

TITEL

Untersuchung der Übertragbarkeit von
SLA-Support-Strukturen auf das FDM-Druckverfahren für
detailreiche 3D-Modelle und Miniaturen

EXPOSÉ – PRAXISPROJEKT

ausgearbeitet von

Nino Malgadey

im Studiengang
MEDIENINFORMATIK

Prüfer/in: XXX
Technische Hochschule Köln

Gummersbach, im Oktober 2025

Adressen: Nino Malgadey
Am Sandber 28
51643 Gummersbach
nino_maurice.malgadey@smail.th-koeln.de

XXX
Technische Hochschule Köln
Institut für Informatik
Steinmüllerallee 1
51643 Gummersbach
XXX

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung / Ausgangslage und Motivation	3
2	Zielsetzung	4
3	Forschungsfragen	5
4	Methodisches Vorgehen	6
4.1	Versuchsaufbau	6
4.2	Untersuchungsparameter	6
4.3	Datenerhebung	6
5	Relevanz und erwarteter Nutzen	7
6	Zeitplan	8
7	Ressourcen / Equipment	9
8	Risiken, Grenzen	10
9	Erwartungen	11
9.1	Erwartete Artefakte	11
9.2	Erwartete Ergebnisse	11
	Abbildungsverzeichnis	12
	Tabellenverzeichnis	13
	Literaturverzeichnis	14

Kurzfassung

Das *Fused-Deposition-Modeling-Verfahren (FDM)* ist ein verbreitetes Verfahren der additiven Fertigung, bei dem thermoplastisches Filament schichtweise aufgetragen und verfestigt wird. Es findet Anwendung in einer Vielzahl von Bereichen, insbesondere im Umfeld von Einsteiger- und Desktop-3D-Drucksystemen.

Im Rahmen dieses Projekts wird untersucht, in welchem Umfang die aus dem *Stereolithografie-Verfahren (SLA)* bekannten Support-Strukturprinzipien – bestehend aus einer *Base* (Fußplatte), *Support Columns* (Stützsäulen) und *Contact Points* (Kontaktpunkte) – auf das FDM-Druckverfahren übertragbar sind. Ziel ist es, zu analysieren, wie sich diese SLA-inspirierten Strukturen im Vergleich zu herkömmlichen FDM-Supporttypen hinsichtlich Haftung, Maßhaltigkeit, Detailgenauigkeit und Nachbearbeitungsaufwand verhalten.

Der Fokus liegt dabei auf detailreichen Druckobjekten wie Miniaturen, Figuren und kleinformatigen Skulpturen, bei denen die Oberflächenqualität und Präzision eine zentrale Rolle spielen. Die Experimente werden unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt, die sich an Einsteiger- und Hobbyanwendungen orientieren. Zum Einsatz kommen ein *Bambu Lab A1 Mini* sowie ergänzend ein *Prusa MK3 mit E3D-Revo-Upgradekit*, um unterschiedliche Systeme und Druckparameter miteinander vergleichen zu können.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines strukturierten Workflows, der eine geordnete und reproduzierbare Vorgehensweise zur Nutzung von SLA-inspirierten Support-Strukturen im FDM-Druck ermöglicht. Dieser Workflow soll Anwender:innen eine einfache Möglichkeit bieten, angepasste Support-Designs für detailreiche Modelle zu erstellen und sowohl bei vorgestützten (presupported) als auch bei selbst gestützten (supported) Modellen anzuwenden.

Langfristig soll das Projekt eine Grundlage für die Integration entsprechender Funktionen in gängige Open-Source-Software wie *Blender* oder *OrcaSlicer* schaffen, um eine benutzerfreundliche und nachvollziehbare Implementierung solcher Strukturen im FDM-Druckprozess zu ermöglichen.

1 Einleitung / Ausgangslage und Motivation

Support-Strukturen sind ein wesentlicher Bestandteil vieler 3D-Druckverfahren, da sie während des Druckprozesses Überhänge und freistehende Geometrien stabilisieren. Im SLA-Verfahren bestehen Support-Strukturen typischerweise aus drei funktionalen Komponenten:

einer *Base* (Fußplatte), die an der Bauplattform haftet,
Support Columns (Stützsäulen), die das Modell tragen,
und *Contact Points* (Kontaktpunkte), die das Modell nur minimal berühren, um eine einfache Entfernung nach dem Druck zu ermöglichen Formlabs Support (2025).

Diese dreiteilige Struktur bietet beim SLA-Druck eine gute Balance zwischen Stabilität, Materialeffizienz und leichter Nachbearbeitung. Im Gegensatz dazu nutzt das FDM-Verfahren andere Supportstrategien, wie Raster- oder organische Supports, die primär auf dem Prinzip der Materialüberlagerung basieren Jiang u. a. (2018); Kristiawan u. a. (2021).

Bisher existieren jedoch kaum Untersuchungen dazu, inwieweit die aus SLA bekannten Strukturprinzipien (Base, Stützsäulen, Kontaktpunkte) auf FDM-Druckverfahren übertragbar sind.

Die persönliche Motivation für dieses Projekt ergibt sich aus der praktischen Arbeit mit dem FDM-Druck detailreicher Modelle – etwa Miniaturen, Figuren oder kleinformatiger Skulpturen. Hier treten regelmäßig Probleme auf, die in SLA-Drucksystemen durch optimierte Support-Geometrien bereits reduziert werden konnten. Aus dieser Beobachtung entstand die Forschungsfrage, ob die Prinzipien der SLA-Support-Strukturen auch im FDM-Druck nutzbar sind und welche Anpassungen dafür erforderlich wären.

2 Zielsetzung

Ziel des Projekts ist es, die Übertragbarkeit der im SLA-Druck verwendeten Support-Strukturprinzipien – *Base*, *Support Columns* und *Contact Points* – auf das FDM-Verfahren systematisch zu untersuchen, insbesondere im Kontext detailreicher 3D-Modelle und Miniaturen. Dabei soll analysiert werden:

- welche geometrischen und materialtechnischen Anpassungen notwendig sind, um SLA-ähnliche Strukturen im FDM-Druck zu realisieren,
- wie sich diese Strukturen im Vergleich zu herkömmlichen FDM-Supports hinsichtlich Haftung, Stabilität, Nacharbeitbarkeit und Druckqualität verhalten,
- und ob sich daraus ein Workflow ableiten lässt, der diese Strukturen in FDM-Slicern nutzbar macht.

Langfristig soll auf Basis der Ergebnisse ein standardisierter Workflow entstehen, der für FDM-Nutzer:innen eine klare Vorgehensweise bietet, um optimierte Stützstrukturen zu entwerfen oder automatisiert zu generieren. Darüber hinaus wird geprüft, inwiefern sich eine Implementierung in Open-Source-Slicer wie *OrcaSlicer* oder Modellierungssoftware wie *Blender* anbietet.

3 Forschungsfragen

1. In welchem Umfang können die Strukturprinzipien *Base*, *Support Columns* und *Contact Points* aus dem SLA-Verfahren auf den FDM-Druck übertragen werden?
2. Welche Anpassungen der Geometrie (z. B. Säulendicke, Abstände, Kontaktpunktgröße) sind erforderlich, damit diese Strukturen im FDM stabil druckbar sind?
3. Wie unterscheiden sich die adaptierten SLA-Strukturen im Vergleich zu herkömmlichen FDM-Supporttypen hinsichtlich Haftung, Oberflächenqualität und Nachbearbeitungsaufwand Jiang u. a. (2018)?
4. Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Materialien, Drucktemperaturen und Schichthöhen auf die Funktion der angepassten Strukturen?
5. Wie kann aus den Untersuchungsergebnissen ein reproduzierbarer Workflow entwickelt werden, der für eine spätere Software-Integration geeignet ist?

4 Methodisches Vorgehen

Das Projekt folgt einem experimentellen Ansatz, bei dem SLA-inspirierte Support-Strukturen für das FDM-Verfahren modelliert, gedruckt und mit bestehenden FDM-Supporttypen verglichen werden.

4.1 Versuchsaufbau

Für die Tests werden ein *Bambu Lab A1 Mini* und ein *Prusa MK3 mit E3D Revo-Upgradakit* verwendet. Diese Systeme repräsentieren typische FDM-Drucker für Einsteiger- und Semi-Profi-Anwendungen. Als Filamente werden PLA und PETG eingesetzt, da sie unterschiedliche Haftungs- und Schrumpfverhalten zeigen Kristiawan u. a. (2021).

4.2 Untersuchungsparameter

- Strukturvarianten: traditionelle FDM-Supports vs. SLA-inspirierte Supportformen (Base, Columns, Contact Points)
- Geometrieparameter: Säulendurchmesser, Säulenabstand, Kontaktpunktgröße, Basisdicke
- Prozessparameter: Druckbett- und Düsentemperatur, Schichthöhe, Druckgeschwindigkeit
- Evaluationskriterien: Haftung, Maßhaltigkeit, Oberflächenqualität, Nachbearbeitungsaufwand

4.3 Datenerhebung

Jede Strukturvariante wird mehrfach unter konstanten Bedingungen gedruckt. Die Ergebnisse werden quantitativ (Messwerte, Warping, Abweichungen) und qualitativ (Bildanalyse, visuelle Bewertung der Oberflächen) erfasst. Zur Auswertung werden statistische Verfahren eingesetzt, um signifikante Unterschiede zwischen den Strukturtypen zu bestimmen Dey u. Yodo (2020).

5 Relevanz und erwarteter Nutzen

Das Projekt besitzt wissenschaftliche und praktische Relevanz für den Bereich der additiven Fertigung. Wissenschaftlich trägt es dazu bei, den Einfluss alternativer Support-Geometrien auf die Druckqualität im FDM-Verfahren zu verstehen. Praktisch kann es zu einer Optimierung der Druckergebnisse beitragen, insbesondere bei filigranen 3D-Modellen, Miniaturen und anderen detailreichen Objekten.

Die entwickelten Erkenntnisse sollen dazu dienen:

- den Materialverbrauch und Nachbearbeitungsaufwand zu reduzieren,
- reproduzierbare Workflows für Einsteiger und Maker bereitzustellen,
- und langfristig neue Slicer-Funktionen zur automatisierten Generierung von SLA-inspirierten Stützstrukturen zu ermöglichen.

6 Zeitplan

Zeitraum	Arbeitsschritte
Ende November – Mitte Dezember	Literaturrecherche zu SLA- und FDM-Support-Strukturen; theoretische Grundlagen und Versuchsplanung.
Mitte Dezember – Anfang Januar	Modellierung erster SLA-inspirierter FDM-Supportstrukturen; Kalibrierung der Drucker und Testdrucke.
Januar	Hauptversuchsreihen mit unterschiedlichen Parametern und Support-Geometrien; Datenerhebung und Dokumentation.
Februar	Statistische Auswertung der Ergebnisse; Entwicklung des Workflows und Erstellung eines optimierten OrcaSlicer-Profiles.
März	Zusammenfassung der Ergebnisse; Abschlussbericht und Vorbereitung der Präsentation.

Tabelle 6.1: Geplanter Zeitrahmen für das Projekt.

7 Ressourcen / Equipment

- **Hardware:** Bambu Lab A1 Mini, Prusa MK3 mit E3D Revo-Upgradekit, Messschieber, Mikroskopkamera.
- **Materialien:** PLA und PETG-Filamente, Kalibrierobjekte, Testmodelle, Haftmittel.
- **Software:** OrcaSlicer, Blender, Python (*pandas*, *matplotlib*), LibreOffice oder Excel.

8 Risiken, Grenzen

- **Technische Risiken:** Fehldrucke und mechanische Instabilitäten können bei filigranen Supportformen auftreten.
- **Methodische Grenzen:** Die Untersuchung beschränkt sich auf zwei Drucksysteme und eine begrenzte Materialauswahl.

9 Erwartungen

9.1 Erwartete Artefakte

- **Physische Artefakte:** Testdrucke mit verschiedenen Support-Geometrien (FDM vs. SLA-inspiriert).
- **Datensätze:** Tabellen mit Messwerten zu Maßhaltigkeit, Haftung, Oberflächenbeschaffenheit.
- **Analyse-Skripte:** Python-Auswertungen zur grafischen Darstellung von Qualitätsmetriken.
- **Workflow-Dokumentation:** Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Umsetzung SLA-inspirierter Supports im FDM-Druck.
- **Optimiertes Slicer-Profil:** Beispielhafte OrcaSlicer-Konfiguration mit den besten getesteten Parametern.

9.2 Erwartete Ergebnisse

Es wird erwartet, dass die Übertragung von SLA-Support-Strukturprinzipien auf den FDM-Druck praktikabel ist, sofern geometrische Anpassungen vorgenommen werden. Insbesondere kleinere Kontaktpunkte und dünnere Stützsäulen könnten zu einer verbesserten Oberflächenqualität und leichterem Entfernung führen. Gleichzeitig ist anzunehmen, dass zu filigrane Strukturen im FDM aufgrund des schichtweisen Materialauftrags an Stabilität verlieren. Das Projekt soll somit einen Beitrag zur Optimierung von Support-Strukturen im FDM leisten und eine Grundlage für zukünftige Slicer-Integrationen schaffen.

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

6.1	Geplanter Zeitrahmen für das Projekt.	8
-----	---	---

Literaturverzeichnis

- [Dey u. Yodo 2020] DEY, Arijit ; YODO, Tetsuya: A Systematic Survey of Fused Filament Fabrication: Process Parameters, Materials, and Characterization. In: *Additive Manufacturing* 34 (2020), S. 101285. <http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2020.101285>. – DOI 10.1016/j.addma.2020.101285. – Accessed 15 October 2025
- [Formlabs Support 2025] FORMLABS SUPPORT: *How Supports Work in SLA Printing*. <https://support.formlabs.com/s/article/How-supports-work-in-SLA-printing>. Version: 2025. – Accessed 16 October 2025
- [Jiang u. a. 2018] JIANG, Jingchao ; XU, Xun ; STRINGER, Jonathan: Support Structures for Additive Manufacturing: A Review. In: *Journal of Manufacturing and Materials Processing* 2 (2018), Nr. 4, 64. <http://dx.doi.org/10.3390/jmmp2040064>. – DOI 10.3390/jmmp2040064. – Accessed 16 October 2025
- [Kristiawan u. a. 2021] KRISTIAWAN, Ruben B. ; IMADUDDIN, Fitriani ; ARIAWAN, Dody ; UBAIDILLAH ; ARIFIN, Zainal: A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters. In: *Heliyon* 7 (2021), Nr. 4, S. e06750. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06750>. – DOI 10.1016/j.heliyon.2021.e06750. – Accessed 15 October 2025