lebensdauer Werkstoffbedarf
Werkstoff	Randbedingungen Fließfähigkeit Vorbereitungsarbeiten	Kerbempfindlichkeit Schwindungspotential		Funktion / Lebensdauer Kosten Nachhaltigkeit
Bauteil	Verfahrenswahl Fachzahl	Geometrie-anordnung Funktionsmasse	Anforderungsprofil Verarbeitungsmenge	

- Komplexe Zusammenhänge mit starken Wechselwirkungen
- Multivariater Optimierungsprozess

1. Ansatz: Beanspruchungsgerechte Gestaltung

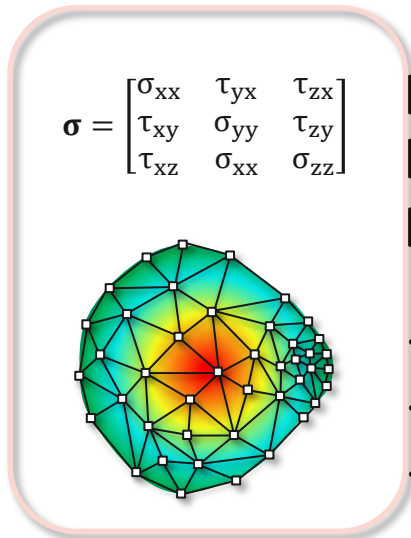


2. Ansatz: Prozessgerechte Gestaltung



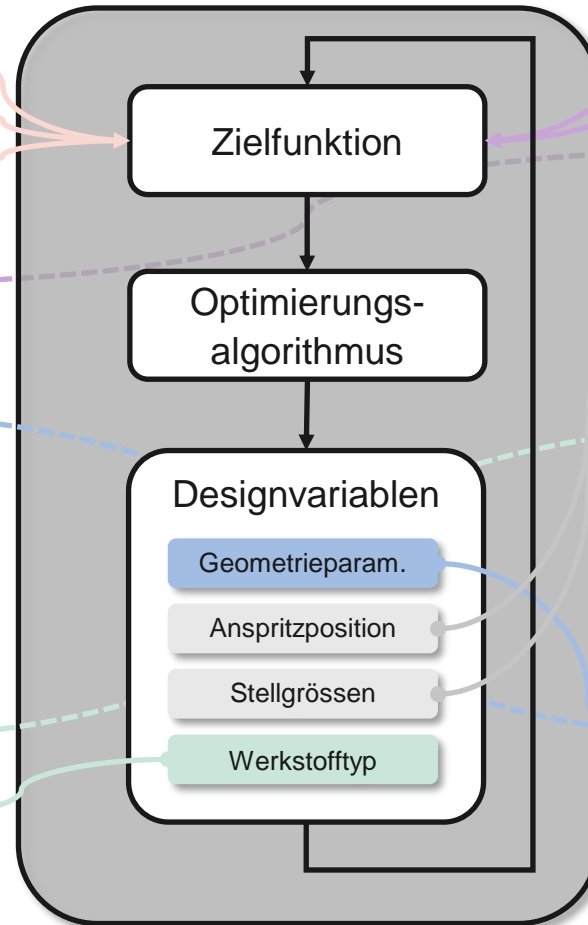
3. Ansatz: Simulationsgetriebene Dimensionierung

Struktursimulation



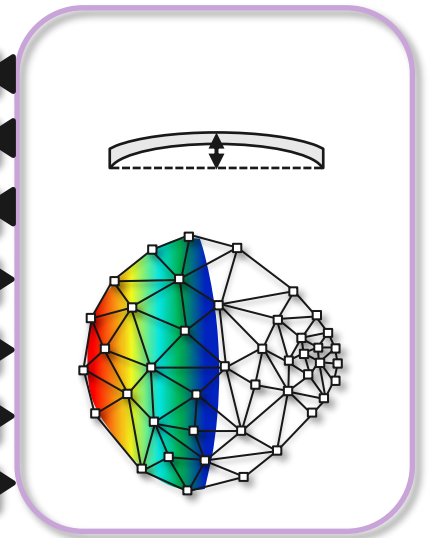
- ▶ Beanspruchung
- ▶ Auslastungsgrad
- ▶ Deformation
- ◀ Orientierung
- ◀ Werkstoffmodell
- ◀ Geometriemodell

Optimierungsroutine

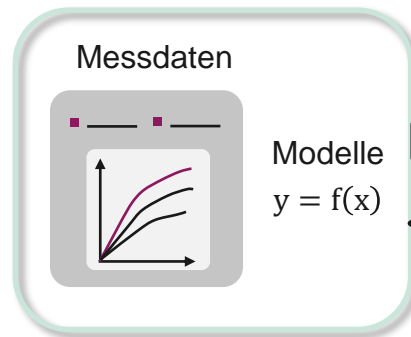


Prozesssimulation

- ◀ Fülldruck
- ◀ Verzug
- ◀ Orientierung
- ▶ Anspritzposition
- ▶ Stellgrößen
- ▶ Geometriemodell
- ▶ Werkstoffmodell



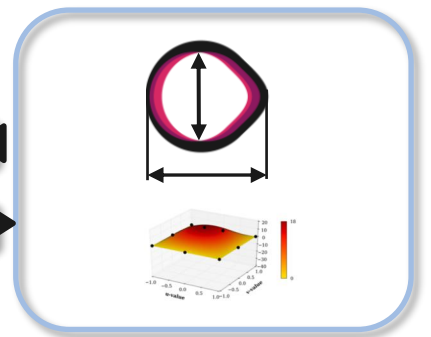
Werkstoffdaten



- ▶ Werkstoffmodell
- ◀ Werkstofftyp

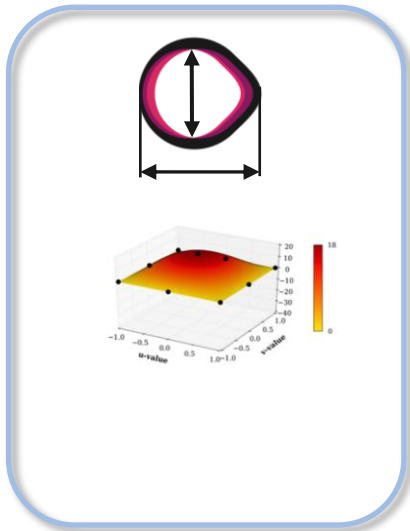
Geometriemanipulation

- ◀ Geometriemodell
- ▶ Geometrieparam



3. Ansatz: Simulationsgetriebene Dimensionierung

Geometrie-manipulation



Anforderungen

- Automatische Variation der Geometrie mit möglichst wenigen Parametern
- Berücksichtigung von spezifischen Variationsgrenzen [min...max]
- Bereitstellung der Geometrie in einem von den Simulationsprogrammen lesbaren Format

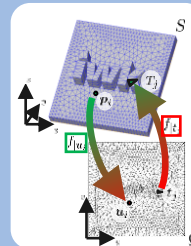
Mögliche Realisierungsansätze

Direct Modeling



- Einfache parametrierbare Geometrievierungen via Direkt-Modelling
- Mögliche Wahrung von Baugruppen-Konnektivitäten

Mesh Parametrization

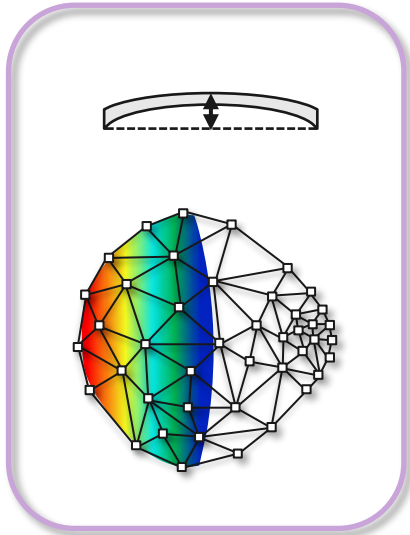


- Geometriemanipulation direkt am FE-Netz (Morphing) durch Oberflächennetz-Parametrisierung z.B. mit Python
- Grossflächige Variationen mit wenigen Parametern möglich
- «Beliebige» Ansatzfunktionen für die Variationen möglich

[STUDER, M.; EHRIG, F.: *Int J Adv Manuf Technol* **78**, 1557-1571 (2015)]

3. Ansatz: Simulationsgetriebene Dimensionierung

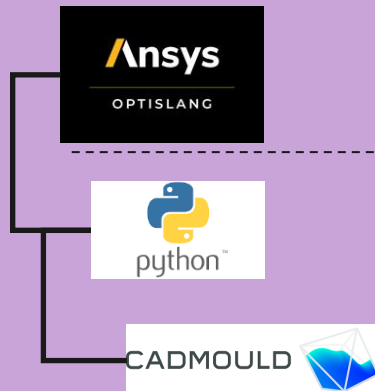
Prozesssimulation



Anforderungen

- Automatische Aktualisierung der Geometrie und der Randbedingungen (Lasten, Orientierung)
- Automatische Ausführung der Berechnung und des Post-Processing
- Automatische Rückgabe der Berechnungsergebnisse und des Orientierungsfiles

Möglicher Realisierungsansatz

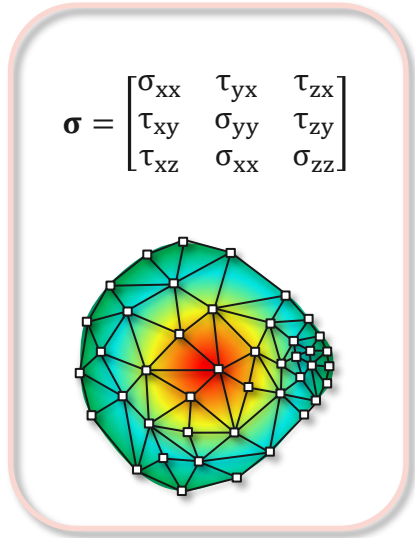


- Übergeordnete Steuerung durch automatische Ausführung des Python-Skriptes
- Steuerung der Designparameter und Rückführung der Ergebnisse

- Ausführung der Prozess-Simulation via Python-Skript
- Speicherung des Orientierungsfiles für die Struktursimulation
- Extraktion und Übergabe weiterer prozessrelevanter Informationen

3. Ansatz: Simulationsgetriebene Dimensionierung

Struktursimulation



Anforderungen

- Automatische Aktualisierung der Geometrie und der Randbedingungen (Lasten, Orientierung)
- Automatische Ausführung der Berechnung und des Post-Processing
- Automatische Rückgabe der Berechnungsergebnisse

Möglicher Realisierungsansatz



- Übergeordnete Steuerung der automatischen Datenaktualisierung
- Steuerung der Designparameter und Rückführung der Ergebnisse

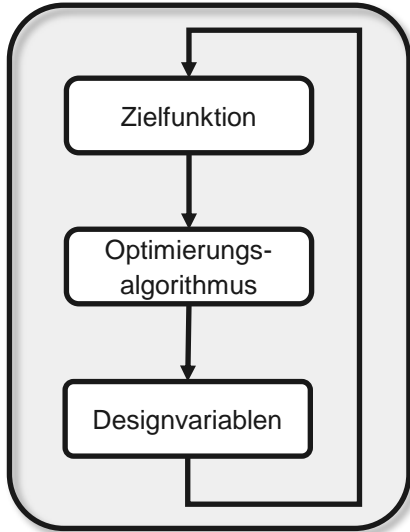


- Ausführung der Struktursimulation
- Integration benutzerspezifischer Auswertungen über Python-Results



3. Ansatz: Simulationsgetriebene Dimensionierung

Optimierungsroutine



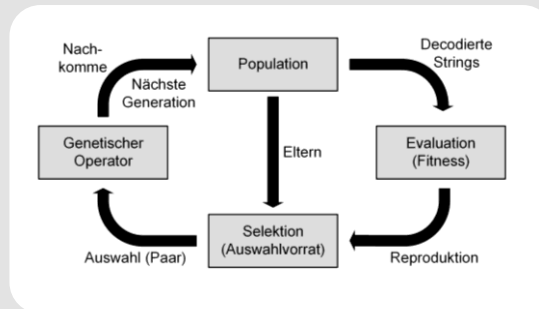
Anforderungen

- Definition einer beliebigen Zielfunktion und möglicher Randbedingungen
- Vorgabe der Parametergrenzen
- Direkte oder indirekte Optimierung (Steuerung der Simulationen)
- Möglichkeit zur Parallelisierung

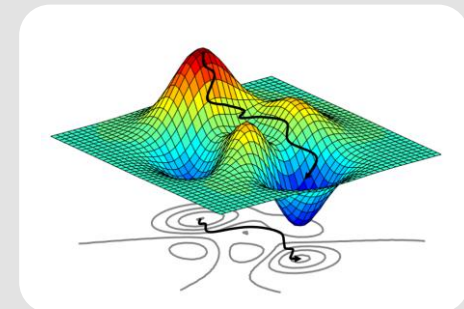
Mögliche Realisierungsansätze



Direkte Optimierung (z.B. GA)

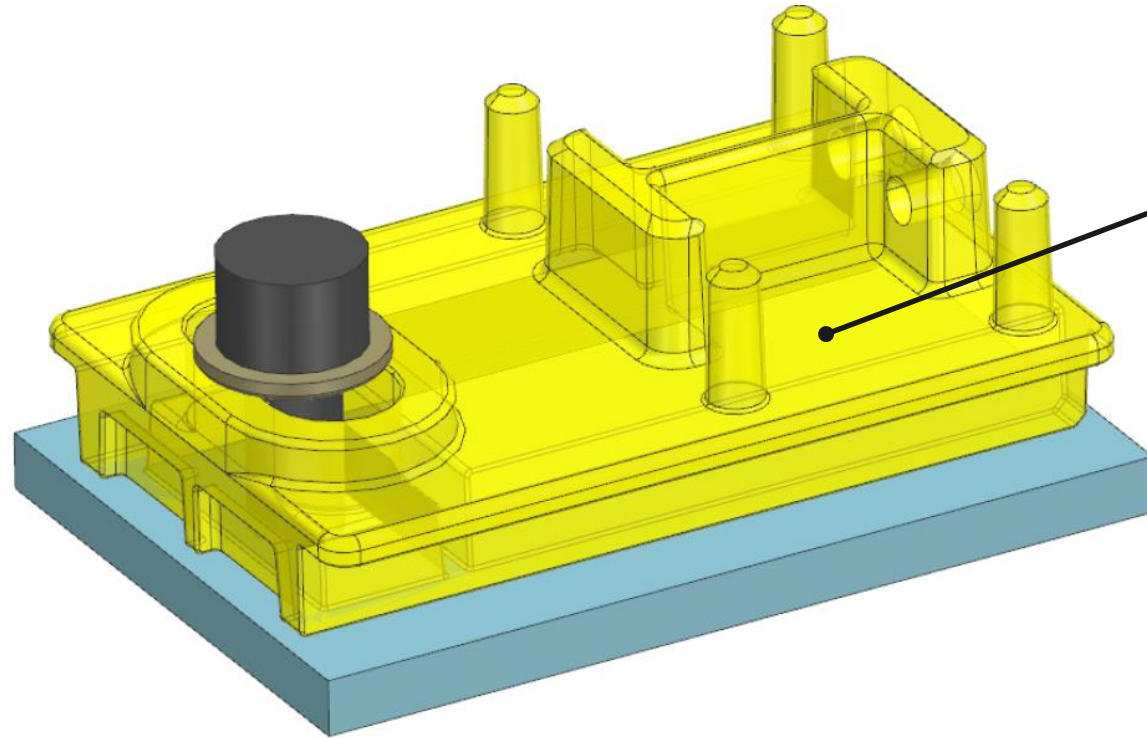


Indirekte Modellierung (Surrogate)



[FILHO, R.J.L. ; TRELEAVEN, P.C. ; ALIPPI, C.: *Computer* 27 (1994)]

Simulationsgetriebene Dimensionierung – Use Case 1



Ausgangslage

- Vorliegender Best-Guess Prototyp einer Sockelgeometrie (gelb) zur Profilbefestigung

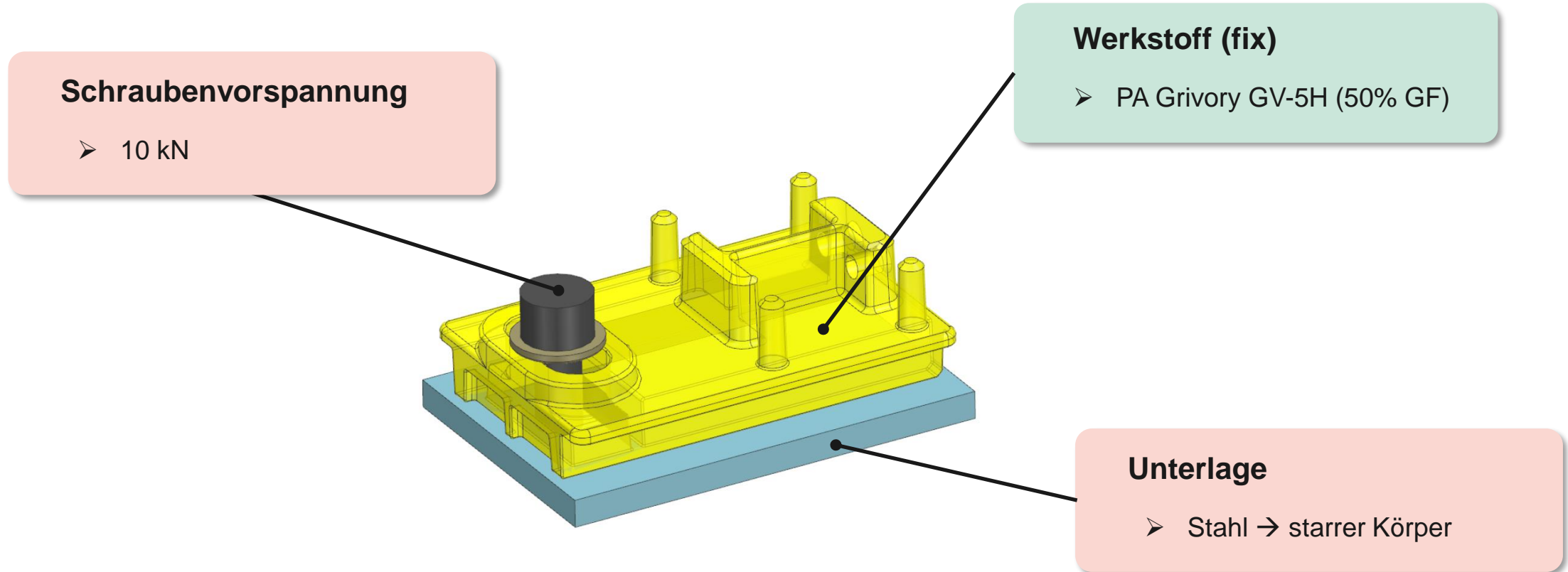
Zielsetzung

- Optimierung des Materialaufwandes bei gleichbleibendem Auslastungsgrad

[SCHMID, D.: *Masterthesis* OST (2024)]

Simulationsgetriebene Dimensionierung – Use Case

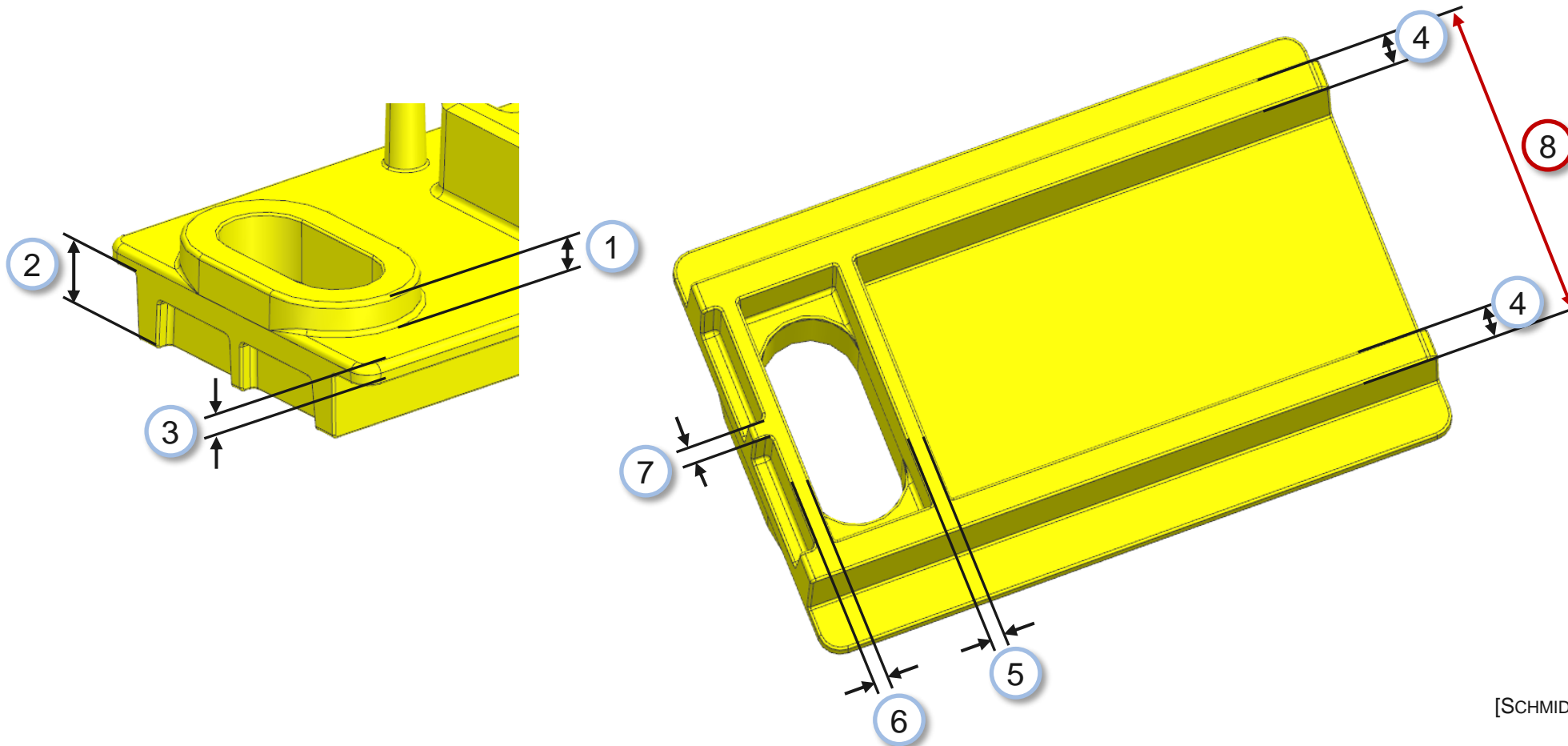
Randbedingungen – Last und Werkstoff



[SCHMID, D.: *Masterthesis* OST (2024)]

Simulationsgetriebene Dimensionierung – Use Case

Designvariablen – Geometrie



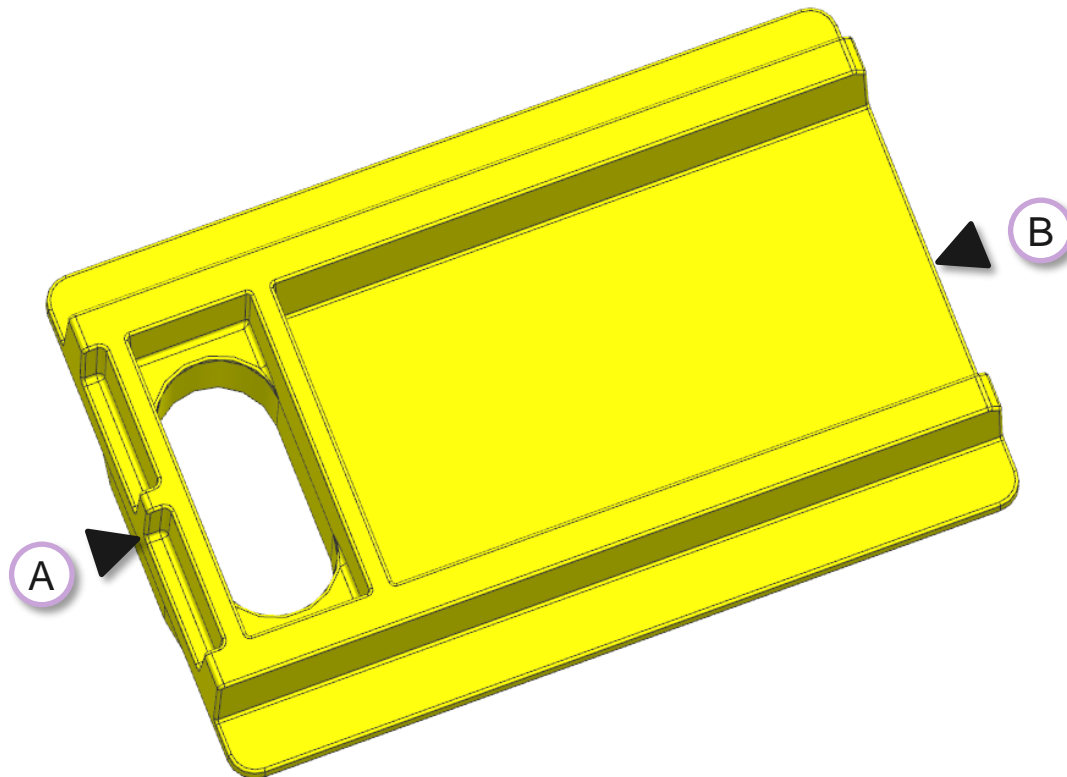
Massänderung

#	Δ^- [mm]	Δ^+ [mm]
1	-2.5	0.5
2	-3.0	0.0
3	-0.5	2.0
4	-1.5	0.8
5	-0.5	2.0
6	-0.5	1.0
7	-1.2	12
8	0.0	0.0

[SCHMID, D.: *Masterthesis* OST (2024)]

Simulationsgetriebene Dimensionierung – Use Case

Designvariablen – Prozess



Anspritzposition

#	X [mm]	y [mm]	Z [mm]
A	10	0.0	15
B	60	0.0	15

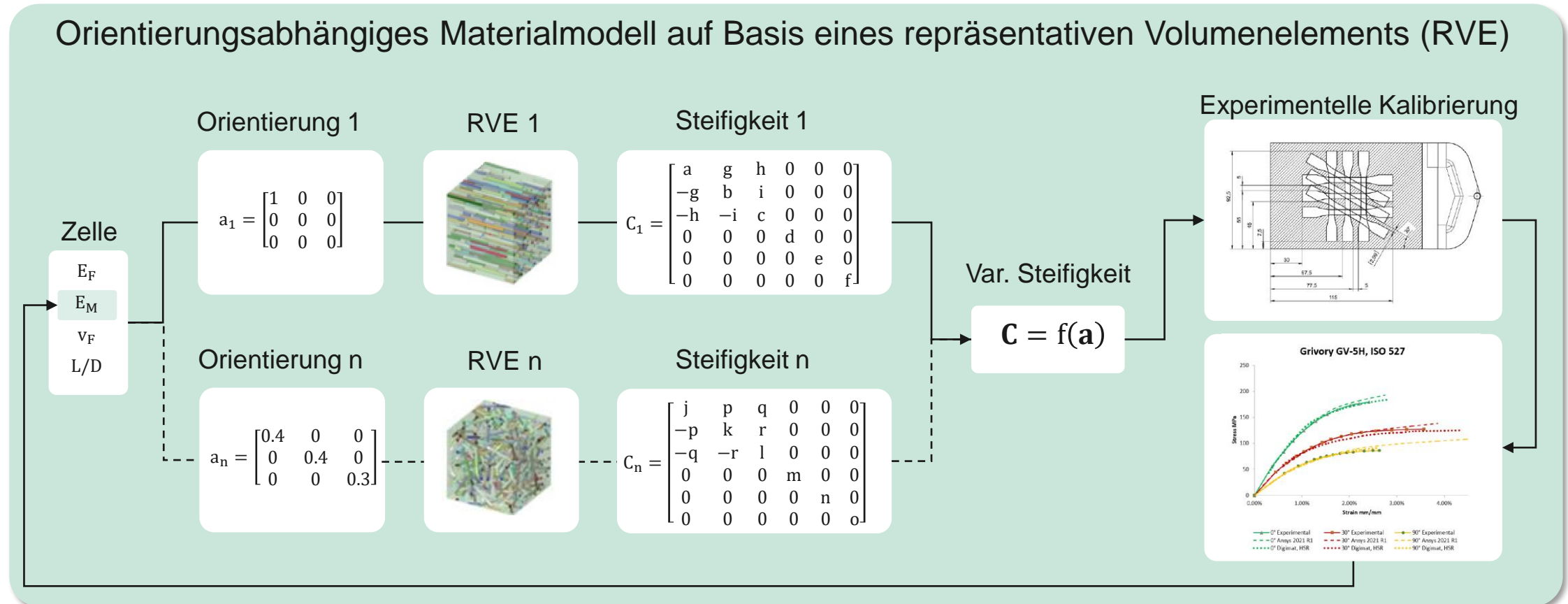
Fülldruckrestriktion

$$p_{\text{fill}} \leq 1'000 \text{ bar}$$

[SCHMID, D.: *Masterthesis* OST (2024)]

Simulationsgetriebene Dimensionierung – Use Case

Werkstoffmodell

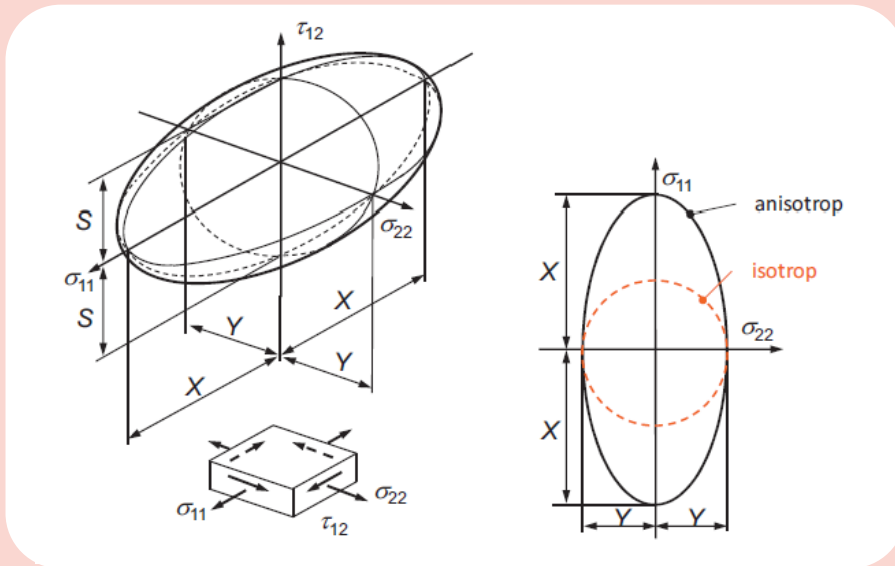


[PAVIA, F.; ITEN, R.; NEGRI, F.; BAHAMONDE, N.; BARANDUN, G.A.; EHRIG, F.: ANSYS Technical Paper (2021)]

Simulationsgetriebene Dimensionierung – Use Case

Auswertekriterium

Festigkeitsbewertung nach Tsai-Hill:



- Orientierung der Schadensfläche entlang der Faserrichtung
- Kriterium:

$$\frac{\sigma_{11}^2}{X^2} - \frac{\sigma_{11}\sigma_{22}}{X^2} + \frac{\sigma_{22}^2}{Y^2} + \frac{\tau_{12}^2}{S^2} = 1$$

Werkstoffkennwerte (aus Messung zu ermitteln):

X = Bruchspannung in Faserrichtung

Y = Bruchspannung quer zur Faserrichtung

S = Schubfestigkeit

Simulationsgetriebene Dimensionierung – Use Case

Optimierungsalgorithmus

Problemstellung

Zielfunktion

$$\min_{\mathbf{x}} \text{Gewicht}(\mathbf{x})$$

Nebenbedingungen

$$\text{Tsai_Hill} \leq 1$$

$$p_{\text{fill}} \leq 1'000 \text{ bar}$$

Designvariablen

$$-2.5 \leq x_1 \leq 0.5$$

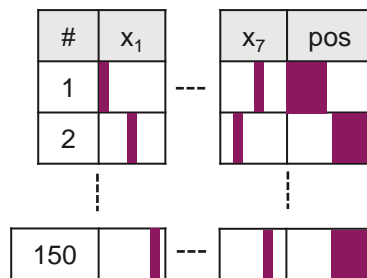
$$-1.2 \leq x_7 \leq 12$$

$$\text{pos} = [A, B]$$

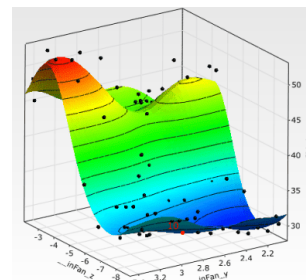
Modellbildung und Optimierung auf Basis der Surface-Response

Designraum-Exploration

150 LHS-Samples



Surface-Response (Surrogate)

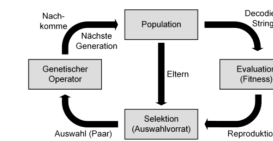


$$\text{Gewicht}(\mathbf{x}) \approx g(\mathbf{x})$$

Optimierung auf Basis der Surface-Response

$$\min_{\mathbf{x}} g(\mathbf{x})$$

Algorithmus = GA



$$n_{\text{iter}} = 2000$$

$$\mathbf{x}_{\text{opt}} = [-1.5, \dots, A]$$

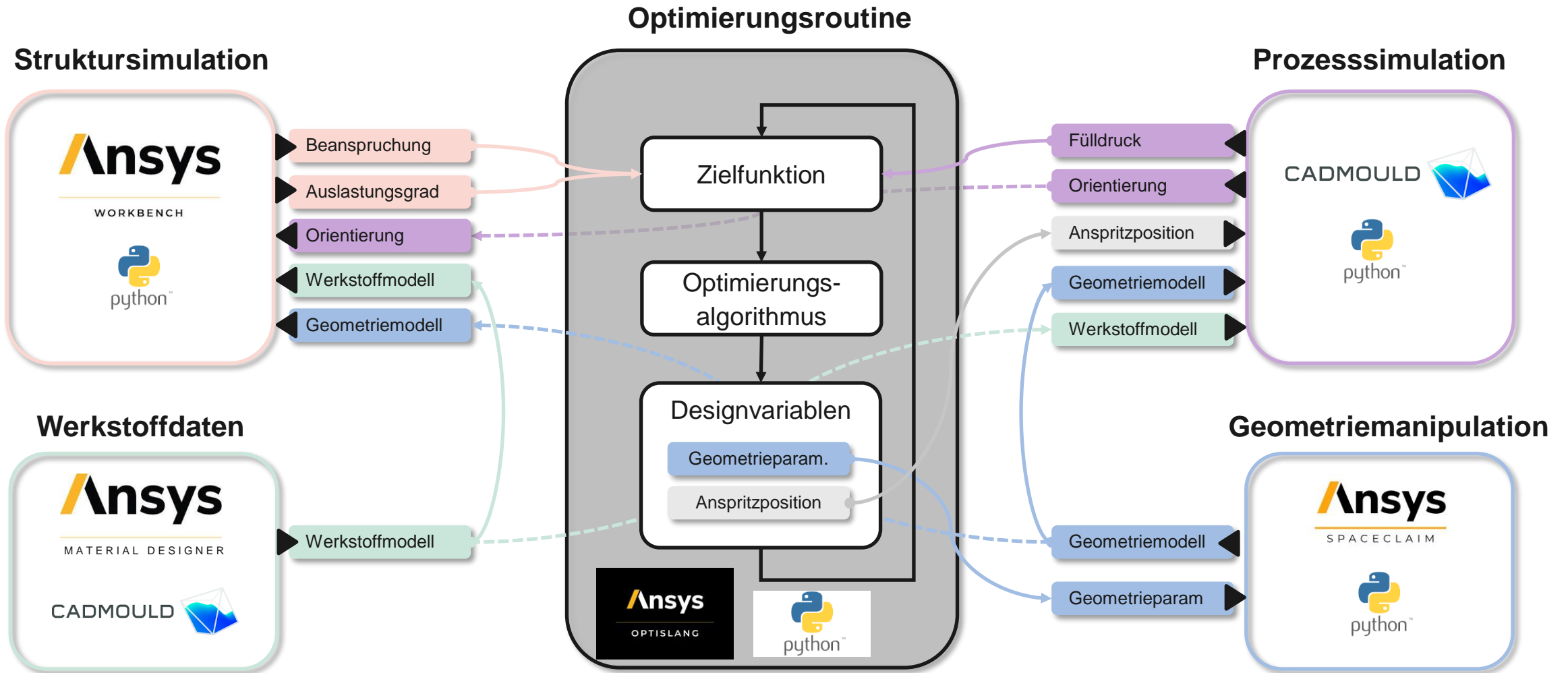
Validierung

$$\text{Gewicht}(\mathbf{x}_{\text{opt}})$$

$$g(\mathbf{x}_{\text{opt}})$$

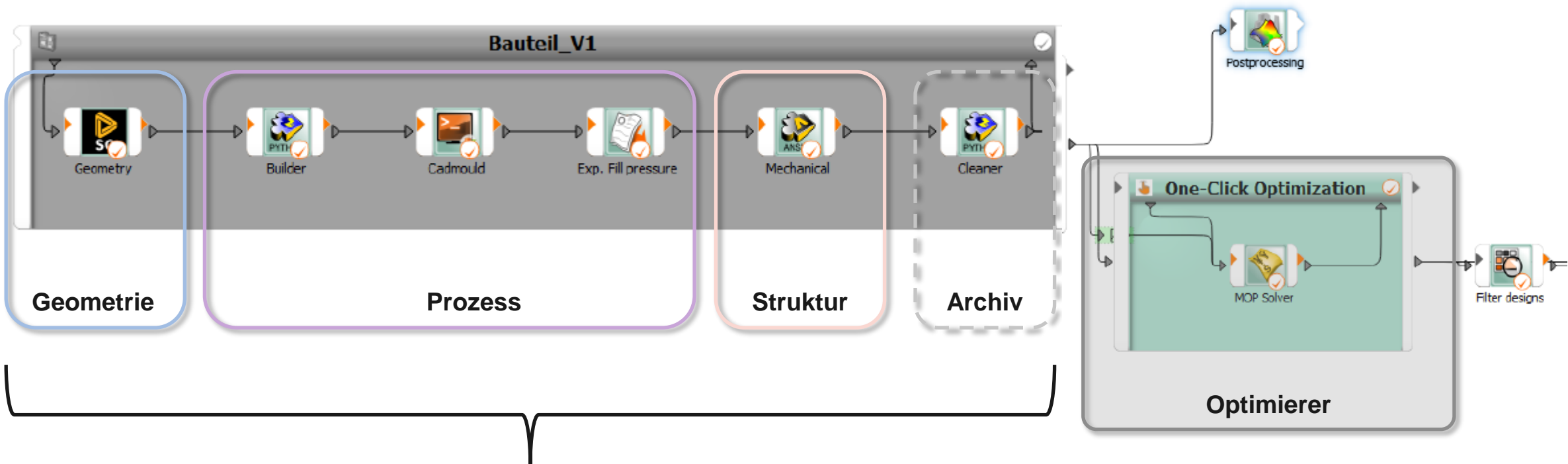
[SCHMID, D.: Masterthesis OST (2024)]

Simulationsgetriebene Dimensionierung – Use Case



Simulationsgetriebene Dimensionierung – Use Case

Struktur in Optislang

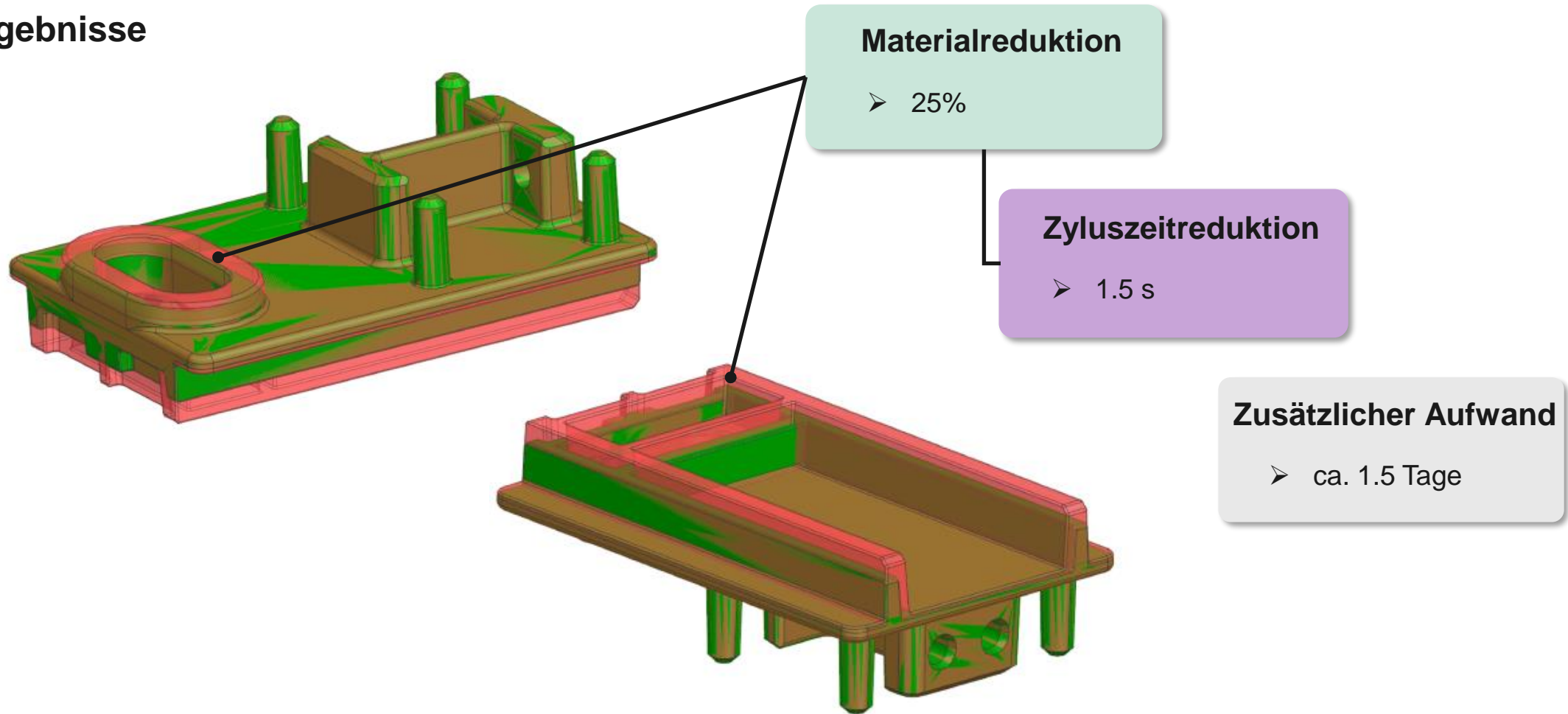


- Parallele Verarbeitung von bis zu 3 Designs
- Durchlaufzeit ca. 16 Minuten für alle 3 Designs → Total ca. 13 h

[SCHMID, D.: *Masterthesis* OST (2024)]

Simulationsgetriebene Dimensionierung – Use Case

Ergebnisse



[SCHMID, D.: *Masterthesis* OST (2024)]

Simulationsgetriebene Dimensionierung

Fazit

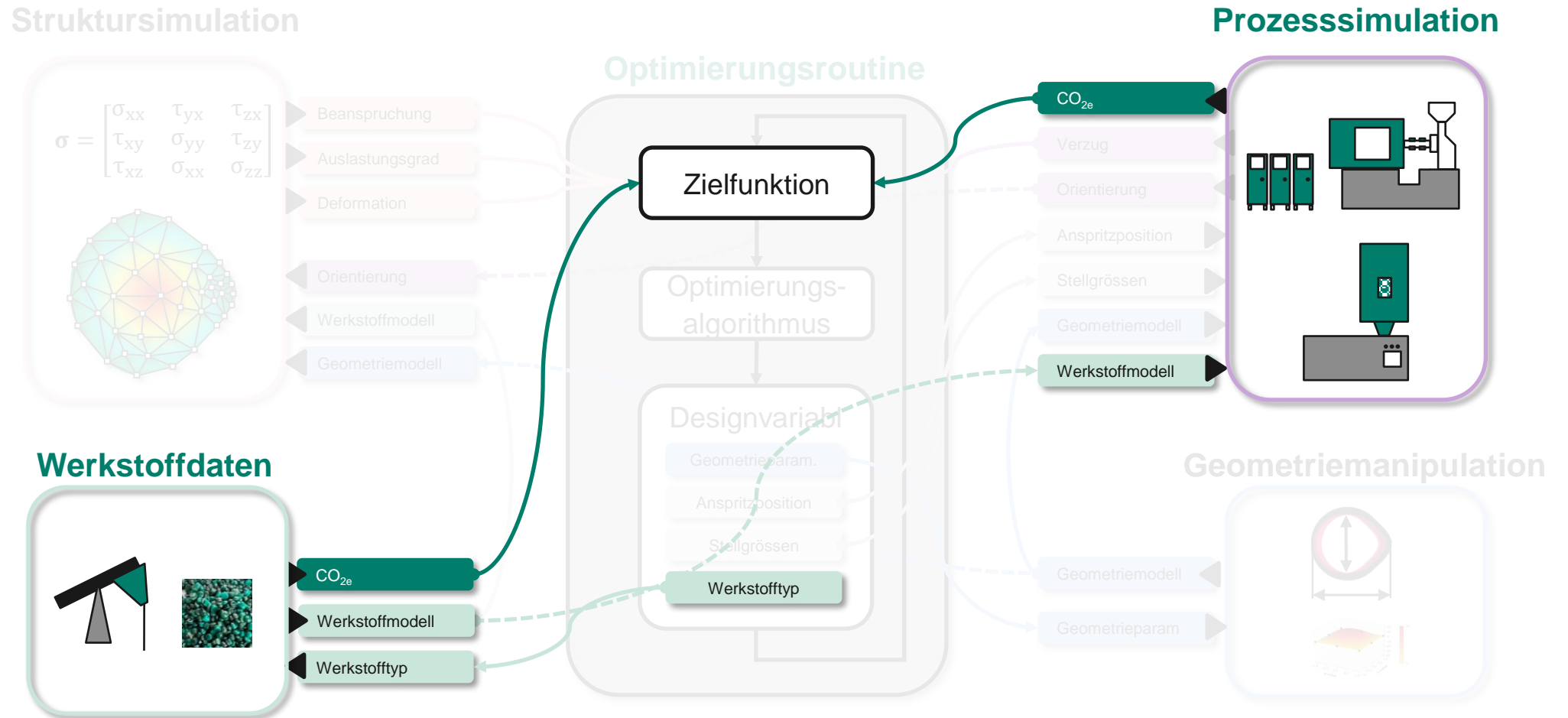
- Nachhaltige Entwicklung erfordert den Einbezug aller relevanten Einflussgrößen
- Bei Kunststoffen weist der Herstellprozess eine äusserst wichtige Rolle auf
- Zunehmende «Pythonisierung» ermöglicht «einfache» Kopplung und Adaption von unterschiedlichen Simulationsprogrammen
- Erweiterung der Routine mit weiteren nachhaltigkeits-relevanten Designvariablen möglich

Aber...

- Bereits schon zielführende Ergebnisse durch einfache Massnahmen (beanspr.-ger. Gestaltung)
- Ergebnisse sind stark von den Randbedingungen abhängig → weniger tolerant auf neue Lasten
- Es werden einige Simulationstools und deren Lizenzen benötigt

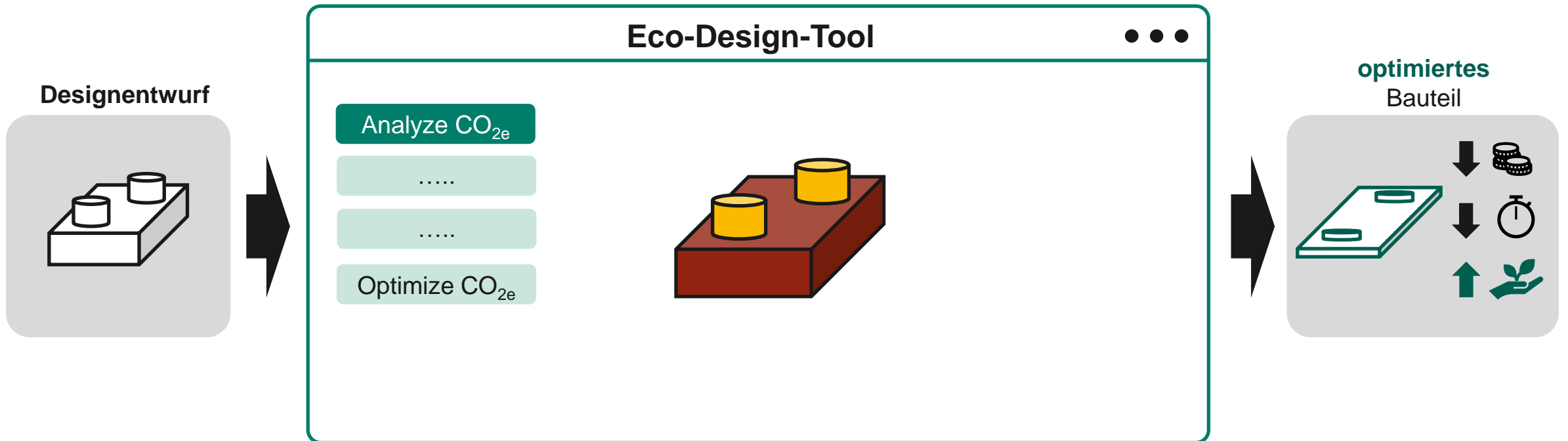
Simulationsgetriebene Dimensionierung

Ausblick – Massnahme 1: Weiterentwicklung hinsichtlich genauer CO_{2e} – Prognosen



Simulationsgetriebene Dimensionierung

Ausblick – Massnahme 2: Vereinfachung der CO_{2e} Prognose und -Optimierung



Simulationsgetriebene Dimensionierung

Ausblick – Umsetzung im Rahmen des InnoSuisse FlagShip-Projektes

1 Sub-project 01: Multi-sided Platform
2 3 4 5 6

Ecosystem triggers innovation through orchestration by core products & services (Foundation)

Overview deliverables:

- 1) Business model for the multi-sided platform
- 2) Governance model for the platform (degree of freedom to create innovations)
- 3) Definitions of service blueprints (learning nuggets, collaboration tools, assessment)
- 4) MVP (Minimum Viable Product)
- 5) Go-Live MVP with first service
- 6) Add further platform services

3 Sub-project 03: Best carbon footprint materials
1 2

Disruptive approaches to reduce the CO_{2e} foot-print in raw materials and increasing circularity

Overview deliverables:

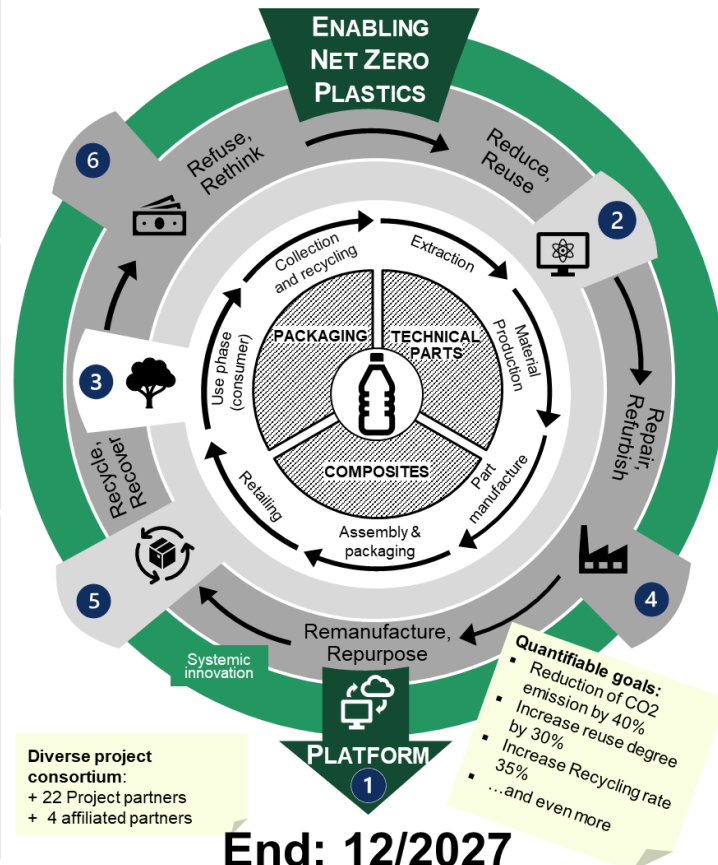
- 1) Scenarios and roadmaps developed towards a Net-Zero 2050 Swiss composite industry
- 2) Aerospace and automotive application case studies: design for circularity and assessment of scope 1, 2, & 3 emissions
- 3) Proof of concept for candidate resins in part manufacturing and re-use of constituents at end-of-life

5 Sub-project 05: Re-wiring Value Chains
1 2 3 4 6

End-to-end involvement of companies & customers to re-wire supply chains & design more sustainable business practices

Overview deliverables:

- 1) Shortlist of suitable traceability technologies created & evaluated; Data types that shall be tracked are selected
- 2) Tagging strategies of physical parts evaluated; First prototype of digital process chain implemented and tested
- 3) Implications regarding value chain & business models evaluated; Necessary adaptations for conventional polymer processing described
- 4) Digital process chain adapted for conventional polymer processing



Diverse project consortium:
 + 22 Project partners
 + 4 affiliated partners

Quantifiable goals:

- Reduction of CO₂ emission by 40%
- Increase reuse degree by 30%
- Increase Recycling rate 35%
- ...and even more

End: 12/2027

2 Sub-project 02: Eco-Design Tool
1 3 4 5

Eco design tools for product development

Overview deliverables:

- 1) Architecture of design toolbox and modules
- 2) Functionality for assessing different materials and production methods
- 3) Design (a) feature database to improve re-usability & recyclability of products (b) tool to generate injected molding parts with reduced material (c) tool to reduce material usage for composite parts
- 4) 2-3 finished demonstrators showing application of toolbox

4 Sub-project 04: New Process Technologies
1 2 3

Information sharing across the value chain actors allows to develop new process and technologies

Overview deliverables:

- 1) Basic architecture of measurement chain
- 2) Complete data base on energy consumption with all auxiliary components available
- 3) Digital twins for each relevant production technology are ready to use
- 4) New materials & processes reveal on specific demonstrator parts a reduction in CO₂ Emission >30%
- 5) Finished demonstrators showing the application of all developed modules using 2-3 specific applications and demonstrators of the implementation partners

6 Sub-project 06: Accelerating R-Principles
1 2 3 4 5

Life cycle management approaches in the new plastic economy

Overview deliverables:

- 1) Systematic aggregation of existing knowledge by the research community and practice within the specific thematic context of this project
- 2) A methodology for assessing life cycle management to support R-principles
- 3) Framework for assessing and evaluating R-principles

- 576k tons of CO₂ savings¹
- 25% cost reduction
- 580 MCHF increase in revenue growth
- 10-50% quality improvement
- 35% increase of recycling rate² by 2050
- 30% increase of the reuse degree² by 2050



SmartFactory@OST



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

