

Entwicklung nachgiebiger Greifer mittels Topologieoptimierung

Development of compliant grippers by means of topology optimization

Tobias Grüble, Michael Winkler, Christoph Dietenberger

RWU Hochschule Ravensburg-Weingarten University of Applied Sciences, Fakultät Maschinenbau, Doggenriedstraße, 88250 Weingarten, Deutschland

tobias.grueble@rwu.de, michael.winkler@rwu.de, christoph.dietenberger@rwu.de

Kurzfassung

Technische Probleme der heutigen Zeit sind oftmals so komplex, dass sie nicht mehr durch Intuition oder analytische Berechnungsverfahren gelöst werden können. Vielfach kommen rechnergestützte Optimierungsverfahren zum Einsatz, um einer wachsenden Anzahl an Anforderungen gerecht zu werden. Im mechanischen Strukturentwurf kann mittels Finite-Elemente-Methode (FEM) eine Topologieoptimierung durchgeführt werden, wodurch algorithmisch (nicht-intuitiv) eine lastgerechte und effiziente Verteilung von Material innerhalb eines Bauraums erreicht wird [1]. Ein vielversprechender Anwendungsbereich sind Pick-and-Place-Robotergriffe, da diese großes Optimierungspotential hinsichtlich Gewicht und Anschaffungs- bzw. Betriebskosten bieten.

In Verbindung mit nachgiebigen Mechanismen kann durch Funktionsintegration zusätzlich Gewicht eingespart werden. Hierbei wird Verformbarkeit gezielt eingesetzt, wodurch die Struktur selbst in der Lage ist, Kräfte und Bewegungen zu transformieren [2]. Die Vorteile dieser Mechanismen reichen von reduzierter Teilezahl - und damit Leichtbaupotential und geringerem Montageaufwand - bis hin zur Abwesenheit äußerer Reibung und Verschleiß, was zu einer höheren Wiederholgenauigkeit bei der Betätigung führt. Ein großer Nachteil ist jedoch der wesentlich komplexere Entwurfsprozess. Nachgiebige Mechanismen mit Festkörpergelenken (konzentrierte Nachgiebigkeit) lassen sich analytisch auslegen [3], für solche mit verteilter Nachgiebigkeit existieren zwar einige Matlab-Codes zur Topologieoptimierung [4], allerdings kaum detaillierte Beschreibungen eines Entwicklungsprozesses. In dem hier vorliegenden Beitrag wird zunächst der simulationsbasierte Entwicklungsprozess eines nachgiebigen Zentrischgreifers mit marktüblicher Topologieoptimierungssoftware [5] beschrieben und anschließend die Automatisierung des Entwurfsprozesses erläutert.

Folgende Anforderungen werden an der Greifer gestellt:

- Handhabung von Objekten mit Durchmessern d_o von 6 mm bis 12 mm, größte Bauraumabmessung $\leq 10 \cdot d_o$
- Pneumatische Aktuation, Betriebsdruck ≤ 4 bar
- Fertigung aus PA12 ($E = 1900 \text{ N/mm}^2$, $\nu = 0,3$ [6], zul. Dehnung $\epsilon_{max} < 10\%$) durch selektives Lasersintern

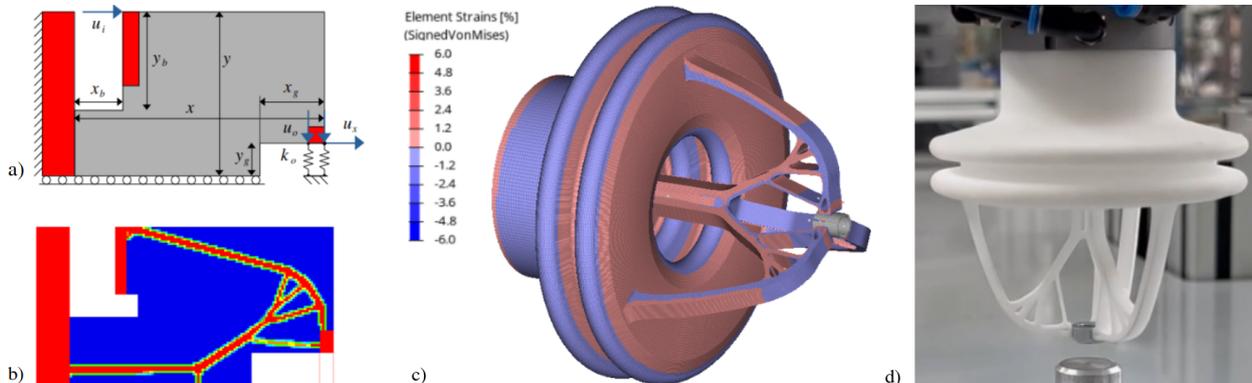


Bild 1 a) Bauraumdefinition b) Topologieoptimierter Greiferfinger c) 3D-FEM-Simulation des Greifers d) Gefertigter Greifer

Zunächst wird aus den Anforderungen der zweidimensionale Bauraum für die Topologieoptimierung eines einzelnen Greiferfingers definiert (siehe **Bild 1a**). Dieser besteht aus einem Rechteck ($x = 58 \text{ mm}$, $y = 35 \text{ mm}$) mit Aussparungen für den Pneumatikaktor links oben ($x_b = 10 \text{ mm}$, $y_b = 20 \text{ mm}$) und das Greifobjekt rechts unten ($x_g = 18 \text{ mm}$, $y_g = 7 \text{ mm}$). Bereiche der Lasteinleitung, Einspannung und der Greiferbacke (rot in **Bild 1a**) stehen für die Topologieoptimierung nicht zur Verfügung (Non-Design-Bereiche). Die Federn an der Greiferbacke ($k_o = 60 \text{ N/mm}$) dienen zur Transformation der Ausgangsbewegung in eine Ausgangskraft. Über Beschränkung der Freiheitsgrade wird die untere Kante mit einer Symmetrierandbedingung versehen. Die Knotenverschiebungen der linken Kanten werden vollständig eingeschränkt. Ferner wird eine Eingangsverformung von $u_i = 3 \text{ mm}$ eingebracht. Anschließend erfolgt eine Optimierung hinsichtlich betragsmäßig maximaler Ausgangsverformung u_o mit den Beschränkungen, dass lediglich 15% des Bauraumvolumens ausgefüllt sein dürfen. Durch weitere Restriktionen wird verhindert, dass die Greiferbacke zu sehr verkippt oder die horizontale Verschiebung zu groß wird. Die optimierte Struktur mit verteilter Nachgiebigkeit ist in **Bild 1b** gezeigt.

Da die Topologieoptimierung linear durchgeführt wurde, muss zur Validierung eine FEM-Analyse (geometrisch-nichtlinear, Kontakt) des zweidimensionalen Greiferfingers mit unterschiedlichen Greifobjektdurchmessern erfolgen. Parameter zur Beurteilung sind, neben der zulässigen Dehnung, Wegübersetzung u_o/u_i und Kraftübersetzung F_o/F_i .

Im anschließenden dreidimensionalen CAD-Entwurf sind drei der zuvor ausführlich untersuchten Finger im 120° -Winkel angebracht. Der Pneumatikaktor ist torusförmig ausgeführt, wodurch viel Fläche und damit viel Aktuationskraft bei niedrigen Drücken realisiert werden kann. Für ein schnelles An- und Abdocken ist die mechanische und pneumatische Schnittstelle zum Roboter über eine Schnellwechsellkupplung (Schunk SWK-005 [7]) realisiert. Eine finale FEM-Analyse (3D, geometrisch-nichtlinear, Kontakt, siehe **Bild 1c**) ergab bei einem Druck von 4 bar eine Greifkraft von etwa 50 N für Greifobjekte mit $d_o = 6$ mm bzw. 200 N bei $d_o = 12$ mm. Ein Alleinstellungsmerkmal des entwickelten Greifers (siehe **Bild 1d**) im Vergleich zu aktuell in Serie erhältlichen Greifern stellt die servopneumatische Ansteuerbarkeit dar, wodurch sich die Greifkraft steuern lässt. Neben der Einsparung von Druckluft führt auch die geringe Masse von 87 g zu einer Reduktion von Betriebskosten, da weniger Energie beim Abbremsen oder Beschleunigen aufgewendet werden muss.

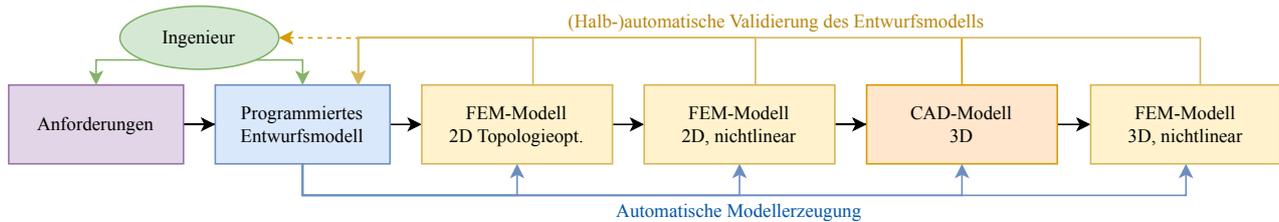


Bild 2 Übersicht über den automatisierten Entwicklungsprozess

Für ähnliche Bauweisen kann der vorgestellte Entwicklungsprozess vor allem hinsichtlich der Ableitung des Bauraums aus den Anforderungen und der Erzeugung von FEM-Modellen automatisiert werden. Ein an den Systementwurf der VDI 2206 (V-Modell, vgl. [8]) angelehnter Prozess ist in **Bild 2** gezeigt. Der Ingenieur beschäftigt sich hierbei nicht mehr direkt mit der Erzeugung einzelner Domänenmodellen (FEM, CAD, ...), sondern programmiert aus den Anforderungen ein Entwurfsmodell. Dieses beinhaltet neben den Modellierungsparametern auch das Modellierungswissen der entsprechenden Domäne (Ontologie). Hiermit lassen sich bei Ausführung des Entwurfsmodells sequenziell einzelne Domänenmodelle erzeugen und anschließend automatisch mit den Anforderungen abgleichen. Sind diese erfüllt, wird die Erzeugung des nächsten Modells eingeleitet. Somit können ohne viel Mehraufwand beliebig große Parameterstudien zur Erforschung des Entwurfsraums automatisch generiert und ausgewertet werden. Der Prozess ermöglicht ebenfalls eine manuelle Validierung durch den Ingenieur, falls sich dies z.B. für CAD-Modelle schlecht automatisieren lässt. Neben einer schnelleren Anpassung des Produkts an individuelle Einsatzzwecke (z.B. Greifobjektgeometrie) lassen sich aufgrund des zentralen Datenmodells Inkonsistenzen im Entwurfsprozess vermeiden. Ferner lässt sich das Entwurfsmodell problemlos auf weitere Domänen erweitern oder in einen übergeordneten Entwurfsprozess einbetten.

Danksagung: Ein Teil der vorliegenden Untersuchungen wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Vorhabens „Automatisierter Entwurf eines geometrischen und kinetischen digitalen Zwillings einer Rohbaufertigungsanlage für die Virtuelle Inbetriebnahme (TWIN)“.

Literatur

- [1] Xianmin Zhang und Benliang Zhu: *Topology Optimization of Compliant Mechanisms*. Singapur: Springer-Verlag, 2018. ISBN: 978-981-13-0431-6. S. 10f.
- [2] Luzhong Yin, G.K. Ananthasuresh: *Design of Distributed Compliant Mechanisms* Mechanics Based Design of Structures and Machines Vol. 31, No.2, 2003, S. 152
- [3] H. Jahn, S. Henning, and L. Zentner: *CoMSys - ein GUI-basiertes Berechnungstool zur Analyse und Optimierung nachgiebiger Mechanismen*. Achte IFToMM D-A-CH Konferenz 2022: 24./25. Februar 2022, Online-Konferenz, doi: 10.17185/duerpublico/75432.
- [4] Benliang Zhu, Xianmin Zhang, Hongchuan Zhang, Junwen Liang, Haoyan Zang, Hai Li, Rixin Wang: *Design of compliant mechanisms using continuum topology optimization: A review*, Mechanism and Machine Theory, Volume 143, 2020, 103622, ISSN 0094-114X. S. 9.
- [5] Altair® OptiStruct® URL: <https://www.altair.com/optistruct> (besucht am 01.12.2022)
- [6] thinkTEC 3D: *Datenblatt PA12*. URL: https://die-3d-drucker.com/wp-content/uploads/2019/03/Datenblatt_PA12.pdf (2017), (besucht am 27.11.2022)
- [7] SCHUNK GmbH & Co. KG *Schnellwechselsystem SWS* URL: https://schunk.com/de/de/automatisierungstechnik/wechselsysteme/sws/c/PGR_1135 (besucht am 01.12.2022)
- [8] VDI/VDE 2206: *Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme*, Stand: 2021-11

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online



Offen im Denken



In: Neunte IFToMM D-A-CH Konferenz 2023

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/77393

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20230314-154631-9



Dieses Werk kann unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Lizenz (CC BY-SA 4.0) genutzt werden.