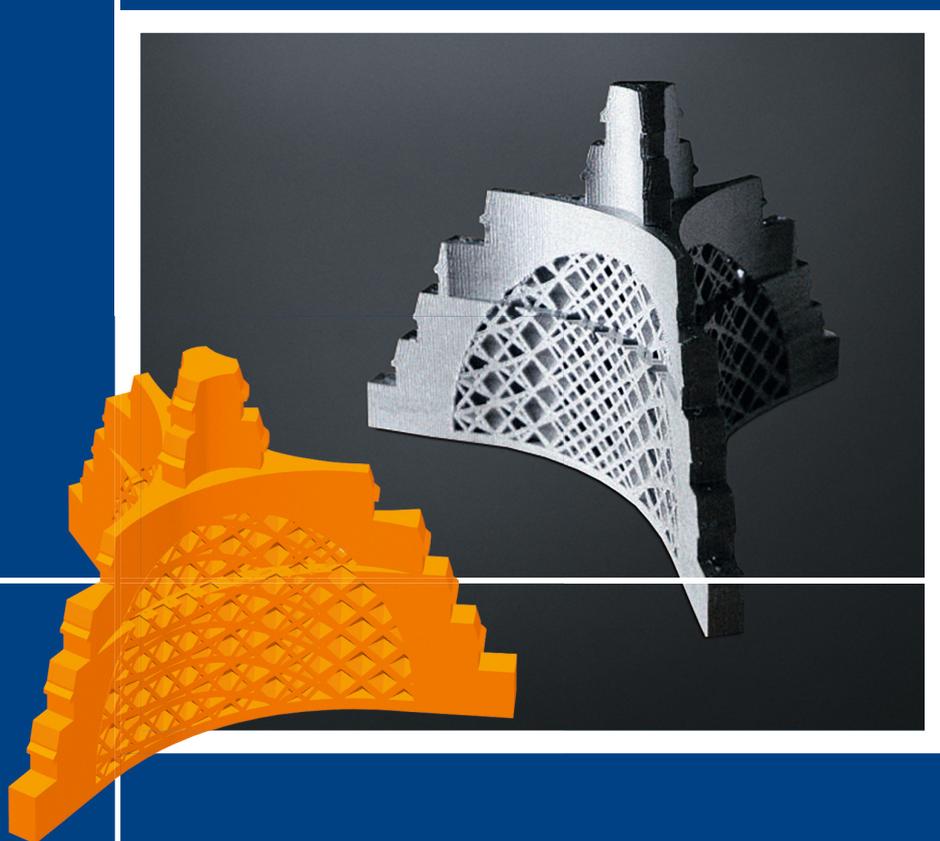


Petra Rapp
Fabian Hotz



Perfekte 3D-Drucke mit Simplify3D



HANSER

Rapp, Hotz
Perfekte 3D-Drucke mit Simplify3D



Ihr Plus – digitale Zusatzinhalte!

Auf unserem Download-Portal finden Sie zu diesem Titel kostenloses Zusatzmaterial. Geben Sie dazu einfach diesen Code ein:

`plus-bhwx6-yucz`

plus.hanser-fachbuch.de



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Petra Rapp
Fabian Hotz

Perfekte 3D-Drucke mit Simplify3D

HANSER

Die Autoren:

Petra Rapp, Wilhelmsdorf

Fabian Hotz, Wilhelmsdorf

Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen in folgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht, auch nicht für die Verletzung von Patentrechten, die daraus resultieren können.

Ebenso wenig übernehmen Autor und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benützt werden dürften.

Bibliografische Information der deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2022 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Melanie Zinsler

Titelmotiv: © Multec GmbH

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisation: Max Kostopoulos

Satz: Eberl & Koesel Studio, Altusried-Krugzell

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

Print-ISBN: 978-3-446-47033-0

E-Book-ISBN: 978-3-446-47317-1

ePub-ISBN: 978-3-446-47402-4

Inhalt

Autorenverzeichnis	XIII
1 Einführung	1
2 FFF-Technologie	5
2.1 Einleitung	5
2.2 Das Prinzip	5
2.3 FFF-Extrusion	6
2.3.1 Funktionsweise Extruder	6
2.3.2 Extrusionsbreiten und deren Einfluss auf Maßhaltigkeit und Festigkeit	9
2.3.3 Die Schwächen der Technologie und deren Abhilfe	11
2.4 Von der Datei zum Druckteil – CAM-Software	11
2.5 Technologische Fachbegriffe – Der Überblick	12
2.6 Druckteile: Feste Schale – Gitterstruktur-Kern	15
2.6.1 Seitliche Kontur-/Umfangshülle – Perimeter	16
2.6.2 Oberste/Unterste feste Schichten	17
2.6.3 Infill – Füllung	18
2.6.4 Übergänge – Bridges	19
2.6.5 Verhalten bei dünnen Wänden – Single-Extrusion	20
2.6.6 Die sichtbare Z-Naht	21
2.7 Hilfselemente und -funktionen in Simplify3D	22
2.7.1 Stützstrukturen, Überhangswinkel und Brücken	22
2.7.2 Haftungsverbesserung: Raft und Rand (engl. Brim)	27
2.7.3 Filament-Einzug (Rückzug) – Retract	28

2.7.4	Schürze – Skirt	29
2.7.5	Grundierungs-Stütze – Prime Pillar	30
2.7.6	Tropfenschutz – Ooze Shield	31
2.7.7	Freifahrten – Wegbewegungen	33
2.7.8	Druckreihenfolge	33
2.8	Druckteilgeometrie – Möglichkeiten und Grenzen	35
2.9	Wertebereich der wichtigsten Verfahrensparameter	37
2.10	Die Maschinen	39
2.10.1	Extruder	40
2.10.2	Drucktisch – Heizbett	41
2.10.3	Druckkühlung	42
2.11	Filament	42
2.11.1	Gängige Kunststoffe	43
2.11.2	Metalldruck in der FFF-Technologie	45
2.11.2	Filamentdurchmesser und -eigenschaften	46
2.11.4	Einfluss des Kunststoffs auf das Druckergebnis	47
2.12	Viele Einflussfaktoren – viele Einstellmöglichkeiten	48
3	Simplify3D Installation und Programmoberfläche	51
3.1	Installation und Lizenzierung	51
3.1.1	Hard- und Software-Anforderungen für Simplify3D	51
3.1.2	Installation	52
3.1.3	Software-Aktivierung	53
3.1.4	Erstkonfiguration	53
3.2	Programm Hauptkomponenten	55
3.3	Simplify3D-Startfenster: Programmoberfläche	57
3.4	Druckvorschau mit Druckanimation	61
3.5	Ansichtseinstellungen	62
3.6	Simplify3D Datei-Typen und -Verwendung	65
3.6.1	Hersteller-Dateien (Factory-Format)	67
3.6.2	Profil-Dateien	68
3.6.3	Modell-Dateien	69
3.6.4	G-Codes – Druckdateien	69

3.7	Menüpunkte Konto und Hilfe	71
3.7.1	Menüpunkt Konto	71
3.7.2	Hilfe-Menü	72
3.7.3	Hilfe durch Tooltips (Mouse-over)	72
3.8	Liste der Shortcuts	73
4	Dateien für den 3D-Druck	75
4.1	Geometrie-Daten in Form von Facettenkörpern	75
4.1.1	STL-Dateien im ASCII- oder Binary-Dateiformat	77
4.1.2	Weitere Dateiformate	77
4.2	Erzeugung von Facettenmodellen	78
4.2.1	Auflösung – Feinheit von Facettenkörpern	78
4.2.2	Exporteinstellungen aus CAD- und Sculpting-Programmen	80
4.2.3	Dateigrößen und Einheiten beim Export	81
4.3	Gitternetzfunktionen in Simplify3D	81
4.4	Facettenfehler und Reparatur in Simplify3D	81
4.5	Gitternetzfunktionen in Simplify3D	89
5	Modellbearbeitung in Simplify3D	95
5.1	Bedienelemente für die Modellbearbeitung	95
5.2	Import und Export von Modellen	98
5.3	Selektion, Sichtbarkeit, Vervielfältigung und Gruppierung	101
5.4	Positionierung und Orientierung von Modellen	104
5.4.1	Translation, Rotation und Skalierung nach Augenmaß	104
5.4.2	Verwenden des 3D-Gizmos	106
5.5	Modell-Datenliste rechts – konkrete Maßeingaben	107
5.5.1	Translation mit Maßeingaben	108
5.5.2	Modellabmessung und Skalierung mit Maßeingaben	109
5.5.3	Rotation mit Maßeingabe	110
5.6	Spezialfunktionen zur Positionierung und Skalierung	111
5.6.1	Modelle zentrieren und arrangieren	111
5.6.2	Ausgewählte Modell-Ursprünge aneinander anpassen	112
5.6.3	Modell auf Druckbett ablegen	112
5.6.4	Oberfläche auf Druckbett platzieren	112

5.6.5	Auf Maximalgröße skalieren	113
5.6.6	Inch auf Millimeter skalieren	114
6	Druckprozesse und G-Code-Erzeugung	115
6.1	Profile, Prozesse und Modellzuordnung	115
6.1.1	Grundlagen Profile und Prozesse	115
6.1.2	Prozess erstellen und Prozess-Einstellungen	117
6.1.3	Ändern, Kopieren und Löschen von Prozessen	122
6.1.4	Modell-Zuordnungen zu Prozessen	122
6.1.5	Mehrere Prozesse für mehrere Modelle	124
6.2	Erzeugung einer Druckdatei – Workflow	124
6.2.1	Starten der G-Code-Erzeugung → Auf Druck vorbereiten!	127
6.2.2	Ampelsystem – Wichtige Einstellungen	129
6.2.3	Beispiel: Vom Modell zur Druckdatei	138
6.3	Druckvorschau	141
6.3.1	Druckbett-Statistiken	141
6.3.2	Ansichtseinstellung: In Vorschau anzeigen	142
6.3.3	Farbgebung der Druckvorschau	143
6.3.4	Echtzeit-Updates	146
6.3.5	Drucken/Druckdatei speichern	147
6.4	Drucksimulation – Animation	147
7	Werkzeuge und Tools	151
7.1	Funktionen und Optionen in den Werkzeugen	151
7.2	Optionen	152
7.3	Geräte-Bedienfeld	161
7.3.1	Verbindung zum Drucker – Initialisierung	163
7.3.2	Dateiliste der Druckdateien – Die Library	164
7.3.3	Kommunikation	165
7.3.4	Temperaturverlauf	167
7.3.5	Gerätebedienung – Tipp-Kontrollen	168
7.3.6	Druckeransteuerung – Heizelemente, Kühlung, Druckdaten ...	169
7.4	Drucktisch-Nivellierungs-Assistent	172
7.5	Dual-Extrusions-Assistent	173

7.6	Prozessteilungs-Assistent	176
7.7	Firmware-Konfiguration	180
7.8	Stützstrukturen anpassen	181
	7.8.1 Automatische Platzierung von Stützstrukturen	182
	7.8.2 Manuelle Platzierung von Stützen	183
	7.8.3 Stützstrukturen speichern	185
7.9	Add-Ins → Bild in 3D konvertieren	187
8	Druckparameter im Detail	191
8.1	Extruder/Extruder	192
	8.1.1 Extruder-Liste/Extruder List	193
	8.1.2 Überblick-Extruder/Overview	193
	8.1.3 Überquell-Kontrolle/Ooze Control	195
8.2	Schicht/Layer	199
	8.2.1 Schicht-Einstellungen/Layer Settings	200
	8.2.2 Einstellung der ersten Schicht/First Layer Settings	209
	8.2.3 Startpunkte/Start Points	212
8.3	Ergänzungen/Additions	215
	8.3.1 Schürze/Rand/Skirt/Brim	215
	8.3.2 Raft/Raft	219
	8.3.3 Grundierungs-Stütze/Prime Pillar	221
	8.3.4 Tropfenschutz/Ooze Shield	223
8.4	Infill/Infill	227
	8.4.1 Allgemein (Infill)/General	228
	8.4.2 Versatz Füllungs-Winkel (innen)/Internal Fill Angle Offsets	237
	8.4.3 Versatz Füllungs-Winkel (außen)/External Infill Angle Offsets ..	238
8.5	Stützen/Support	239
	8.5.1 Stützmaterial erzeugen/Support Material Generation	240
	8.5.2 Dichte Stützstruktur/Dense Support	244
	8.5.3 Automatische Platzierung/Automatic Placement	248
	8.5.4 Spalt zum Bauteil/Separation From Part	249
	8.5.5 Stütz-Infill-Winkel/Support Infill Angles	252

8.6	Temperatur/Temperature	254
8.6.1	Temperatur-Controller Liste/Temperature Controller List	254
8.6.2	Überblick Temperatur/Overview Temperature	255
8.7	Abkühlen/Cooling	256
8.7.1	Ventilatorkontrolle pro Schicht/Per-Layer Fan Controls	257
8.7.2	Ventilator-Optionen/Fan Options	258
8.7.3	Aufhebungen des Ventilators/Fan Overrides	258
8.8	G-Code	259
8.9	Skripte/Scripts	259
8.9.1	Start-Script/Starting Script	260
8.9.2	Ebenen-Wechsel Script/Layer Change Script	260
8.9.3	Retraction (Einfahren)-Script/Retraction Script	260
8.9.4	Werkzeugwechsel-Script/Tool Change Script	261
8.9.5	Ende-Script/Ending Script	261
8.9.6	Nachbearbeitung/Post Processing	261
8.10	Geschwindigkeiten/Speeds	261
8.10.1	Geschwindigkeiten/Speeds	262
8.10.2	Geschwindigkeits-Aufhebungen/Speed Overrides	264
8.11	Andere/Other	265
8.11.1	Übergänge/Bridging	265
8.11.2	Dimensionsanpassungen/Dimensional Adjustments	271
8.11.3	Rohfaden-Eigenschaften/Filament Properties	273
8.11.4	Einzug bei Werkzeugwechsel/Tool Change Retraction	273
8.12	Fortgeschritten/Advanced	275
8.12.1	Modifikationen der Schichten/Layer Modifications	275
8.12.2	Verhalten bei dünnen Wänden/Thin Wall Behavior	275
8.12.3	Einzelne Extrusionen/Single Extrusions	282
8.12.4	Überquell-Kontrolle/Ooze Control Behavior	285
8.12.5	Bewegungs-Verhalten/Movement Behavior	288
8.12.6	Slicing-Verhalten/Slicing Behavior	289

9	Die praktische Anwendung	293
9.1	Einleitung	293
9.1.1	Einflussfaktoren für die Festigkeit	294
9.1.2	Druckdaueroptimierung	295
9.1.3	Oberflächenoptimierung	296
9.1.4	Abhilfe gegen Nachtropfen/Oozing	297
9.1.5	Reduktion von Schrumpfung/Warping	297
9.1.6	Stützmaterial	298
9.1.7	Materialauswahl	302
9.1.8	Einfluss der Konstruktion	302
9.1.9	Tipps zum Einstieg in die Technologie	303
9.2	Funktionsteil Deckel – Dualdruck mit Stützmaterial	305
9.3	Werkzeugteil Tiefziehform – hochfeste Bauteile	318
9.4	Funktionsteil Elektronikgehäuse – Verhalten bei dünnen Wänden	327
9.5	Elektronikgehäuse mit mehreren Prozessen	337
9.6	Multimaterialdruck elastischer Reifen mit fester Felge und Stützmaterial	346
9.7	G-Code-Erzeugung – Checkliste	356
9.8	Kalibrierung mit Testdrucken	359
9.8.1	Düsentemperatur, Übergänge und Einzüge in Temperaturabhängigkeit	359
9.8.2	Extrusions-Multiplikator	362
9.8.3	Überhangswinkel	363
9.8.4	Übergang (Brücke) und Filament-Einzug	365
9.8.5	Weitere Tipps zur Kalibrierung, Fehlerbehebung und Optimierung im 3D-Druck	366
9.9	Schlussfolgerung und Ausblick	367
	Sachverzeichnis	369

Übersicht Übungsdateien

Dateiname	Download
Programmstart.factory	https://plus.hanser-fachbuch.de/
Facettenmodelle.factory	
Motorhalter_fehler.stl	
Modellhandling.factory	
Prozesse.factory	
image-3d.factory	
stuetzen-beispiel.factory	
Tiefziehform.factory	
elektronikgehaeuse.factory	
elektronikgehaeuse_2.factory	
Rad-Multimaterialdruck.factory	
Kalibrierung_gesamt.factory	
Filigraner-Schriftzug Tutorial	
Metalldruck Präsentation	www.3d-druck-knowhow.de (Präsentation)
Stützmaterial dichte Schichten Tutorial	www.3d-druck-knowhow.de (Übungsdateien und Tutorial)
Schwingungen und Beschleunigung Tutorial	www.3d-druck-knowhow.de (Tutorial)
Kalibrierung der ersten Schicht	www.3d-druck-knowhow.de (Tutorial)

Autorenverzeichnis



Dipl.-Ing. (BA) Petra Rapp

Maschinenbau-Ingenieurin und Geschäftsführerin des 3D-Drucker-Herstellers Multec GmbH

Frau Rapp arbeitete über 30 Jahre in der Entwicklung, Forschung und Konstruktion in verschiedenen Bereichen der Luftfahrt (Zeppelin Luftschifftechnik GmbH), im Motorenbau (MTU), im Sondermaschinenbau in verschiedenen Unternehmen und in der Papieraufbereitung (Voith GmbH). Im Jahr 2011 gründete sie zusammen mit ihrem Mann die Firma Multec mit der Zielsetzung industrielle additive Fertigungsanlagen der FFF-Technologie mit hochentwickelten 3D-Druckköpfen herzustellen und die Industrie in allen Bereichen dieses neuen Fertigungsverfahrens zu unterstützen. Unter anderem entwickelte sie mehrere Patente für Multi-Material-Druckköpfe mit einem einzigartigen Düsenverschluss-System. Diese Lösung ermöglicht das Drucken mit einem Düsen-Wechselsystem, das sowohl die Breite der Anwendung in Richtung Multi-Material-Werkstücke deutlich erweitert, als auch eine deutliche Reduktion der Fertigungsdauer durch Düsenkombinationen mit größerem Volumenstrom bei gleichzeitig guter Oberfläche erlaubt.

In Zusammenarbeit mit Hochschulen, Instituten und Partnern der Industrie ist sie an der Forschung und Weiterentwicklung in verschiedenen Bereichen wie Materialien, Technologie-Optimierung und Hybridisierung von Technologien beteiligt.

Im Unternehmen Multec leitet Frau Rapp sowohl die Entwicklung und die Anwendungsberatung als auch das Schulungs- und Support-Engineering-Team für die CAM-Software Simplify3D. Sie hat langjährige Erfahrung im Bereich der Optimierung der Technologie in den Bereichen fertigungs- und festigkeitsgerechte Konstruktion, Einsatz von Kunststoffen für verschiedene Anwendungsbereiche und dem wirtschaftlichen industriellen Einsatz der Technologie durch bestmögliche Nutzung der CAM-Software.



Fabian Hotz

ist seit 2014 bei der Firma Multec und in der FFF-Technologie tätig. Zu seinen Aufgaben zählen dort unter anderem die Weiterentwicklung der FFF-Technologie, Schulung und Beratung der Kunden zur FFF-Technologie und deren Einsatz für Ihre Anwendungsfälle, so wie die Produktion von komplexen Auftragsdrucken für die Industrie.

Der langjährige Einsatz von Simplify3D und die Vielzahl der durchgeführten Schulungen und Beratungen zu Simplify3D erlaubten Herrn Hotz ein tiefes Wissen und Verständnis für die Funktionsweise und den Einsatz von Simplify3D. Dieses Wissen möchte er in diesem Buch an die Leser weitergeben.

1

Einführung

Die 3D-Drucktechnologie des FFF-Verfahrens (Fused Filament Fabrication) – also des schichtweisen Auftragens von aufgeschmolzenen Kunststoff-Filamenten (Drähte) – wurde von der Firma Stratasys 1989 unter dem Namen FDM (Fused Deposition Modeling) patentiert. Das Patent hierzu lief 2009 aus. Seither entwickelt sich diese Technologie in einem immer breiteren Markt und kommt neben den Privatanwendungen im Hobbybereich zunehmend als Produktionstechnologie in der Industrie zum Einsatz. Die zusätzliche Breite der technischen Anwendungsfälle steigert die Wichtigkeit einer guten Kenntnis der Technologie und der eingesetzten Software für die Herstellung guter, fester und wirtschaftlich optimierter Bauteile.

Neben der großen Gestaltungsfreiheit möglicher Bauteilgeometrien bietet speziell diese Drucktechnologie eine sehr große Bandbreite an Einstellmöglichkeiten für optimierte Druckergebnisse. Der größte Anteil der Einflussgrößen wird in der CAM-Software (Computer Aided Manufacturing) definiert. Die Anzahl der Einflussgrößen bestimmt die Möglichkeiten des Feintunings.

Die CAM-Software für FFF ist für die Druckdateierzeugung verantwortlich. Dafür wird ein vorliegendes 3D-Modell in dünne Schichten geschnitten. Aufgrund dieses Schneidens (engl. „to slice“) wird die CAM-Software meist als „Slicer“ bezeichnet. Die verfügbaren CAM-Programme haben sich seit dem Ende des Patents von Stratasys aus anfänglichen Open-Source-Programmen stetig weiterentwickelt. So stand am Anfang zum Beispiel mit Skeinforge eine leistungsfähige CAM-Software zur Verfügung, die sich mit einer breiten Palette an Einstellmöglichkeiten auszeichnete, jedoch in Bedienung und grafischer Oberfläche sehr rudimentär und schwierig waren. Die unübersichtliche Vielzahl einstellbarer Parameter hatten zur Folge, dass sich eine Zeit lang vorwiegend Programme entwickelten, die auf Basis weniger Einstellmöglichkeiten den Prozess der Druckdateierzeugung vereinfachen wollten. Dieser scheinbar gute Gedanke nahm der Technologie jedoch sehr viel an Potenzial durch diese Reduktion auf weniger Parameter. Diese Erfahrung führte wieder zur Rückkehr zu mehr Einstellmöglichkeiten, sodass über die Jahre zu beobachten war, dass Schritt für Schritt wieder deutlich mehr Parameter und Funktionen integriert wurden.

Heute teilen die meisten Programme die große Menge der Parameter auf in

- die Basiseinstellungen, die nur die wichtigsten Einstellungen wie z. B. Schichthöhen, Füllgrad und Stützstruktur-Aktivierung bestimmen,
- und den Bereich der fortgeschrittenen Einstellungen, die dafür sorgen, dass möglichst viel Potenzial der Technologie genutzt werden kann.

Die Gerätehersteller sorgen mit guten Voreinstellungen und standardisierten Druckprofilen zwar meist für eine gute allgemeine Einstellung. Beim Arbeiten mit vielen verschiedenen Geometrien, Kunststoffmaterialien und Zielsetzungen des Bauteils zeigt sich jedoch schnell, wie hilfreich die gute Kenntnis der Parameter und deren gegenseitige Beeinflussung für den optimierten Einsatz des Verfahrens ist.

Auf dem Markt sind verschiedene Slicer-Programme erhältlich. Einige wurden von den Geräteherstellern direkt und teilweise nur für die eigenen Geräte entwickelt, andere sind als Open Source und Freeware erhältlich. Die Software Simplify3D des gleichnamigen Herstellers aus den USA hat sich unter anderem wegen seines sehr großen Potenzials als eines der führenden Programme auf dem Markt etabliert.

Simplify3D ist für die meisten gängigen 3D-Druckermodelle einsetzbar. Es besitzt vom Modellimport, der Modellbearbeitung über die sehr guten Prozesseinstellungen, einem sehr guten Tool für die Stützmaterialerstellung bis hin zur Gerätebediensoftware einen sehr großen Funktionsumfang. Es hat eine sehr gute grafische Oberfläche, mehrere hilfreiche Assistenten und sehr tiefgehende Eingriffsmöglichkeiten auch für mehrere Prozesse, Multimaterialbauteile und den Druck mehrerer Modelle in einem Druckvorgang.

In diesem Buch wird speziell auf die CAM-Software Simplify3D eingegangen.

Das Buch ist wie folgt aufgebaut:

- Zunächst wird in Kapitel 2 die Technologie mit ihren Merkmalen beschrieben. Es werden die Fachbegriffe erläutert und anschließend ganz kurz die Maschinen und die Kunststoffe vorgestellt.
- In Kapitel 3 befindet sich die Installation und der Überblick über die Programmoberfläche von Simplify3D.
- Kapitel 4 und Kapitel 5 enthalten die Modellfunktionen und -reparaturen des Programms.
- Die Erstellung und Bearbeitung der Druckprozesse und die Druckdateierzeugung erklärt Kapitel 6.
- Kapitel 7 behandelt die in Simplify3D enthaltenen Werkzeuge, Assistenten und Optionen.
- Kapitel 8 enthält die Erklärung aller verfügbaren Parameter in den Prozesseinstellungen. Es dient sowohl als Lern- als auch als Nachschlagebereich. Darin

sind für die Parameter die Auswirkungen, die gegenseitige Beeinflussung und sinnvolle Einstellungen beschrieben.

- Kapitel 9 beschreibt die Anwendung in der Praxis. Es geht auf Bauteiloptimierungen ein und zeigt anhand konkreter Bauteile die Vorgehensweise und die Anpassung auf spezielle Geometrien auf. Erfahrungsgemäß wird dieser Punkt am meisten unterschätzt: Die Bauteilgeometrie übt den größten Einfluss auf die CAM-Einstellungen aus, und somit können mit fundierter Kenntnis der Parameter optimierte Bauteile erzeugt gedruckt werden.

Damit werden alle Aspekte der CAM-Software Simplify3D tiefgehend erklärt, und die Leserinnen und Leser können das Buch sowohl als Lern- und Fachbuch für den Einstieg in die Drucktechnologie nutzen als auch als Nachschlagewerk für einzelne Parametereinstellungen. Im Downloadbereich des Hanser Verlags unter <https://plus.hanser-fachbuch.de/> befinden sich die Übungsdateien zu den verschiedenen Themen.

Um den Rahmen nicht zu sprengen, sind Inhalte wie konstruktive Auslegung und Optimierung für die Technologie, detaillierte Kunststoffeigenschaften, Kalibrierungen von Geräten und Kunststoffen, spezifische Maschinenskripte und -einstellungen nicht mit aufgeführt. Hierfür sind die Bücher vom Hanser Verlag empfehlenswert (www.hanser-fachbuch.de). Des Weiteren befinden sich im Internetportal www.3d-druck-knowhow.de weitere Anwendungsbeispiele, die Vertiefung von Konstruktionshinweisen, Kalibrieranleitungen und viele weitere Themen des 3D-Drucks.

Da die Software Simplify3D als Marktführer sehr weit verbreitet ist, liefern die meisten Hersteller von 3D-Druckern ihren Kunden gut justierte Standardprofile und geben Empfehlungen zu ihren Kunststoff-Filamenten weiter. Dies ist der beste Ausgangspunkt für die Arbeit mit Simplify3D.

Die Autoren arbeiten beim deutschen Maschinenhersteller Multec GmbH, der mit der Zielgruppe Industrie und Mittelstand sehr viel Erfahrung mit den breit gestreuten technischen Anwendungsfällen und Einsatzgebieten gesammelt hat. Sie führen Schulungen für Software und den Technologieeinsatz in der Industrie durch und sind in der Anwendungs- und Konstruktionsberatung für Kunden und der Druckdienstleistung in der eigenen Druckerfarm tätig.

Ein kleineres Problem an der deutschen Version von Simplify3D, die in diesem Buch beschrieben wird, ist die teilweise ungünstige (oder gänzlich fehlende) Übersetzung ins Deutsche. So wird im Programm in den Prozessen ein deutscher Begriff verwendet und in der Druckvorschau der englische Fachbegriff. Da sich einige Fachbegriffe der Technologie auch im deutschen Sprachraum mit den englischen Ursprungsbegriffen etabliert haben, werden diese gängigeren englischen Termini in diesem Buch weiter genutzt. Die Parameter in Kapitel 8 werden mit der deutschen Simplify3D-Bezeichnung benannt, die englischen Benennungen werden pa-

rallel dazu gesetzt. Zusätzlich befinden sich in Abschnitt 2.5 zwei Tabellen mit der Gegenüberstellung der englischen und deutschen Begriffe.

Wir wünschen Ihnen beim Lesen und Umsetzen des Gelernten viel Spaß und vor allem viel Erfolg beim Einsatz der spannenden 3D-Drucktechnologie.

■ 2.1 Einleitung

Dieses Kapitel beschreibt die technologische Basis und die Fachbegriffe des FFF-Verfahrens für die Anwendung von Simplify3D. Es wird nur kurz auf die Maschinen und die Kunststoffe eingegangen, um den Rahmen nicht zu sehr auszudehnen. Da die Kapitel 3 – 7 (Simplify3D Programmkomponenten und deren Bedienung) und Kapitel 8 (Druckparameter im Detail) auf diesem Kapitel aufbauen, ist es wichtig, die im Folgenden beschriebenen Technologiekenntnisse und Fachbegriffe zu kennen.

■ 2.2 Das Prinzip

Die Basis der FFF-Technologie bildet das Aufschmelzen von Filament (Kunststoffdraht) in einer beheizten Düse und dem Auftragen der Schmelze in Fadenform auf den Drucktisch durch eine CNC-gesteuerte Mehrachsmaschine (Bild 2.1). Ein Druckteil entsteht aus diesen einzelnen Fäden, die in diesem Buch als Bahn bezeichnet werden. Diese Bahnen bilden die einzelnen Schichten, die aufeinander aufbauend aufgetragen werden und damit Schicht für Schicht die Druckteilgeometrie bilden. Durch die Verschweißung von bereits abgelegten Bahnen nebeneinander und Schichten übereinander wird der Kunststoff so zum soliden Kunststoffkörper verbunden. Beginnend mit der ersten Schicht wird jede Bahn mit einer Systematik aufgetragen, die verschiedene Elemente eines Druckkörpers betreffen. Dabei handelt es sich um eine feste Körperhülle, eine oft verwendete gitterartige Füllstruktur im Innern und Hilfselemente, die Überhänge stützen und weitere Aufgaben übernehmen.

Im Folgenden werden die technologiespezifischen Elemente und Begriffe erklärt, um die Basis für die dazu gehörigen Parametereinstellungen in Simplify3D zu bilden. Durch gezielten Einsatz der Parameter kann die Eigenschaft des Druckteils in vielen Details gezielt beeinflusst werden.

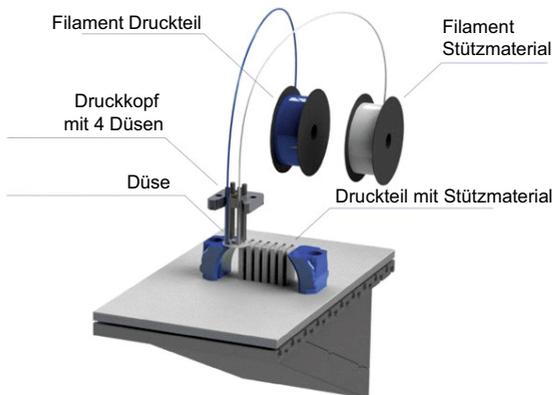


Bild 2.1 Schichtweiser Aufbau des Druckteils durch Aufschmelzen von Filament

■ 2.3 FFF-Extrusion

2.3.1 Funktionsweise Extruder

Das Kernelement des 3D-Druckers ist der Extruder, der aus dem zugeführten Kunststoffdraht (Filament) durch Aufschmelzen und Extrusion das Druckteil erzeugt. Dieser Druckkopf teilt sich auf in zwei Funktionsgruppen (Bild 2.2):

- den Filamentvorschub zur fein dosierten Zuführung des Filaments beim Druck,
- den Druckkopf mit den beheizten Düsen, die das Filament aufschmelzen und durch einen feinen Düsenauslass auf dem Drucktisch auftragen. Der Begriff Hotend bezeichnet im engeren Sinn nur den Heißbereich der Düse, im weiteren Sinn wird er häufig für den ganzen zuführenden Düsenbereich genutzt. In diesem Buch wird der Begriff Hotend nur in den Fällen genutzt, in dem nur der beheizte Bereich der Gesamtdüse angesprochen wird. Ansonsten wird die Gesamtdüse als Düse bezeichnet.

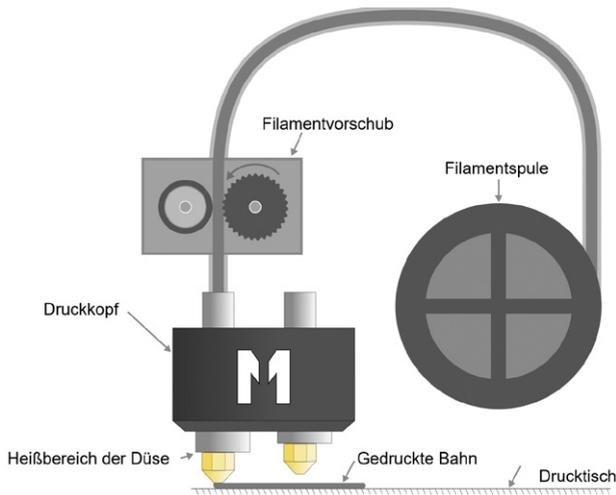


Bild 2.2 Aufbau des Druckkopfs: Vorschub und Düsen

Durch den Filamentvorschub wird das Filament zuerst in den Kaltbereich und dann in den Schmelzbereich der Düse gefördert. Dieser beheizte Bereich wird als Hotend bezeichnet, in ihm findet das Aufschmelzen des thermoplastischen Kunststoffes statt. In Bild 2.3 ist der Aufbau einer Düse im Detail dargestellt. Der Kaltbereich führt das Filament in die Düse, dieses soll hier möglichst noch nicht angeschmolzen werden. Der Kaltbereich wird häufig aktiv gekühlt. Im Heißbereich entsteht die Kunststoffschmelze, die durch den Druck aus der Düse gefördert wird.

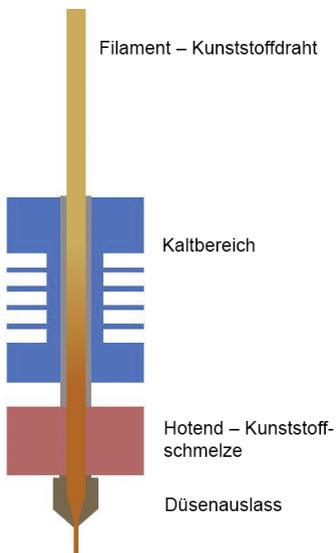
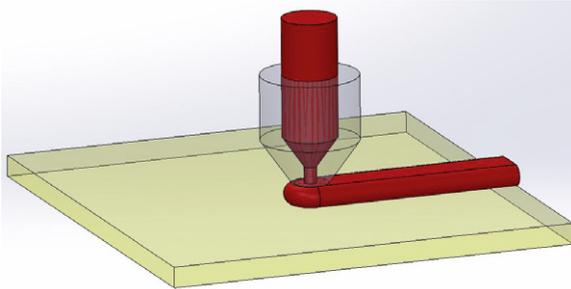


Bild 2.3
Aufbau einer 3D-Druck-Düse

Der Düsendurchmesser des Düsenauslasses ist relativ klein (gängig sind Düsendurchmesser von 0,2 – 2 mm), sodass ein gewisser Druck notwendig ist, um die Kunststoffschmelze hindurchzupressen. Dieser Druck wird durch das Filament erzeugt, das wie ein Kolben wirkt, gleichzeitig aber selbst fortlaufend aufschmilzt. Damit diese Schmelze nicht unregelmäßig aus der Düse tropft, sondern mit einem gezielten und geregelten Volumenstrom aufgetragen werden kann, muss der Filamentvorschub möglichst genau geregelt werden.



Durch die exakte Steuerung der Filamentvorschublänge, die zum Fahrweg der Düse zugeordnet wird, entsteht auf dem Drucktisch eine Bahn mit einem fein dosierten Volumenstrom. So wird sichergestellt, dass die abgelegte Bahn eine genau definierte Breite und Höhe erhält.

Die Geometrie der Bahn ist zusätzlich definiert durch den Abstand der Düse zum Druckteil oder zum Drucktisch. Dieser Abstand der Düse zur darunterliegenden Schicht bildet die Schichthöhe. Die Düse presst sozusagen die Kunststoffschmelze in eine ovale Form zwischen Düsen spitze und darunter liegenden Schichten. Bild 2.4 stellt an zwei unterschiedlichen Schichthöhen dar, wie Schichthöhe und Extrusionsbreite durch den exakten Volumenstrom definiert werden.

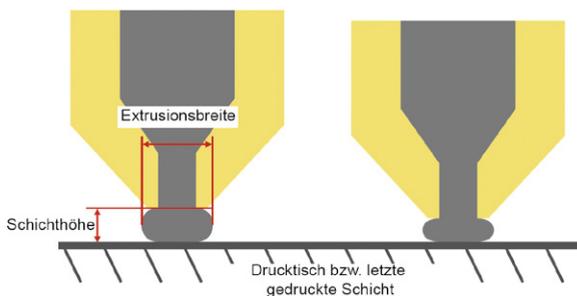
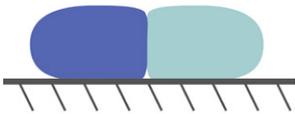


Bild 2.4 Extrusionsbreite definiert durch Schichthöhe und Volumenstrom

Wird bei konstanter Schichthöhe der Volumenstrom erhöht, so wird die Extrusionsbreite größer. Die Schichthöhe wird in Simplify3D innerhalb des Druckteils konstant gehalten, sodass die Form und Breite der Bahn durch einen fein geregelten Volumenstrom bestimmt wird.

Die abgelegten Bahnen werden nebeneinander sukzessive miteinander verschweißt: Mit jeder neuen Bahn wird die angrenzende Bahn leicht aufgeschmolzen, wodurch sich die Bahnen verbinden und eine feste Schicht bilden. Durch die ovale Form der Bahn wird zusätzlich erreicht, dass die jeweiligen Bahnen eine größere Auflagefläche auf der darunter liegenden Schicht haben und sich so optimal mit dieser verschweißen können.



Genauso werden beim Auftragen neuer Bahnen auf die vorige Schicht die Schichten miteinander im Bereich der Bahn verschweißt. Wichtig sind für die Festigkeit dieser Verschweißung folgende Punkte:

- Der Wärmeeintrag durch die neu aufgeschmolzene Bahn stellt die Verschweißung her. Wird mit eher kühlen Temperaturen aufgeschmolzen, ist die Verschweißung schwächer als mit höheren Düsentemperaturen.
- Wird ein großes Volumen aufgetragen, so wird mehr Wärme und damit Energie für die Verschweißung eingebracht.
- Auch zu starke Druckkühlung führt zu einer geringeren Lagenverschweißung und Festigkeit.

2.3.2 Extrusionsbreiten und deren Einfluss auf Maßhaltigkeit und Festigkeit

Der wichtigste Faktor für gute 3D-Druckergebnisse liegt in der korrekten Kalibrierung der Extrusionsbreite und einem sehr präzisen Filamentvorschub. Wie oben beschrieben, fördert der Filamentvorschub genau die Länge an Filament in die Düse, die dem Volumen der Bahn für den gleichzeitigen Fahrweg entspricht. Der enthaltene Korrekturfaktor Extrusions-Multiplikator dient der Feinjustierung der Ist-Breite der Bahn in Abgleich mit der als Zielwert eingestellten Extrusionsbreite. Die Kalibrierung des Extrusions-Multiplikators wird in Abschnitt 9.8 beschrieben.

Bild 2.5 stellt in der Mitte die korrekte Einstellung des Multiplikators dar: Die Außenabmessungen entsprechen mit dieser Einstellung den Sollwerten, damit ist Maßhaltigkeit erreicht. Im Inneren berühren sich die Bahnen für gute Verschweißung (hier kommen häufig noch Überlappungsfaktoren hinzu für bessere Bahnverschweißung). Die obere Darstellung im Bild zeigt einen zu kleinen Extrusions-Multiplikator, damit ist sowohl die Außenabmessung zu klein als auch die Bahnverschweißung im Inneren mangelhaft. Dies wird auch als Unterextrusion bezeichnet. Die unterste Darstellung zeigt Überextrusion: Durch den zu großen Volumenstrom werden die Außenabmessungen des Druckteils zu groß. Im Innern bilden sich durch die Überextrusion Überstände durch überquellendes Material, die neben der unschönen Oberfläche auch zu Lagenversatz durch Hängenbleiben der Düse führen können.

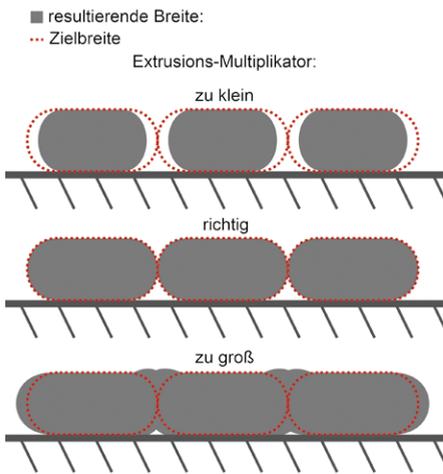


Bild 2.5

Zu kleine, korrekte und zu große Einstellung der Extrusionsbreite (von oben nach unten)

Sinnvolle Werte der Schichthöhen und der Extrusionsbreiten werden in Abschnitt 2.9 beschrieben.



Wichtig: Das aufgetragene Kunststoffvolumen in Form von ovalen Einzelfäden wird bestimmt durch die Länge des geförderten Filaments und damit der Menge des geförderten Kunststoffs. Die ovale Form der abgelegten Bahn hängt vom Volumenstrom und der Düsenhöhe/Schichthöhe ab. **Die korrekte Einstellung der Extrusionsbreite ist der elementare Faktor für Maßhaltigkeit und Festigkeit.** Die Kalibrierung dieser Einstellung wird in Abschnitt 9.8.2 beschrieben.

2.3.3 Die Schwächen der Technologie und deren Abhilfe

Das Prinzip der FFF-Drucktechnologie ist sehr zuverlässig und einfach, benötigt jedoch Hilfselemente für große Formenvielfalt und für einige spezielle Funktionen. Diese Hilfselemente und -funktionen müssen neben der reinen Druckteilgeometrie zusätzlich von der CAM-Software generiert werden.

1. Stützstrukturen

Die Tatsache, dass die Bahnen immer auf eine Unterlage gedruckt werden müssen, da sie ansonsten herunterfallen würden, macht Schwierigkeiten bei Überhängen oder frei im Raum stehender Geometrie. Hier muss ein „Untergrund“ geschaffen werden in Form von Stützstrukturen.

2. Haftstrukturen

Das Bauteil sitzt ohne Befestigung oder Fixierung auf dem Drucktisch. Allein die Haftung zwischen erster Schicht und Drucktisch muss für den gesamten Druckvorgang sicherstellen, dass das Druckteil sich nicht löst.

3. Elemente für die Düsenfüllung

Die Düsen haben meist keinen Verschluss. Das heißt, dass die Schmelze während der Pausen aus der Düse tropfen kann und beim Druckbeginn zu wenig Kunststoff in der Düse zur Verfügung steht (vermehrt beim Mehrfachdruck). Hierfür werden Hilfselemente gedruckt, die sicherstellen, dass bis zum Druck auf dem Bauteil die Düse gleichmäßig gefüllt ist.

4. Nachtropfen/Oozing verhindern

Wie unter Punkt 3 beschrieben, tropft die heiße Kunststoffschmelze in Druckpausen aus der Düse und verschmiert das Druckteil. Dagegen helfen Filament-einzüge (Retracts) und Abstreifwände (Tropfenschutz), die dafür sorgen sollen, dass die Düse vor dem Druck einmal abgestreift wird und die Tropfen so an der Abstreifwand anstatt auf dem Druckteil zu liegen kommen.

Simplify3D besitzt für diese Hilfselemente mehrere Funktionen, die für individuelle Drucker und Druckteilgeometrien einstellbar sind. Diese Funktionen werden in Abschnitt 2.7 beschrieben.

■ 2.4 Von der Datei zum Druckteil – CAM-Software

Als Grundlage für ein Druckteil ist ein 3D-Modell in geeignetem Dateiformat erforderlich (.*stl* oder .*obj*, siehe Kapitel 4). Dieses Modell wird in eine Slicer-Software – hier konkret Simplify3D – importiert. Anschließend wird das Modell mit den gewünschten Druckeinstellungen in Form von Prozessen ausgestattet und dann als

G-Code-Datei exportiert oder alternativ direkt an den 3D-Drucker gesendet. Der G-Code ist eine für die Maschine lesbare Datei ähnlich dem ISO 6983 – G-Code-Standard, der auch in anderen Werkzeugmaschinen eingesetzt wird. Darüber hinaus enthält der G-Code für 3D-Druck jedoch viele weitere 3D-Druck-spezifische Befehle wie z. B. die Temperatursteuerung, die leider noch nicht genormt sind und sich je nach Druckerhersteller unterscheiden können.

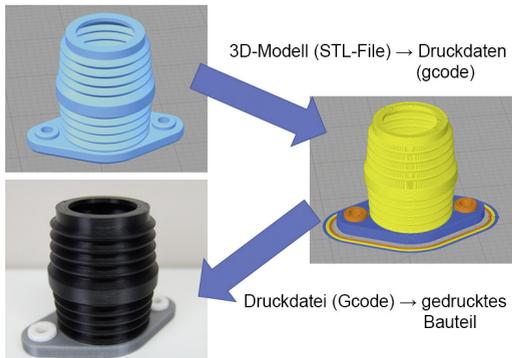


Bild 2.6

Vom Modell über die CAM-Software zum G-Code und damit zum 3D-Druckteil

■ 2.5 Technologische Fachbegriffe – Der Überblick

Dieses Kapitel soll vor allem ein Problem der deutschen Übersetzung von Simplify3D und der deutlich gängigeren englischen Fachbegriffe im deutschen Sprachraum lösen. Die teilweise schlechten und unverständlichen Übersetzungen von Simplify3D werden in diesem Buch überall dort genannt, wo direkt auf die jeweiligen Einstellungen Bezug genommen wird. Das betrifft zum Beispiel Parameterbezeichnungen oder Einstellungen. Dennoch werden in den anderen Bereichen des Buchs die eingebürgerten englischen Fachbegriffe genutzt. Dies erleichtert dem Leser die Recherche im Internet oder anderen Quellen zu den Themen, da dort die englischen Begriffe deutlich häufiger auffindbar sind.

Die folgenden beiden Tabellen enthalten die wichtigsten Merkmale und Fachbegriffe der Technologie im Überblick und stellt den Zusammenhang zwischen gängigen englischen Fachtermini, der deutschen Übersetzung in Simplify3D und (wenn nötig) einer verständlicheren deutschen Übersetzung her. Tabelle 2.1 enthält die wichtigsten Technologiefachbegriffe, Tabelle 2.2 geht konkret auf die im Programm leider nicht übersetzte Druckvorschau von Simplify3D ein.

Tabelle 2.1 Allgemeine technologische Fachbegriffe

Begriff englisch	Begriff korrekt deutsch mit Erklärung	Simplify3D deutsche Version	Beschrieben in Kapitel
Slicer-Software	CAM-Software		Abschnitt 2.4
Host	3D-Drucker-Steuerungsprogramm	<i>Geräte-Bedienfeld</i>	Abschnitt 7.3
Extruder	Druckkopf/Extruder	<i>Werkzeug, Extruder</i>	Abschnitt 2.10.1
Hotend	Düse (meist verwendet für die komplette Düse mit Kalt- und Heißbereich)	<i>Werkzeug, Tool</i>	Abschnitt 2.3.1
Layer	Schicht/Lage	<i>Schicht</i>	Kapitel 8
Oozing	Nachtropfen, Ablagerungen und Fäden im Druckteil durch tropfende Düsen	<i>Tropfen (Tropfenschutz, Überquellkontrolle)</i>	Abschnitt 2.7.6 Abschnitt 2.7.3
Stringing	Ebenfalls durch Nachtropfen erzeugte dünne Fäden zwischen Druckbereichen	Nicht verwendet	Abschnitt 2.7.6 Abschnitt 2.7.3
Warping	Schrumpfung durch Abkühlung, häufig bezogen auf das Anheben der auf dem Drucktisch aufliegenden Ecken und Schichten	Nicht verwendet	Abschnitt 2.7.2
Retract	Filament-Rückzug zur Vermeidung von Oozing und Stringing	<i>Einzug</i>	Abschnitt 2.7.3
Bowden-Extruder	Druckkopf mit Schlauch (Bowden) zwischen Hotends und Vorschub	Nicht verwendet	Abschnitt 2.3.1
Direct Drive Extruder	Druckkopf mit direkt angeschlossenem Vorschub	Nicht verwendet	Abschnitt 2.3.1
Filament	Kunststoffdraht/Filament	<i>Rohfaden</i>	Abschnitt 2.10
3D-Model	3D-Modell	<i>Modell</i>	Kapitel 3 und 4
Profile	3D-Druck-Profil (Vorlage für Prozesse)	<i>FFF-Profil</i>	Kapitel 6
Process	Prozess	<i>Prozess</i>	Kapitel 6
Factory-File	Zusammenfassende Datei in Simplify3D mit allen Druckdaten eines Projekts	<i>Hersteller-Datei</i>	Kapitel 3

Sehr hilfreich ist hier auch die Merkmalsansicht in der Simplify3D-Druckvorschau, denn hier hat Simplify3D auf eine Übersetzung verzichtet und somit bereits die gängigeren Fachbegriffe verwendet. Die Merkmale sind anhand der farblichen Markierung sehr gut zu unterscheiden und besser zu verstehen. Die Bedienung der Druckvorschau wird in Abschnitt 6.3 ausführlich beschrieben.

Tabelle 2.2 Merkmalstypen in der Simplify3D-Druckvorschau

Farbe in der Druckvorschau	Begriff englisch	Begriff korrekt deutsch bzw. eingebürgert im deutschen Sprachraum	Einstellung im Parameterbereich/Simplify3D deutsche Version
Rot	Travel	Freifahrt/Leerfahrt → schnelle Fahrt ohne Druckvorgang	<i>Wegbewegungen</i>
Himmelblau	Outer Perimeter	Äußerer Perimeter → Umrandungsbahn	<i>Äußere Kontur-/Umfangshülle</i>
Türkis	Inner Perimeter	Innerer Perimeter → Umrandungsbahn	<i>Innere Kontur-/Umfangshülle</i>
Blau	External Single Extrusion	Äußere Single-Extrusion → breitenvariable Bahn als Ersatz für die äußere Konturhülle/Outer Perimeter bei dünnen Wandstärken	<i>Äußerer dünner Wand Modus → Einzeln extrudierte Wände</i>
Dunkelgrün	Internal Single Extrusion	Innere Single-Extrusion → breitenvariable Bahn als Ersatz für die Innere Konturhülle/Inner Perimeter bei dünnen Wandstärken	<i>Innere dünner Wand Modus → Einzeln extrudierte Wände</i>
Helles Türkis	Gap Fill	Lücken-Füllmuster in dünnen Wänden	<i>Innere dünner Wand Modus → Lücken füllen erlauben</i>
Grün	Solid Layer	Voll gefüllte Schichten	<i>Schicht → Oberste und unterste feste Schichten</i>
Orange	Infill	Infill/Füllung/Füllgrad	<i>Infill, teilweise auch Fill</i>
Gelb	Bridge	Brücke/Bridge	<i>Übergänge</i>
Hellgrau	Support	Stützstruktur/Stützen	<i>Stützmaterial/Stützen</i>
Dunkelgrau	Dense Support	Dichte Stützstruktur	<i>Dichte Stützstruktur</i>
Rosa	Raft	Raft	<i>Raft</i>
Dunkelrosa	Skirt/Brim	Schürze - Rand	<i>Schürze/Rand</i>
Lila	Prime Pillar	Zusatzturm für gute Düsenfüllung, Prime Tower	<i>Grundierungsstütze</i>
Helles Lila	Ooze Shield	Abstreifwand	<i>Tropfenschutz</i>