

Prozessgerechte Strukturoptimierung

T. Baumann, T. Schütt, T. Rosnitschek, S. Tremmel

23. Bayreuther 3D-Konstrukteurstag

14. September 2022



Lehrstuhl für
Konstruktionslehre und CAD
Prof. Dr.-Ing. Stephan Tremmel



ESF IN BAYERN
WIR INVESTIEREN IN MENSCHEN



Das Projekt

Projekthalt

- Wissenstransfer in sechs Themenblöcken mit der Möglichkeit, eigene Inhalte einzubringen
- Individueller Computer Aided Engineering Support auch bei fachlich verwandten Themen
- Projektexklusiver Zugang zu entwickelter Software, Methoden und Tools

Projektlaufzeit

07/2021 – 12/2022



[1]: <https://www.itwm.fraunhofer.de>

[2]: <https://bs1-kempten.de>

[3]: <https://www.leichtbau.fraunhofer.de>





EUROPÄISCHE UNION
EUROPÄISCHER SOZIALFONDS

ESF IN BAYERN
WIR INVESTIEREN IN MENSCHEN

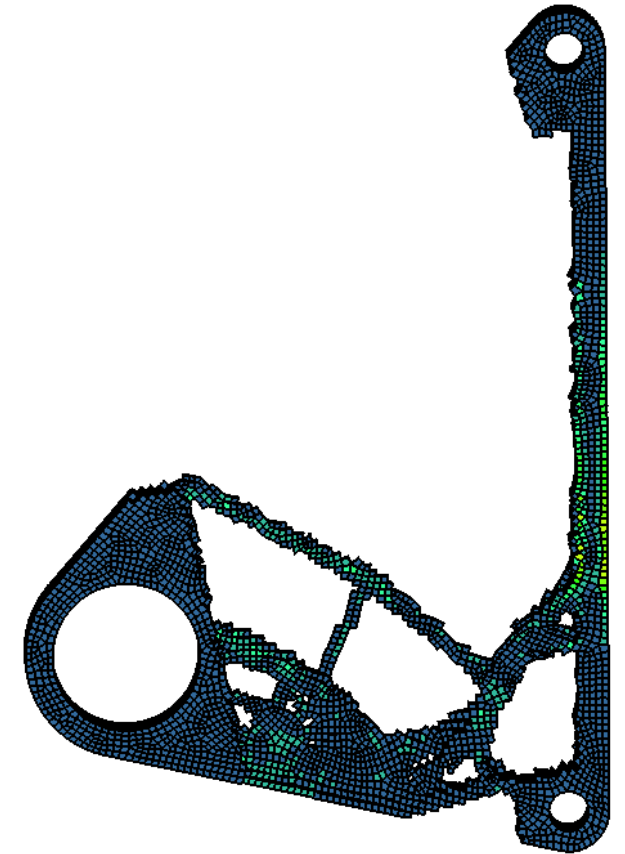
- Gefördert durch den Europäischen Sozialfonds
- Kostenfreier, anwendungsorientierter Wissens- und Technologietransfer für KMUs
- Innovationen auf Prozess- und Produktebene durch neue Kooperationen
- Derzeit 15 Unternehmen aus der Region beteiligt
- Anzahl der Teilnehmer potenziell nicht begrenzt



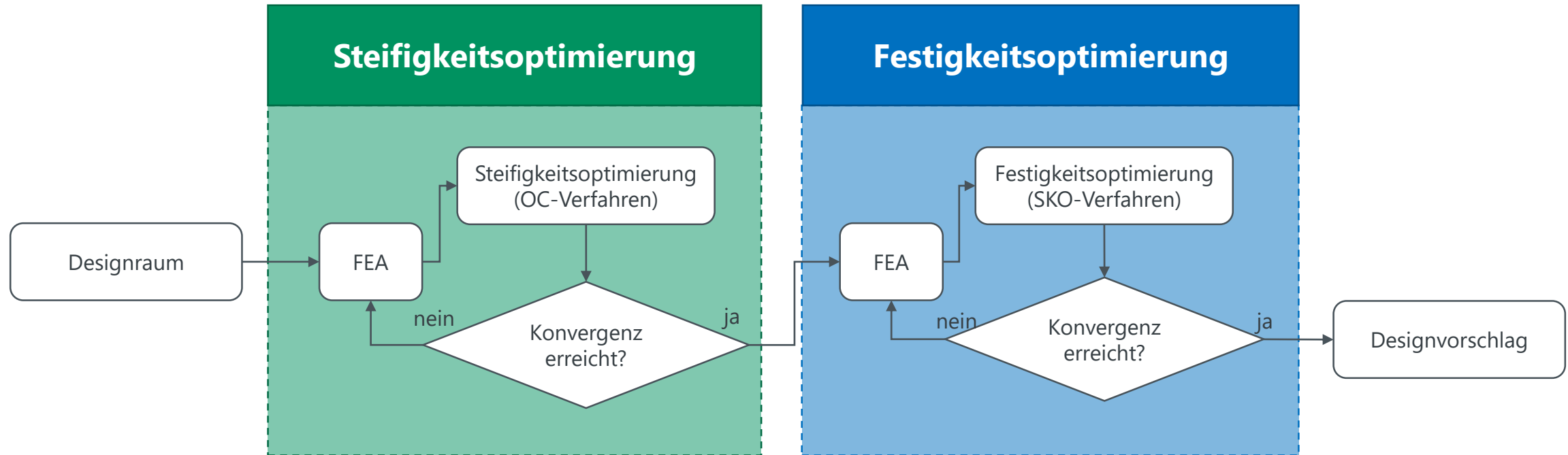
Motivation

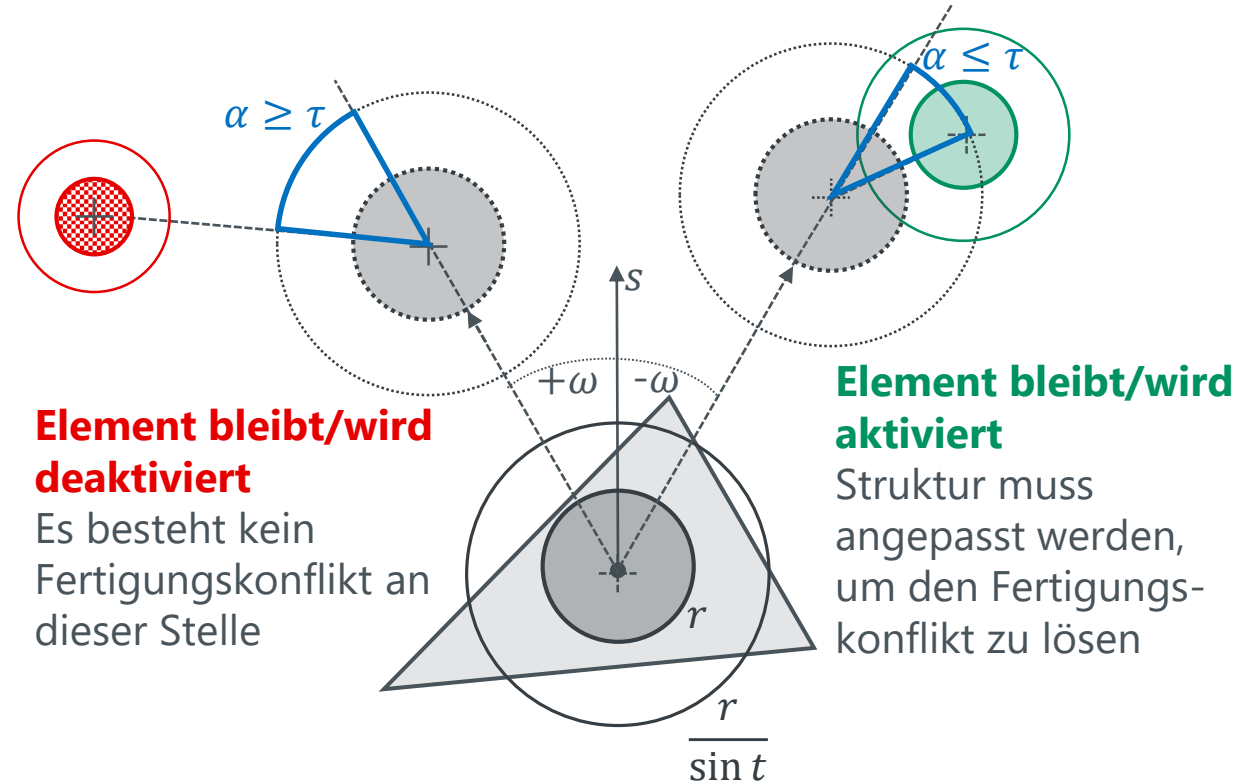
- Die Topologieoptimierung ist ein wichtiges Werkzeug für die Entwicklung von Leichtbauteilen.
- Topologieoptimierung führt zu Strukturen, die dem mathematischen Optimum nahe kommen, aber in den meisten Fällen nahezu unmöglich herzustellen sind.
- Die Integration von Fertigungsrestriktionen in die Topologieoptimierung ist entscheidend für die Erzielung herstellbarer Geometrien.

Dieser Beitrag stellt das **Konzept der finiten Kugeln** vor, um das **Wissen über den additiven Fertigungsprozess** in **Fertigungsrestriktionen in der Topologieoptimierung** umzusetzen.



Hybride Topologieoptimierung für Steifigkeit und Festigkeit

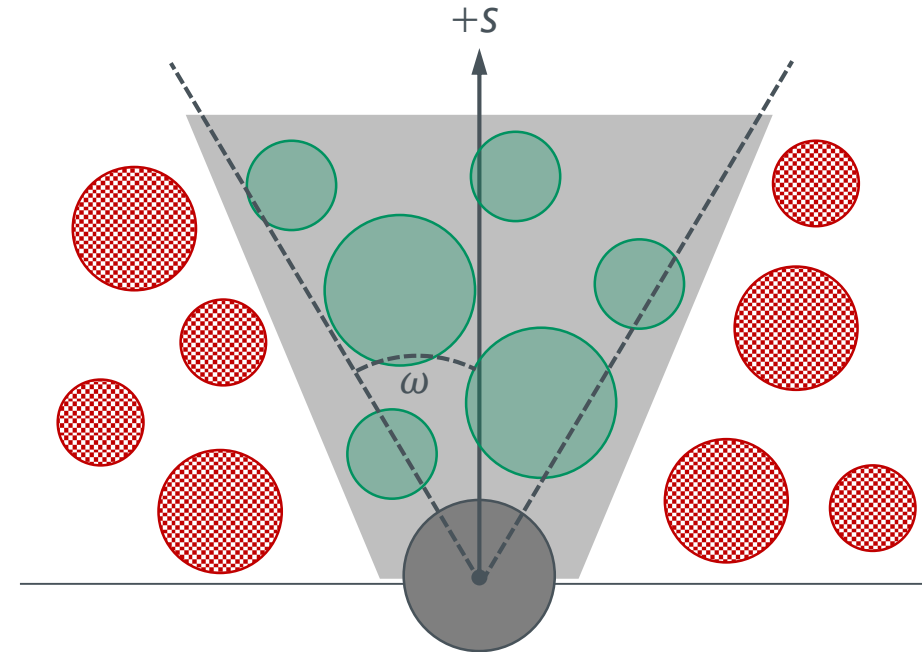
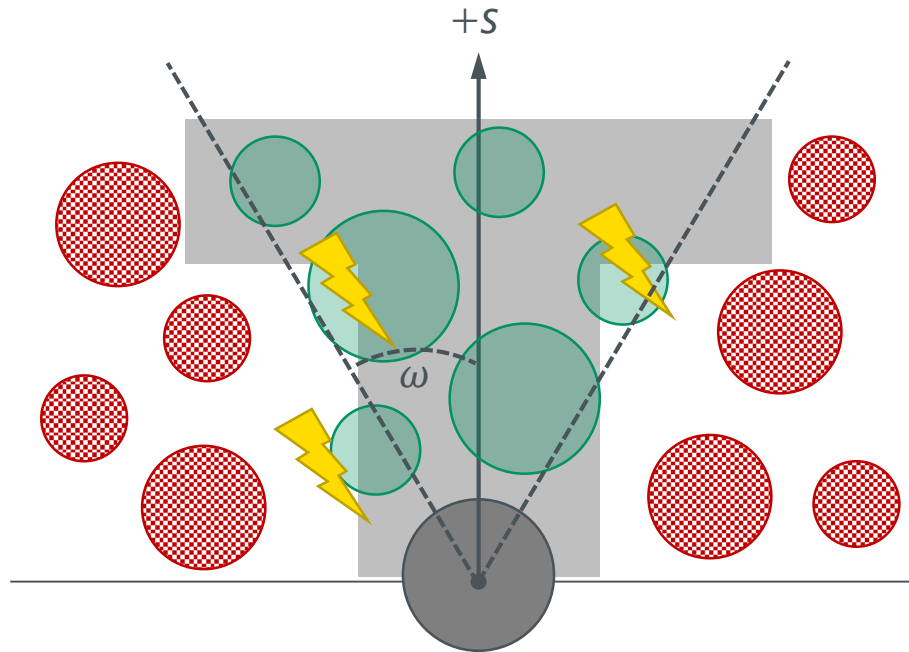




- Effektiver Radius $\frac{r_i}{\sin \tau}$
- Toleranzwinkel $\tau \in [0, \frac{\pi}{2}]$, Konflikt wenn Kontaktwinkel zweier Kugeln $\alpha \leq \tau$
- Fertigungsrichtung s
 - Gießen: Entformungsrichtung
 - Additive Fertigung: Aufbaurichtung
- Fertigungswinkel ω
 - Gießen: Entformungswinkel
 - Additive Fertigung: Überhangwinkel

T. ROSNITSCHKE et al.: Optimized One-Click Development for Topology-Optimized Structures.
In: *Applied Sciences* Bd. 11 (2021) Nr. 5, S. 2400

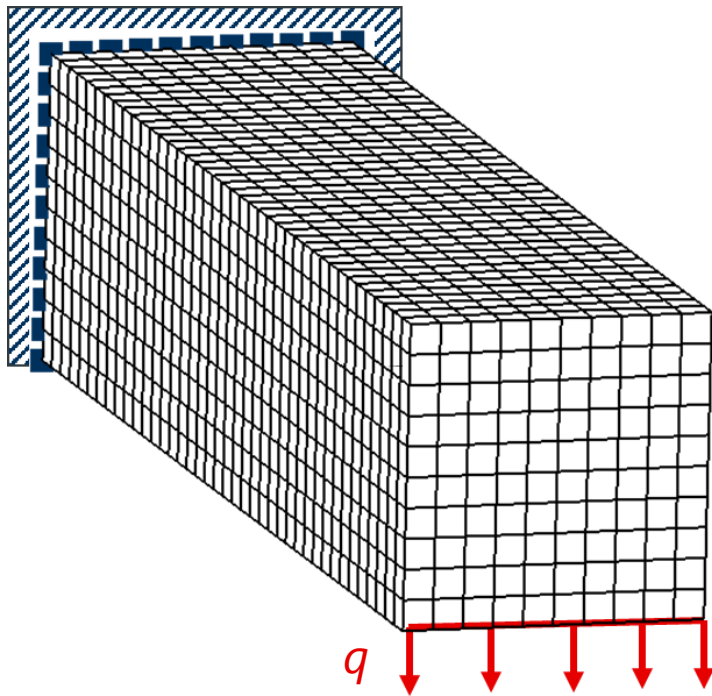
- Schrittweises abändern des Bauraums hin zu einer Struktur ohne Fertigungskonflikte
- Fertigungsrate $g \in]0,1]$ steuert den Konflikt zwischen Zielfunktion und Fertigbarkeit



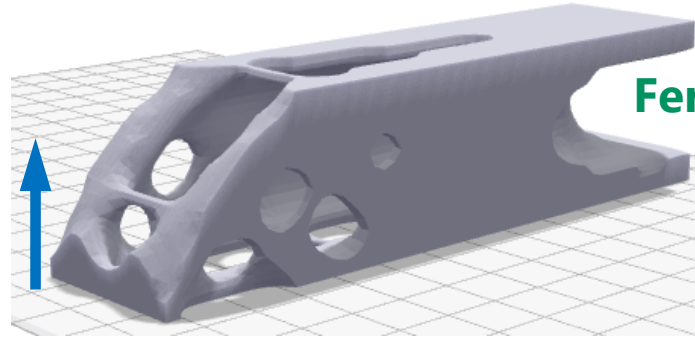
Topologieoptimierung mit Fertigungsrestriktionen

Beispiel: Kragbalken

**FE-Modell
des Bauraums**



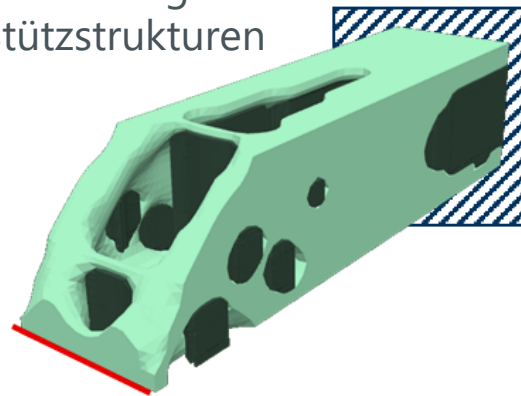
Aufbaurichtung



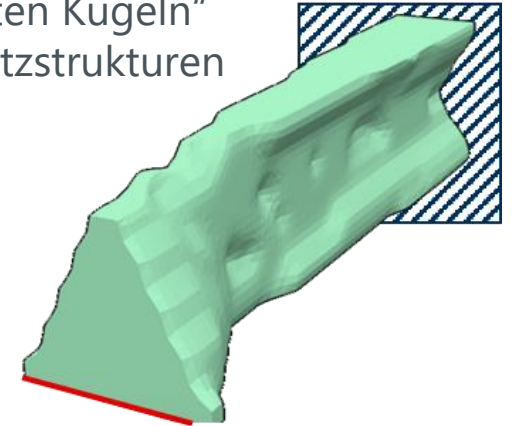
Fertigungsrestriktion

Ergebnis der Topologieoptimierung

„Ohne finite Kugeln“
Viele Stützstrukturen



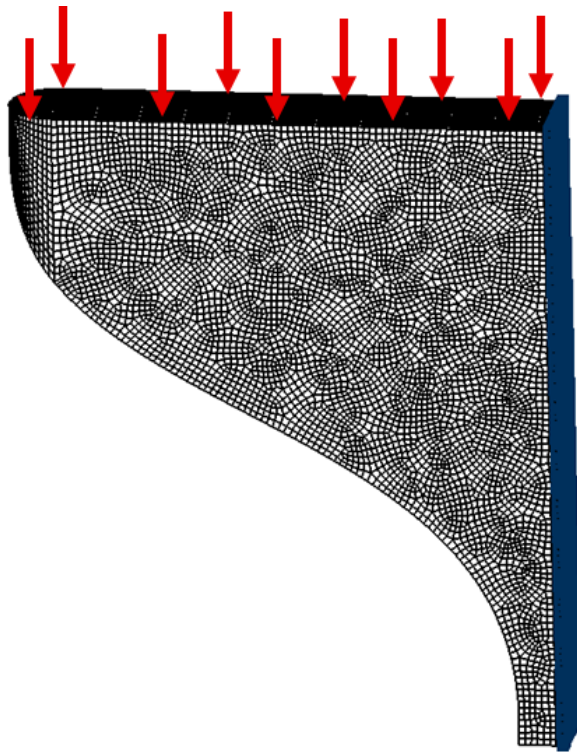
„Mit finiten Kugeln“
Keine Stützstrukturen



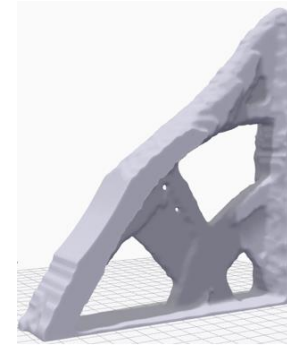
Topologieoptimierung mit Fertigungsrestriktionen

Beispiel: Winkelhalter

**FE-Modell
des Bauraums**



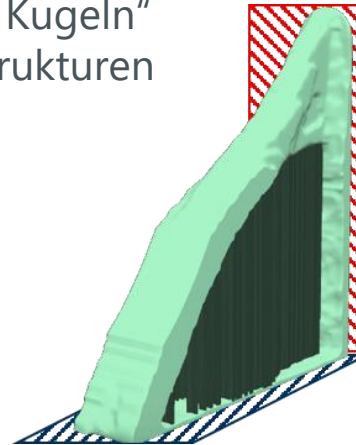
Aufbaurichtung



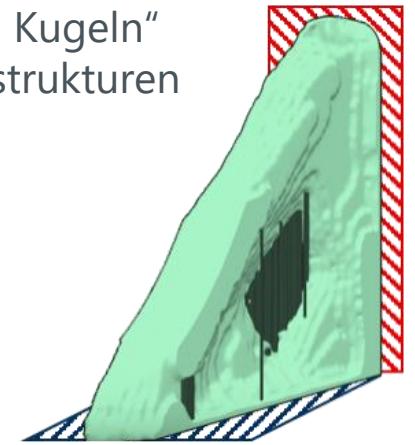
Fertigungsrestriktion

Ergebnis der Topologieoptimierung

„Ohne finite Kugeln“
Viele Stützstrukturen



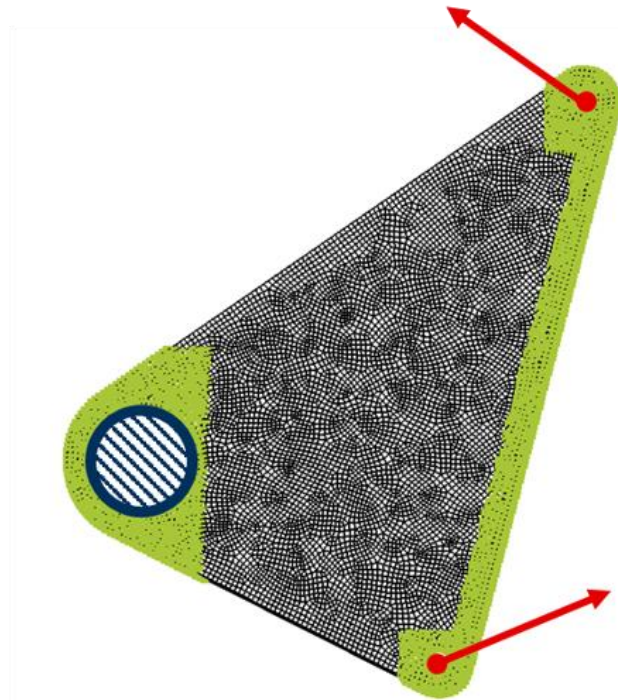
„Mit finiten Kugeln“
< 1 % Stützstrukturen



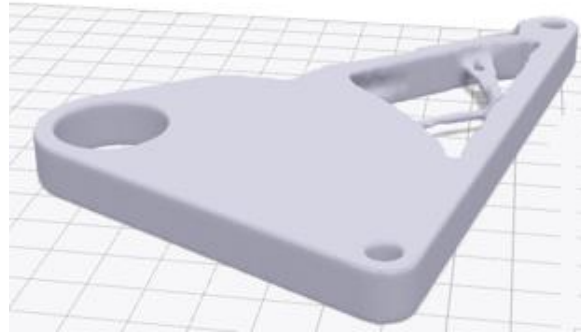
Topologieoptimierung mit Fertigungsrestriktionen

Beispiel: Fahrwerksumlenker

**FE-Modell
des Bauraums**



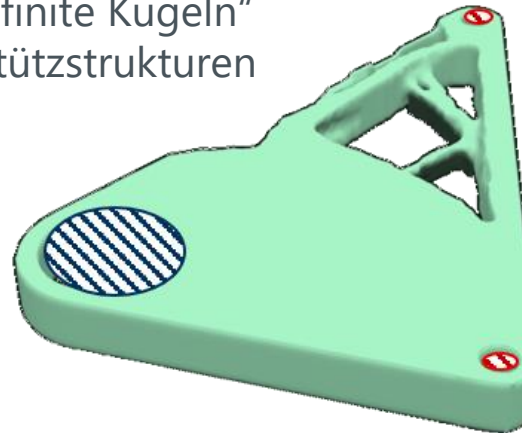
Aufbaurichtung



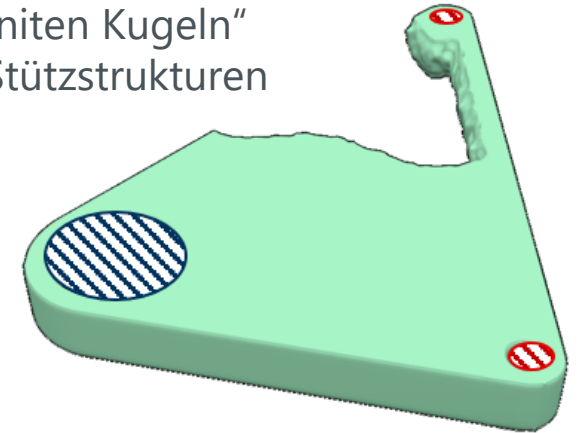
ertigungsrestriktion

Ergebnis der Topologieoptimierung

„Ohne finite Kugeln“
Viele Stützstrukturen



„Mit finiten Kugeln“
< 1 % Stützstrukturen



Topologieoptimierung mit Fertigungsrestriktionen

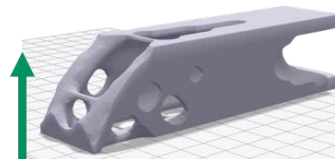
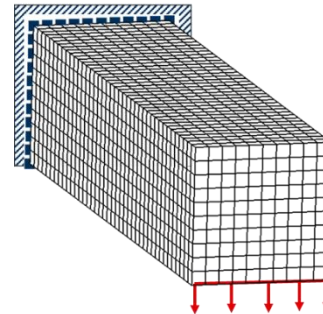
Anwendungsbeispiele: Parameterstudie

Fertigungsrate g	Fertigungswinkel ω
0.5 – 0.9, $\Delta = 0.1$	15, 30, 45, 60

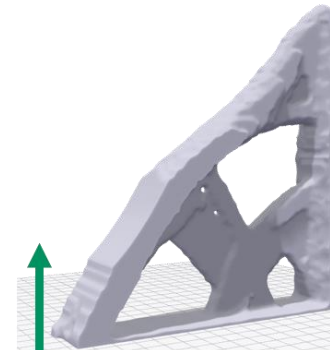
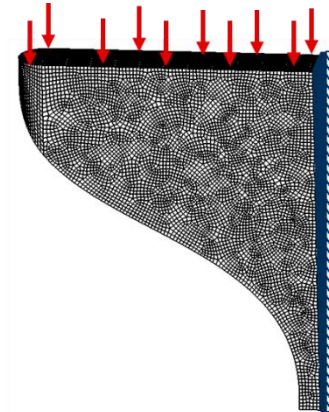
Parameterwerte (für alle Experimente):

- Max. Iterationen: 100
- Glättungsiterationen: 30

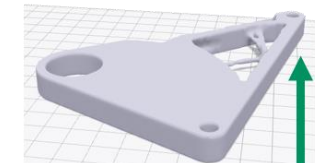
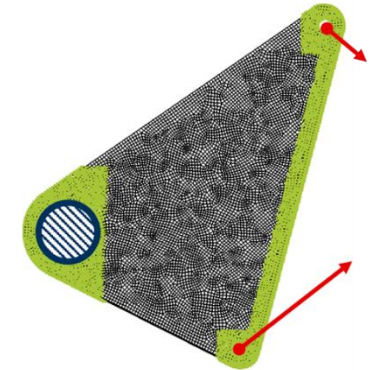
Kragbalken
OC



Winkelhalter
TOSS

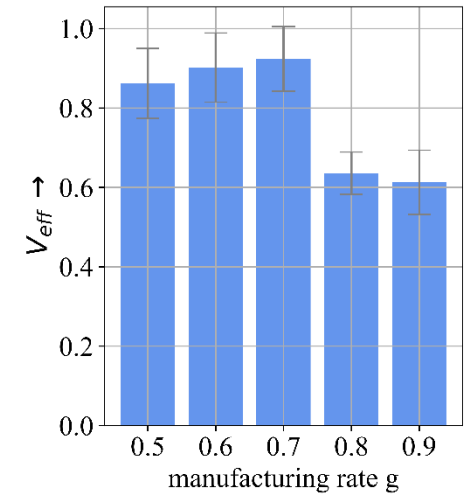
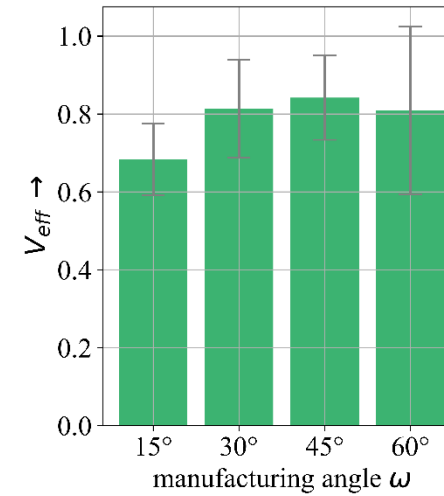
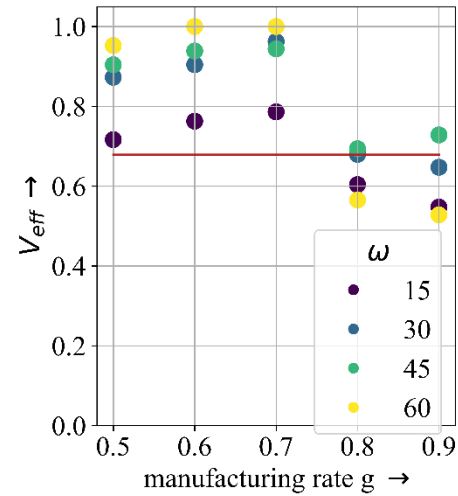
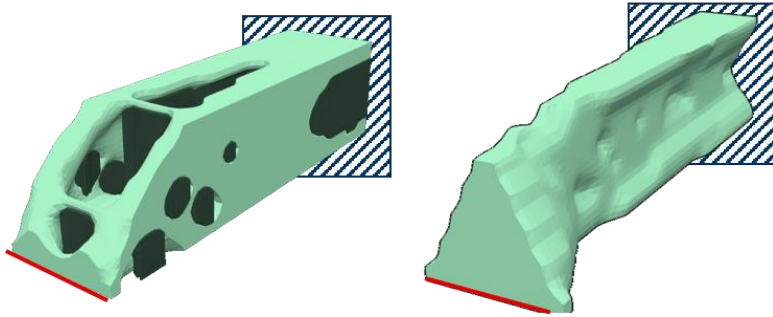


Fahrwerksumlenker
TOSS



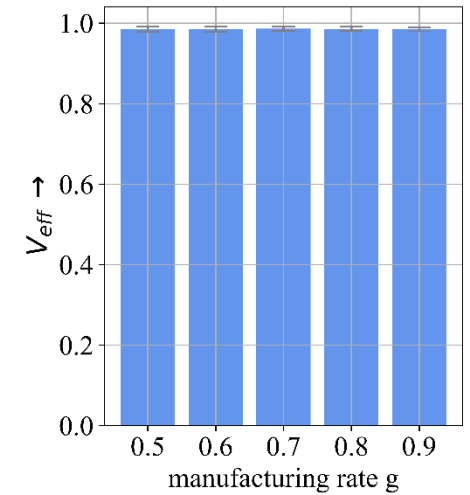
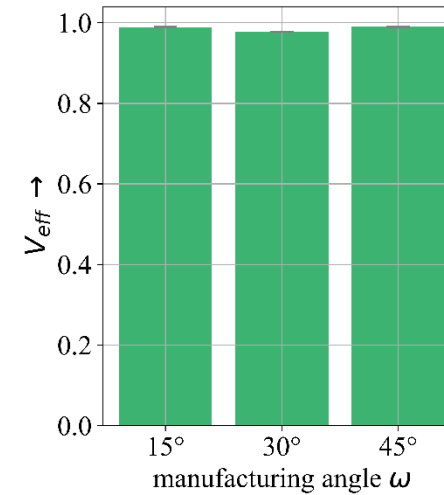
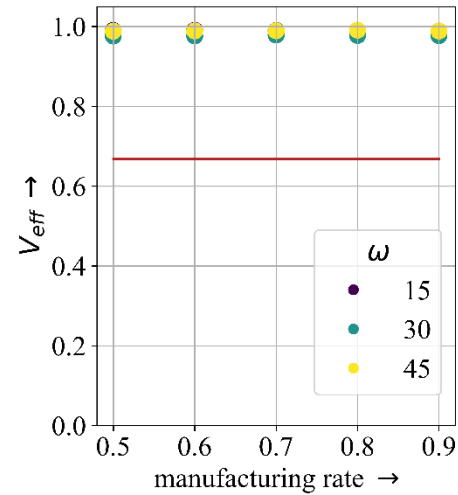
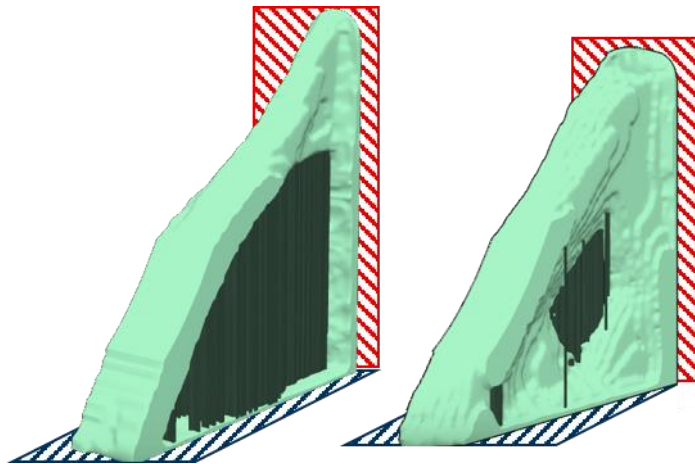
Ergebnisse

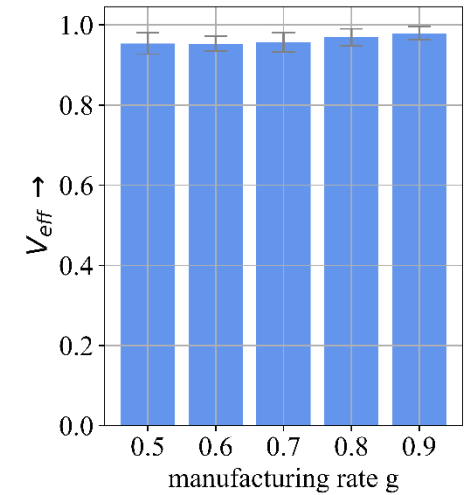
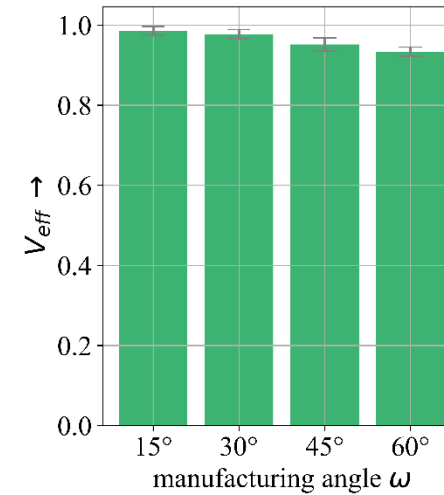
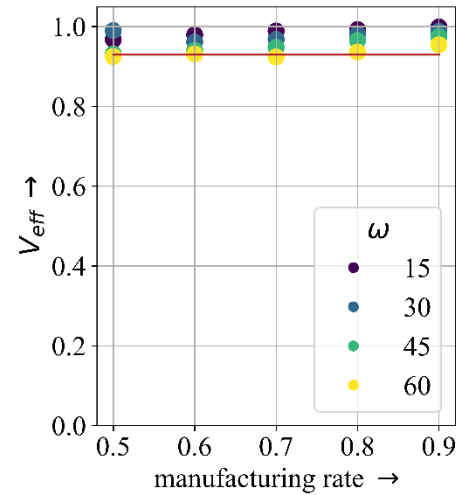
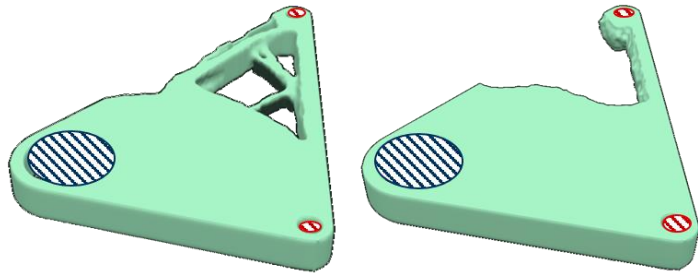
Kragbalken



Ergebnisse

Winkelhalter

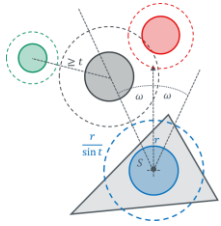




- Der Materialeinsatz wurde auf mindestens 99 % erhöht.
- Der Kragbalken kann komplett ohne Stützmaterial gefertigt werden.
- Ergebnisse hängen stark ab von:
 - Geometrie
 - Optimierungseinstellungen
 - Mechanische Zielfunktion

Rang	Kragbalken			Winkelhalter			Fahrwerksumlenker		
	g	ω	V_{eff}	g	ω	V_{eff}	g	ω	V_{eff}
1	0.6	60 °	100 %	0.8	45 °	99.10 %	0.9	15 °	99.91 %
2	0.7	60 °	100 %	0.6	15 °	99.02 %	0.8	15 °	99.25 %
3	0.7	30 °	96.25 %	0.5	15 °	99.01 %	0.5	30 °	98.97 %





Das Konzept der finiten Kugeln wurde vorgestellt und zur Beschreibung von Fertigungsrestriktionen bei extrusionsbasierter additiven Fertigung angewandt.



Der Einfluss der Fertigungsrate und des Fertigungswinkels wurde an drei Anwendungsbeispielen untersucht.



Die Ergebnisse führten zu einer effektiven Materialnutzung von mindestens 99 %, was die Durchführbarkeit der Methode beweist.



Die vorgestellte Methode ist in die Freeware Z88Arion® integriert.

Scannen, um die Software herunterzuladen und zu testen

