A 3D CAD model of a mechanical assembly, possibly a gear or a similar component, rendered in a light blue color with a glowing effect. The model is set against a dark background with a grid pattern. The text is overlaid on the model.

Hans-J. Engelke

AutoDesk

AutoCAD 2022[®] 3D-Druck

Bauteile
Baugruppen
Import-Daten

Hans-J. Engelke

Autodesk
AutoCAD 2022

3D-Druck

Bauteile
Baugruppen
Import-Daten

1. Auflage 2021

© 2021 Hans- J. Engelke

© 2021 Books on Demand GmbH

Herstellung und Verlag: BoD - Books on Demand, Norderstedt

ISBN 9783754377550

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Autors und dem Verlag in irgendeiner Form wie Fotokopie, Mikrofilm, PDF-Erstellung oder eine anderes Kopierverfahren, auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

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 enthaltenden Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgenden oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art 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 benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über dnb.d-nb.de abrufbar.

Der Autor:

Hans- J. Engelke war als Lehrkraft für die Ausbildung Technischer Produktdesigner und Technischer Zeichner zuständig, außerdem war er als CAD-Dozent in der Erwachsenenbildung- und Weiterbildung tätig.

Hans-J. Engelke

Autodesk
AutoCAD 2022

3D-Druck

Bauteile
Baugruppen
Import-Daten

Inhalt

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1 bis 5

1	3D-Druck mit AutoCAD 2022	2	1.5.7.4	Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, stehender Zylinder	20
1.1	3D-Druck, Entwicklungen	2	1.5.7.5	Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, liegender Zylinder	21
1.1.1	3D-Druck, Grundlagen	2	1.5.7.6	Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, liegender Drehkörper	21
1.1.2	3D-Druck und CAD	3	1.5.7.7	Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, liegender Ellipsoid	22
1.1.2.1	Geometrie und Modellierungstypen	4	1.6	3D-Drucker, Beschreibungen, eine Auswahl	23
1.2	3D-Druck, Normen und Richtlinien	5	1.6.1	3D-Drucker „Makerbot Replicator 2“	23
1.2.1	Normen und Richtlinien für die Additive Fertigung, eine zeitliche Darstellung, Auszug	5	1.6.2	3D-Drucker „Makerbot Replicator 2X (Dual)“	23
1.2.2	DIN-Normen und Richtlinien für die Additive Fertigung	5	1.6.3	3D-Drucker „Gerätesoftware „MakerWare“ für Dualextruder	24
1.3	3D-Druck, Druckverfahren	6	1.6.3.1	MakerWare®, Schaltflächen und Menüs	24
1.3.1	3D-Druck mit Pulver (3DP)	6	1.6.3.2	MakerWare® Schaltflächen und Menüs, Quicktools	25
1.3.1.1	Elektronenstrahlschmelzen, Electron Beam Additive Manufacturing	6	1.6.3.3	Dateiformate für 3D-Drucker-Software „Makerware“ ®	25
1.3.1.2	3D-Metall-Direktdruck, Laser-Sintern	6	1.6.3.4	3D-Drucker „Makerbot Replicator 2“, Gerätesoftware „Makerbot Print“®	26
1.3.1.3	3D-Metall-Direktdruck, Vorbemerkungen	7	1.6.4	3D Drucker HP Jet Fusion 4200/3200/540	27
1.3.1.4	3D-Metall-Direktdruck, Druckvorgaben	7	1.6.5	3D-Drucker „HP Jet Fusion“® Siemens Anwendungs-Software „HP SmartStream 3D Build Manager“®	28
1.3.2	Fused Deposition Modelling	8	1.6.6	„HP PrintOS“®, Lösungen für den Produktionsdruck	28
1.3.3	Stereolithographie	9	1.6.7	3D-Drucker von Josef Prusa	29
1.3.4	TetraShell-Software für Feinguss, „Firma Materialise“	10	1.6.7.1	3D-Drucker PRUSA MINI+	29
1.3.5	PolyJet-Technologie, Firma „Materialise“	10	1.6.7.2	3D-Drucker PRUSA MINI+, Anwendungs-Software „PrusaSlicer“®	29
1.3.6	MultiJet-Technologie, Firma „Materialise“	11	1.6.7.3	3D-Drucker ORIGINAL PRUSA i3 MKS3 2S	30
1.4	AutoCAD 2022 und 3D-Druck	12	1.6.7.4	3D-Drucker ORIGINAL PRUSA i3 MKS3 2S, Gerätesoftware „PrucaSlicer“ für Mehrfach-Extruder	30
1.4.1	Drucken von 3D-Modellen	12	1.6.8	„AutoDesk PrintStudio“®	31
1.4.1.1	Dateiformat STL	12	1.6.8.1	„AutoDesk PrintStudio“®, Vorbemerkungen	31
1.4.1.2	Dateiformat 3MF	13	1.6.8.2	„AutoDesk PrintStudio“®, Anwendungsbeschreibungen	31
1.4.1.3	Dateiformat AMF	13	1.6.8.3	„AutoDesk PrintStudio“®, die Benutzer-Oberfläche	31
1.4.1.4	Dateiformat OBJ	13	1.6.8.4	Die Vorbereitungsleiste, Auszug aus der Benutzer-Oberfläche	31
1.5	3D-Druck, Begriffe	14	1.6.8.5	„AutoDesk PrintStudio“®, Voreinstellungen	32
1.5.1	Allgemeine 3D-Druck-Drucktipps	14	1.6.9	„AutoDesk PrintStudio“®, 3D-Druck-Erstellung	32
1.5.2	3D-Druckprobleme, eine Auswahl	14	1.6.9.1	STL-Bauteil-Datei laden	32
1.5.2.1	Warping	14	1.6.9.2	Strukturablauf für 3D-Druckerstellung	32
1.5.2.2	Skipped Layer	14	1.6.10	AutoDesk Netfabb®	33
1.5.2.3	Bad edge	14	1.6.10.1	Druckvorbereitung	33
1.5.2.4	Non-manifold edges	14	1.6.10.2	Konstruktionsoptimierung für die additive Fertigung	33
1.5.3	3D-Druck, Druckaufbau eine Auswahl	15	1.6.10.3	AutoDesk Netfabb®, die Benutzer-Oberfläche	34
1.5.3.1	Füllung	15	1.6.10.4	Standard-Druckablauf	34
1.5.3.2	Hüllen	15	1.7	Drucken von 3D-Modellen aus AutoCAD 2022 über den 3D-Druck-Service	35
1.5.3.3	Schichtstärke	15	1.7.1	AutoCAD 2022, 3D-Druck-Umgebung, 3D-Druckdienste	35
1.5.3.4	Temperatur	15	1.7.1.1	Erstellung der 3D-Druckdatei für den 3D-Druckdienst	35
1.5.3.5	Geschwindigkeit	15	1.7.1.2	Übergabe der Druckdatei an den Druckdienst	36
1.5.4	Material	16	1.7.1.3	Wählen Sie einen Dienstanbieter aus, Beispiele:	36
1.5.4.1	Material ABS	16	1.8	Drucken von 3D-Modellen aus AutoCAD 2022, Exportieren von STL-Dateien	37
1.5.4.2	Material PLA	16	1.8.1	Exportieren von STL-Dateien, Vorbemerkungen	37
1.5.5	Bauteile nach dem 3D-Druck manuell nacharbeiten	16	1.8.1.1	Übergabe der Druckdatei über „Exportieren“	37
1.5.6	3D-Druck, Design-Richtlinien	17			
1.5.6.1	Überhänge	17			
1.5.6.2	Überbrückung	17			
1.5.6.3	Detailgrösse	17			
1.5.6.4	Ausrichtung	17			
1.5.6.5	Trägermaterial minimieren	17			
1.5.7	Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern	18			
1.5.7.1	Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, Vorbemerkungen	18			
1.5.7.2	Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, liegender Quader	19			
1.5.7.3	Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, stehender Quader	20			

2	3D-Druck von Bauteilen	40		
2.1	3D-Druck eines Bauteils „Zahnrad“ STL-Format, AutoCAD 3D-Druck-Umgebung	42	2.4.2.4	Übergangskörper über Flächenauswahl, Layerzuweisung 58
2.1.1	Grundlagen für die Evolventen-Konstruktion, Vorbemerkungen	42	2.4.3	„Übergangskörper, mehrere Querschnitte“ Geometrieanpassung über 3D-Griffe, Vorgaben 59
2.1.1.1	Konstruktionsablauf der Stirnrad-Erstellung	42	2.4.4	Übergangskörper „mehrere Querschnitte“, Geometrieanpassung über 3D-Griffe, die Erstellung 59
2.1.2	Erstellung der Zahnrad-Grundfläche	43	2.4.4.1	Geometrieanpassung über 3D-Griffe, obere Fläche 59
2.1.2.1	Voreinstellungen laden	43	2.4.4.2	Geometrieanpassung über 3D-Griffe, obere Fläche 59
2.1.2.2	Zeichnen der Basiskonstruktion	43	2.4.4.3	Lageanpassung über 3D-Griffe, mittlere Fläche 60
2.1.2.3	Erstellen Sie 2D-Abrundungen am Zahnfuß	43	2.4.5	Hohlkörpererstellung über Differenz „Hülle“ 60
2.1.2.4	Bereinigung der Zahnform	44	2.4.5.1	Hohlkörper-Darstellungen, offene Grund- und Deckfläche 61
2.1.2.5	Zahnverteilung	44	2.4.5.2	Datensicherung als Zeichnungsdatei 61
2.1.2.6	Zahnrad-Grundform bereinigen	44	2.4.6	Erstellen der STL-Druck-Datei 61
2.1.2.7	Mittenbohrung für Zahnrad-Grundform	45	2.4.6.1	Lageanpassung über „3D-Schieben“ 61
2.1.3	3D-Volumen über Extrusion, die Erstellung	45	2.4.6.2	Datensicherung als Zeichnungsdatei 62
2.1.3.1	Layer-Bearbeitung	45	2.4.7	Erstellen der STL-Druck-Datei 62
2.1.3.2	Mittenbohrungs-Zylinder mit „Klicken und Ziehen“ erstellen	45	2.4.7.1	Übergabe der Druckdatei über „Exportieren“ 62
2.1.3.3	Umgrenzung erstellen	45	2.5	3D-Druck eines Bauteils „Schaltelement“ STL-Export-Format 63
2.1.3.4	3D-Volumenkörper über Extrusion	46	2.5.1	Übertragung der 2D-Grundkonstruktion aus der Zwischenablage, 3D-Grundkörpererstellung 63
2.1.3.5	Differenz der Polygon-Einheit von der Außenkontur	46	2.5.1.1	Grundkonstruktion laden 63
2.1.3.6	Zusammengesetzte Volumen, Zuweisung visueller Stile	46	2.5.1.2	Grundkonstruktion aus der Zwischenablage übertragen 63
2.1.3.7	Datensicherung als Zeichnungsdatei	46	2.5.1.3	Bereinigung der Grundkonstruktion für die Grundkörper-Extrusion 64
2.1.4	Erstellen der STL-Druck-Datei	47	2.5.2	Die erste Grundkörper-Extrusion 64
2.1.4.1	Übergabe der STL-Druckdatei über „Publizieren“	47	2.5.3	Verschiedene Ebenen, weitere Grundkörper-Extrusionen 65
2.2	3D-Druck eines Bauteils „Durchdringung“ STL-Format, AutoCAD Export-Umgebung	48	2.5.3.1	Weitere Grundkonstruktion aus der Zwischenablage übertragen 65
2.2.1	Konstruktionsvorgaben	48	2.5.4	3D-Volumenkörper über Extrusion 66
2.2.2	Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt	48	2.5.4.1	Boolesche Bearbeitung, Vereinigung 66
2.2.2.1	Datensicherung als Zeichnungsdatei	50	2.5.5	3D-Volumenkörper über „Klicken und Ziehen“ und „Differenz“ 67
2.2.3	Erstellen der STL-Druck-Datei	50	2.5.5.1	Differenzkörper über „Klicken und Ziehen“ 67
2.2.3.1	Übergabe der STL-Druckdatei über „Publizieren“	50	2.5.5.2	Differenzkörper vom Grundkörper, „Differenz“ 68
2.3	3D-Druck eines Bauteils „Zusammengesetztes Volumen“ STL-Format, AutoCAD 3D-Druck-Umgebung	51	2.5.5.3	Bohrungen mit Fasen versehen, die Erstellung 69
2.3.1	Die Basisgeometrie, maßliche Auffüstung	51	2.5.5.4	Datensicherung als Zeichnungsdatei 71
2.3.1.1	Die Basisgeometrie, maßliche Skizzendarstellung	51	2.5.6	Erstellen der STL-Druck-Datei 72
2.3.2	Die Basisgeometrie der Innenbohrung, die Erstellung	51	2.5.6.1	Lageanpassung über „ViewCube-Home“ 72
2.3.3	Die Basisgeometrie des Außenkörpers, die Erstellung	52	2.5.6.2	Lagekontrolle über „ViewCube“ 72
2.3.4	Vereinigung der einzelnen Zylindereinheiten	52	2.5.6.3	Übergabe der Druckdatei über „Exportieren“ 72
2.3.4.1	Layerzuweisung für bessere Übersicht	52	2.6	3D-Druck eines Bauteils „Sechskant-Schraube, echtes metrisches Gewinde“ STL-Format, AutoCAD 3D-Druck-Umgebung 73
2.3.4.2	Vereinigung der Bohrungseinheit	53	2.6.1	Physikalisches, echtes Gewinde, Vorbemerkungen 73
2.3.4.3	Vereinigung des Außenzylinders	53	2.6.2	Maßliche Normteil-Vorgaben 73
2.3.4.4	Verschieben der Bohrungseinheit in den Außenzylinder	53	2.6.2.1	Maßliche Vorgabe für Sechskantschraube M24 73
2.3.5	Differenz der Bohrungseinheit vom Außenzylinder	54	2.6.2.2	Maßliche Vorgabe für metrisches Gewinde M24 73
2.3.5.1	Zusammengesetzte Volumen, Zuweisung visueller Stile	54	2.6.2.3	Erstellungsablauf für Sechskantschraube M24 74
2.3.5.2	Datensicherung als Zeichnungsdatei	54	2.6.3	Erstellen des Grundkörpers „Sechskantschraube M24“ 74
2.3.6	Erstellen der STL-Druck-Datei	55	2.6.3.1	Voreinstellungen laden 74
2.3.6.1	Übergabe der STL-Druckdatei über „Publizieren“	55	2.6.3.2	3D-Volumenkörper „Schraubenkopf“, Grundgeometrie erstellen 74
2.4	3D-Druck eines Bauteils „Hohlkörper, mehrere Querschnitte“ STL-Export-Format	56	2.6.3.3	Symmetrielinie für Schraubenschaft setzen 74
2.4.1	Übergangskörper „mehrere Querschnitte“ über „Anheben“, Vorgaben	56	2.6.3.4	3D-Volumenkörper „Schraubenschaft, Kerndurchmesser“, Grundgeometrie erstellen 75
2.4.2	Übergangskörper „mehrere Querschnitte“, die Erstellung	56	2.6.4	Erstellen des Gewindeprofils 75
2.4.2.1	Voreinstellungen laden	56	2.6.4.1	Arbeitsebene über BKS, 3Punkte, festlegen 75
2.4.2.2	Die Grundgeometrie des Übergangskörpers, die Erstellung	56	2.6.4.2	Konstruktionslinien erstellen 76
2.4.2.3	Übergangskörper über Flächenauswahl mit „Anheben“	58	2.6.4.3	Profilfläche für Gewinde erstellen 76
			2.6.4.4	3D-Körper „Spirale“ erstellen 77

2.6.4.5	3D-Volumenkörper „über Sweeping	78	2.12.2	3D-Druck eines Normteils	
2.6.4.6	Gewindeprofil über Vereinigung	79		„Sechskantschraube mit echtem Gewinde“	
2.6.5	Endbearbeitung der Sechskantschraube	79		Bauteilbearbeitung	94
2.6.5.1	Ergänzen des unteren Schraubenkörpers	79	2.12.3	Windows 3D-Builder®, Bauteilübergabe	95
2.6.5.2	Ergänzen des oberen Schraubenkörpers	80	2.12.3.1	Druckmaterialzuweisung	95
2.6.5.3	Datensicherung als Zeichnungsdatei	80	2.12.3.2	Online-Bestellzuweisung	95
2.6.6	Erstellen der STL-Druck-Datei	81	2.13	3D-Druck eines Normteils	
2.6.6.1	Bauteil-Datei anpassen	81		„Sechskantmutter mit echtem Gewinde“	
2.6.6.2	Übergabe der Druckdatei über „Exportieren“	81		Windows „3D-Builder®“,	
2.7	3D-Druck eines Bauteils „Sechskant-Mutter, echtes metrisches Gewinde“ STL-Format, AutoCAD 3D-Druck-Umgebung	82		Online-Übertragung, Format STL	96
2.7.1	Maßliche Normteil-Vorgaben:	82	2.13.1	3D-Druck eines Normteils	
2.7.1.1	Maßliche Vorgabe für Sechskantmutter M24	82		„Sechskantmutter mit echtem Gewinde“	
2.7.1.2	Erstellungsablauf für Sechskantmutter M24	82		Bauteilbearbeitung	96
2.7.2	Erstellen des Grundkörper „Sechskantmutter M24“	82	2.13.2	Windows 3D-Builder®, Bauteilübergabe	97
2.7.2.1	Grundgeometrie der Sechskantschraube laden	82	2.13.2.1	Druckmaterialzuweisung	97
2.7.2.2	Höhe der Mutter ändern, über „Klicken und Ziehen“	82	2.13.2.2	Online-Bestellzuweisung	97
2.7.2.3	Schraubenschaftlänge ändern, über „Klicken und Ziehen“	83	2.14	3D-Druck eines Bauteils „Schaltelement“	
2.7.2.4	Bohrung in die Mutter einbringen, über „Differenz“	83		Windows10 „Print-3D®“, Online-Übertragung, Format STL	98
2.7.2.5	Grundgeometrie der Sechskantschraube, ohne Vereinigung, laden	83	2.14.1	3D-Druck eines Baumteils „Schaltelement“, Bauteilbearbeitung	98
2.7.3	Erstellen der Gewindegänge in der Sechskantmutter M24“	84	2.14.1.1	Online-Bestellzuweisung	98
2.7.3.1	Gewindegänge über die Zwischenablage einfügen	84	2.15	3D-Druck eines Bauteils „Durchdringung“ über AutoDesk „PrintStudio®“	100
2.7.3.2	Muttergewinde über „Differenz“ erzeugen	85	2.15.1	„AutoDesk PrintStudio®“, die Druckmodellerstellung	100
2.7.3.3	Datensicherung als Zeichnungsdatei	85	2.15.1.1	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	102
2.7.4	Erstellen der STL-Druck-Datei	85	2.16	3D-Druck eines Bauteils „Hohlkörper“ über AutoDesk „PrintStudio®“	104
2.7.4.1	Übergabe der Druckdatei über „Exportieren“	85	2.16.1	„AutoDesk PrintStudio®“, die Druckmodellerstellung	104
2.8	3D-Druck eines Bauteils „Zahnrad“ STL-Format, Online-Übergabe der Druckdatei Anbieter „i.materialize“	88	2.16.1.1	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	106
2.8.1	3D-Druck-Online-Anbieter „i.materialize“, Vorbemerkungen	88	2.17	3D-Druck eines Bauteils „Flansch mit Bohrung“	
2.8.2	Übergabe der 3D-Druckdatei an Online-Anbieter	88		Gerätesoftware AutoDesk „PrintStudio®“	107
2.8.2.1	Aufruf des Online Anbieters für die 3D-Druck-Erstellung, Beispiel	88	2.17.1	Die Basisgeometrie, maßliche Auflistung	107
2.9	3D-Druck eines Bauteils „Durchdringung“ STL-Format, Online-Übergabe der Druckdatei Anbieter „ProtiQ“	89	2.17.1.1	Die Basisgeometrie, maßliche Skizzendarstellung	107
2.9.1	Übergabe der 3D-Druckdatei an Online-Anbieter	89	2.17.2	Der Basiszylinder	107
2.9.1.1	Aufruf des Online Anbieters für die 3D-Druck-Erstellung, Beispiel	89	2.17.3	Die Bohrungseinheit	108
2.10	3D-Druck eines Bauteils „Zusammengesetztes Volumen“ STL-Format, Online-Übergabe der Druckdatei Anbieter „3DExperience Marktplatz“	90	2.17.3.1	Die Basisgeometrie für „Klicken und Ziehen“	108
2.10.1	Übergabe der 3D-Druckdatei an Online-Anbieter	90	2.17.3.2	Zylinder erstellen, über „Klicken und Ziehen“	108
2.10.1.1	Aufruf des Online Anbieters für die 3D-Druck-Erstellung, Beispiel	90	2.17.4	Das Flanschteil über boolesche Funktion „Differenz“	109
2.11	3D-Druck eines Bauteils „Hohlkörpers“ STL-Format, Online-Übergabe der Druckdatei Anbieter „Protolabs“	91	2.17.4.1	Bohrungseinheit erstellen, über boolesche Funktion „Vereinigung“	109
2.11.1	Übergabe der 3D-Druckdatei an Online-Anbieter	91	2.17.4.2	Differenz der Bohrungseinheit vom Außenzylinder	109
2.11.1.1	Aufruf des Online Anbieters für die 3D-Druck-Erstellung, Beispiel	91	2.17.4.3	Zusammengesetzte Volumen, Zuweisung visueller Stile	109
2.12	3D-Druck eines Normteils „Sechskantschraube mit echtem Gewinde“ Windows „3D-Builder®“, Online-Übertragung, Format STL	94	2.17.5	Die Flanschbohrungen, „Differenz“ mit „Klicken und Ziehen“	110
2.12.1	Windows 3D-Builder®, Vorbemerkungen	94	2.17.5.1	Erstellen der Grundkonstruktion	110
			2.17.5.2	„Differenz“ mit „Klicken und Ziehen“	110
			2.17.5.3	Zusammengesetzte Volumen, Zuweisung visueller Stile	111
			2.17.5.4	Flansch-Außenkonturen abrunden	111
			2.17.5.5	Lochkreisbohrungen mit Fasen versehen	112
			2.17.5.6	Flansch-Innenbohrung mit Fasen versehen	113
			2.17.1	Bauteilbearbeitung, Zuweisung visueller Stile	114
			2.17.1.1	Datensicherung als Zeichnungsdatei	114
			2.17.2	„AutoDesk PrintStudio®“, die Druckmodellerstellung	115
			2.17.2.1	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	116
			2.18	3D-Druck eines Bauteils „Lochblech“	
				Gerätesoftware „MakerWare®“, STL-Format	117
			2.18.1	Übergabe der STL-Druckdatei über „Publizieren“	117
			2.18.2	3D-Drucker-Software „MakerWare®“ starten	117
			2.18.2.1	3D-Bauteil übertragen und positionieren	118
			2.18.2.2	3D-Bauteil Druckdatei erstellen	119
			2.18.2.3	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	119

2.18.2.4	Datensicherung der Druckdatei erstellen	120	2.23.1	3D-Druck-Erstellung, „Zwei Normteile“, Vorbemerkungen	147
2.19	3D-Druck eines Bauteils „Zahnrad“ Gerätesoftware „MakerBotPrint“, STL-Format	121	2.23.2	3D-Druck der Baugruppe aus einzelnen Unterbaugruppen über HP 3D Build Manager®, Bauteilbearbeitung	147
2.19.1	Übergabe der STL-Druckdatei über „Publizieren“	121	2.23.3	3D-Druck der Baugruppe aus einzelnen Unterbaugruppen über „HP 3D Build Manager“, Druckeinstellungen	148
2.19.2	3D-Drucker-Software „MakerBotPrint“ starten	122	2.23.3.1	Farbzuweisungen	149
2.19.3	3D-Bauteil Druckdatei erstellen	123	2.23.3.2	Aushöhlung	149
2.19.3.1	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	125	2.23.3.3	Datensicherung und HP-Online-Übertragung	149
2.19.3.2	Datensicherung der Druckdatei erstellen	126	2.24	3D-Druck eines Bauteils aus zwei Teilen Aufteilung über Windows10 „3D-Builder“, Druckformat STL, 3D-Druck mit Software „PrusaSlicer“ Mehrfach-Extruder	150
2.20	3D-Druck eines Bauteils „Drehteil-Hälfte“ Gerätesoftware „HP 3D Build Manager“, STL-Format	127	2.24.1	Übergabe der STL-Druckdateien über „Publizieren“	150
2.20.1	Bauteilbearbeitung über „Kappen“	127	2.24.1.1	Rechte Hohlkörperhälfte als STL-Druckdatei erstellen	150
2.20.1.1	Grundvolumen laden	127	2.24.2	Bauteil aus zwei Teilen, Vorbemerkungen	150
2.20.1.2	Differenz über „Kappen“, die Erstellung	127	2.24.2.1	3D-Druckdatei aus zwei Teilen, Erstellungsablauf	150
2.20.1.3	Datensicherung als Zeichnungsdatei	127	2.24.3	3D-Druck des Bauteils aus zwei Teilen	152
2.20.2	Übergabe der STL-Druckdatei über „Publizieren“	128	2.24.3.1	3D-Drucker-Software „PrusaSlicer“ starten, Extruder zuweisen	152
2.20.3	3D-Drucker-Software „HP 3D Build Manager“ starten	128	2.24.4	Software „PrusaSlicer“, Mehrfach-Extruder zuweisen, Stützstrukturen aktivieren	153
2.20.3.1	3D-Druck des Bauteils über „HP 3D Build Manager“, Druckdatei anpassen	129	2.24.5	Software „PrusaSlicer“, Druckdateigenerierung	154
2.20.3.2	Datensicherung der Druckdatei erstellen	130	2.24.5.1	Darstellung der Merkmalstypen	154
2.20.1	Online-Übertragung und Kontrolle der generierten Druckdatei	130	2.24.5.2	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	154
2.21	3D-Druck eines Bauteils „Düsenscheibe“ Gerätesoftware „PrusaSlicer“, STL-Format	131	2.24.5.3	Datensicherung als G-Code	155
2.21.1	Konstruktionsdarstellung des Bauteils „Düsenscheibe“	131	2.24.5.4	Datensicherung des Druckprojekts	155
2.21.2	Erstellung der Bauteil-Grundform „Düsenscheibe“, verkürzte Darstellung	131	2.24.6	Software „PrusaSlicer“, Fülldichte und Füllmuster	155
2.21.2.1	Datensicherung als Zeichnungsdatei	133	2.24.6.1	Software „PrusaSlicer“, Fülldichte, Beispiele	155
2.21.3	Übergabe der STL-Druckdatei über „Publizieren“	133	2.24.6.2	Software „PrusaSlicer“, Füllmuster, Beispiele	156
2.21.4	3D-Drucker-Software „PrusaSlicer“ starten	134	2.25	3D-Druck-Erstellung, „Zwei Bauteilhälften“ Online-Übergabe der STL-Druckdatei, Windows „3D-Builder“	157
2.21.5	3D-Bauteil Druckdatei erstellen	134	2.25.1	Bearbeitung des AutoCAD-Bauteils	157
2.21.5.1	3D-Bauteil Druckdatei erstellen, Konfigurations- Einstellungen	134	2.25.1.1	Modifikationsbefehl „Spiegeln“	157
2.21.5.2	Software „PrusaSlicer“, Stützstrukturen	136	2.25.1.2	Layerzuweisung	157
2.21.6	Software „PrusaSlicer“, Druckdateigenerierung	136	2.25.1.3	Übergabe der einzelnen Bauteilhälften als STL-Datei über „Exportieren“	158
2.21.6.1	Darstellung der Merkmalstypen	137	2.25.2	3D-Druck der Bauteilhälften, Bauteilbearbeitung	159
2.21.6.2	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	137	2.25.3	Windows 3D-Builder®, Bauteilübergabe	160
2.21.6.3	Datensicherung als G-Code	138	2.25.3.1	Druckmaterialzuweisung	160
2.21.6.4	Datensicherung des Druckprojekts	138	2.25.3.2	Online-Bestellzuweisung	160
2.22	3D-Druck-Erstellung „Hohlkugelhälften“ 3D-Druck-Software „MakerWare“ Dual-Extruder	140	3	3D-Druck von Baugruppen	162
2.22.1	3D-Volumenkörper „Kugel“, die Erstellung	140	3.1	3D-Druckdatei Baugruppe „Prüflehre“ Online-Übergabe der STL-Druckdatei Windows „3D-Builder“	164
2.22.1.1	Voreinstellungen laden	140	3.1.1	Erstellen einer Baugruppe, „Prüflehre“ mit Normteilmontage, Vorbemerkungen zu fehlenden Normteilen	164
2.22.1.2	3D-Volumenkörper „Kugel“, Grundgeometrie erstellen	140	3.1.2	CAD Portal „TracePartsOnline“	164
2.22.1.3	Hohlkörpererstellung über Differenz „Hülle“	141	3.1.3	Innensechskantschraube ISO 4762 und Zylinderstift ISO 2338 von „TracePartsOnline“ laden	164
2.22.1.4	„Differenz“ über „Kappen“, die Erstellung	141	3.1.4	Die Bauteile der Baugruppe „Prüflehre“, die Bodenplatte	165
2.22.1.5	Datensicherung als Zeichnungsdatei	141	3.1.4.1	Bodenplatte, Konstruktionsvorgaben	165
2.22.2	Übergabe der STL-Druckdateien über „Publizieren“	142	3.1.4.2	Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt	165
2.22.2.1	Rechte Hohlkörperhälfte als STL-Druckdatei erstellen	142	3.1.4.3	Datensicherung als Zeichnungsdatei	166
2.22.2.2	Linke Hohlkörperhälfte als STL-Druckdatei erstellen	142	3.1.5	Die Bauteile der Baugruppe „Prüflehre“, das Stegelement	167
2.22.3	3D-Druck über 3D-Drucker-Software MakerWare®, Dualextruder	142			
2.22.3.1	3D-Drucker-Software „MakerWare“ starten	142			
2.22.3.2	3D-Bauteile übertragen und positionieren	143			
2.22.3.3	3D-Bauteil Druckdatei erstellen	145			
2.22.3.4	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	145			
2.22.3.5	Datensicherung und Übertragung	146			
2.23	3D-Druck-Erstellung „Zwei Normteile“ Mehrfarbzuweisung 3D-Drucker-Software „HP 3D Build Manager“	147			

3.1.5.1	Stegelement, Konstruktionsvorgaben	167	3.2.10	Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage, Lehre, Schaltkugel und Stellschraube	191
3.1.5.2	Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt	167			
3.1.5.3	Datensicherung als Zeichnungsdatei	168			
3.1.6	Montage der Baugruppe „Prüflehre“	169	3.2.11	Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage der Normteile, Einsetzen der Zylinderstifte	192
3.1.6.1	Normteilanpassung	169			
3.1.7	Montage der Baugruppe „Prüflehre“, die Bauteilbereitstellung	169	3.2.12	Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“ Baugruppenmontage der Normteile, Setzen der Zylinderschrauben	193
3.1.7.1	Weitere Bauteile der Baugruppe laden	169			
3.1.7.2	Bauteile in Montagelage drehen	170			
3.1.8	Die Baugruppe „Prüflehre“, Baugruppenmontage der Normteile Einsetzen der Innensechskantschrauben	171	3.2.13	Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage der Normteile, Einsetzen der Druckfeder	194
3.1.9	Die Baugruppe „Prüflehre“ Baugruppenmontage der Normteile Einsetzen des Zylinderstiftes	172	3.2.14	Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage der Normteile, Einsetzen des Gewindestiftes	195
3.1.10	Die Baugruppe „Prüflehre“, Baugruppenmontage Einsetzen des Stegelements	173	3.2.14.1	Datensicherung als Zeichnungsdatei	196
3.1.10.1	Datensicherung als Zeichnungsdatei	173	3.2.15	„AutoDesk PrintStudio®“, die Druckmodellerstellung	196
3.1.11	Bearbeiten der erstellten Baugruppe „Prüflehre“ STL-3D-Druckdatei	174	3.2.15.1	AutoCAD, Baugruppenbearbeitung	196
3.1.11.1	AutoCAD, Baugruppenbearbeitung	174	3.2.16	„AutoDesk PrintStudio®“, die Druckmodellübergabe	197
3.1.11.2	Übergabe der vereinigten Baugruppe als STL-Datei über „Exportieren“	174	3.2.17	„AutoDesk PrintStudio®“, die Druckmodell-Bearbeitung	198
3.1.12	3D-Druck der Baugruppe „Prüflehre“, Bauteilbearbeitung mit „Windows 3D-Builder®“	175	3.2.17.1	Darstellung der einzelnen Filamentlagen 3D-Druckdatei Baugruppe „Brems Scheibe“ Einzelteile der Baugruppe, STL-Datei über „Exportieren“ Gerätesoftware „MakerWare®“	200
3.1.13	Windows 3D-Builder®, Bauteilübergabe	175	3.3	Die Bauteile der Baugruppe „Brems Scheibe“, das Außengehäuse	200
3.1.13.1	Druckmaterialzuweisung	175	3.3.1	Außengehäuse, Konstruktionsvorgaben	200
3.1.13.2	Online-Bestellzuweisung	175	3.3.1.1	Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt	200
3.2	Erstellen einer Baugruppe „Verstellbare Lehre“	176	3.3.1.2	Datensicherung als Zeichnungsdatei	200
3.2.1	Die Bauteile der Baugruppe „Verstellbare Lehre“, die Grundplatte	176	3.3.1.3	Die Bauteile der Baugruppe „Brems Scheibe“, die Innenwelle	201
3.2.1.1	Grundplatte, Konstruktionsvorgaben	176	3.3.2	Innenwelle, Konstruktionsvorgaben	201
3.2.1.2	Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt	176	3.3.2.1	Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt	201
3.2.1.3	Datensicherung als Zeichnungsdatei	177	3.3.2.2	Datensicherung als Zeichnungsdatei	202
3.2.2	Die Bauteile der Baugruppe „Verstellbare Lehre“, die „Führung“	178	3.3.2.3	Die Bauteile der Baugruppe „Brems Scheibe“, der Antriebsflansch	203
3.2.2.1	Führung, Konstruktionsvorgaben	178	3.3.3	Antriebsflansch, Konstruktionsvorgaben	203
3.2.2.2	Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt	178	3.3.3.1	Datensicherung als Zeichnungsdatei	203
3.2.2.3	Datensicherung als Zeichnungsdatei	180	3.3.3.2	Die Bauteile der Baugruppe „Brems Scheibe“, der Innensteg	204
3.2.3	Die Bauteile der Baugruppe „Verstellbare Lehre“, die „Lehre“	181	3.3.4	Innensteg, Konstruktionsvorgaben	204
3.2.3.1	Lehre, Konstruktionsvorgaben	181	3.3.4.1	Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt	204
3.2.3.2	Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt	181	3.3.4.2	Datensicherung als Zeichnungsdatei	204
3.2.3.3	Datensicherung als Zeichnungsdatei	183	3.3.4.3	Montage der Baugruppe „Brems Scheibe“	205
3.2.4	Die Bauteile der Baugruppe „Verstellbare Lehre“, die Stellschraube	184	3.3.5	Voreinstellungen laden	205
3.2.4.1	Stellschraube, Konstruktionsvorgaben	184	3.3.5.1	Bauteile laden	205
3.2.4.2	Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt	184	3.3.5.2	Bearbeiten Sie die erstellte Baugruppe „Brems Scheibe“	205
3.2.4.3	Datensicherung als Zeichnungsdatei	185	3.3.6	Lageänderung der Bauteile durch Verschieben auf die Grundebene	205
3.2.5	Montage der Baugruppe „Verstellbare Lehre“, die Normteil-Bereitstellung	186	3.3.6.1	Lageänderung der Bauteile durch 3D-Drehen/Verschieben auf die Grundebene	206
3.2.5.1	Normteile von „TracePartsOnline“ laden	186	3.3.6.2	Lageänderung der Bauteile durch Verschieben für die Druckebene	206
3.2.5.2	Normteilanpassung	186	3.3.6.3	Datensicherung als Zeichnungsdatei	206
3.2.6	Baugruppe „Verstellbare Lehre“ Baugruppenerstellung, die Bauteilbereitstellung	187	3.3.6.4	Übergabe der Baugruppe als STL-Datei über „Exportieren“	207
3.2.6.1	Die Bauteile der Baugruppe laden	187	3.3.7	3D-Drucker-Software „MakerWare®“ starten	207
3.2.6.2	Bauteile in Montagelage drehen	187	3.3.7.1	3D-Bauteil übertragen und positionieren	208
3.2.7	Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage, Grundplatte und Führung	188	3.3.7.2	3D-Bauteil Druckdatei erstellen	209
3.2.8	Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage, Stellschraube und Lehre	189	3.3.7.3	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	209
3.2.9	Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage, Lehre und Schaltkugel	190	3.3.7.4	Datensicherung der Druckdatei erstellen	210

3.4	3D-Druckdatei Baugruppe „Bremsscheibe, halbiert“ Gerätesoftware „MakerBotPrint“ STL-Datei über „Exportieren“	211	3.5.1.15	Der Schlauch Pos. 36, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	222
3.4.1	Montage der Baugruppe „Bremsscheibe“	211	3.5.2	Die Montage der Baugruppe „Schlauchpumpe“, Normteile Kurzdarstellung	223
3.4.1.1	Voreinstellungen laden	211	3.5.2.1	Lager	223
3.4.1.2	Bauteile laden	211	3.5.2.2	Schrauben	223
3.4.1.3	Bauteile in Montagelage drehen	211	3.5.2.3	Scheiben, Muttern Federring und Passfedern	223
3.4.1.4	Die Baugruppe „Bremsscheibe“, Baugruppenmontage Innenwelle und Stegelement	212	3.5.3	Die Montage der Baugruppe „Schlauchpumpe“	224
3.4.1.5	Die Baugruppe „Bremsscheibe“, Baugruppenmontage Antriebsflansch	212	3.5.3.1	Baugruppe „Schlauchpumpe“, Technische Zeichnung als Konstruktionsvorgabe	224
3.4.1.6	Die Baugruppe „Bremsscheibe“, Baugruppenmontage Außengehäuse	212	3.5.3.2	Baugruppe „Schlauchpumpe“, verkürzter Montageablauf Einfügen aller Bauteile	224
3.4.1.7	Baugruppe „Bremsscheibe“, Zuweisung des visuellen Stils	213	3.5.4	Baugruppe „Schlauchpumpe“, Montage der Antriebseinheit, verkürzter Montageablauf	224
3.4.1.8	Datensicherung als Zeichnungsdatei	213	3.5.5	Skalierung der Unterbaugruppe „Antriebseinheit“	226
3.4.2	Bearbeiten der Baugruppe „Bremsscheibe“ über „Kappen“	213	3.5.6	Bauteil-Vereinigung der Unterbaugruppe „Antriebseinheit“	227
3.4.2.1	Differenz über „Kappen“, die Erstellung	213	3.5.6.1	Datensicherung als Zeichnungsdatei	227
3.4.2.2	Bereinigen der Baugruppe „Bremsscheibe“ um halbierte Elemente	214	3.5.7	Übergabe der skalierten Unterbaugruppe als STL-Datei über „Exportieren“	227
3.4.2.3	Datensicherung als Zeichnungsdatei	214	3.5.8	Baugruppe „Schlauchpumpe“, Montage der Gehäuseeinheit, verkürzter Montageablauf	228
3.4.2.4	Vereinigen der bearbeiteten Baugruppen-Bauteile	214	3.5.9	Skalierung der Unterbaugruppe „Gehäuseeinheit“	229
3.4.2.5	Datensicherung als Zeichnungsdatei	214	3.5.10	Bauteil-Vereinigung der Unterbaugruppe „Antriebseinheit“	230
3.4.2.6	Übergabe der Baugruppe „Bremsscheibe, halbiert“, als STL-Datei über „Exportieren“	215	3.5.10.1	Datensicherung als Zeichnungsdatei	230
3.4.3	3D-Drucker-Software „MakerBotPrint“ starten	215	3.5.10.2	Übergabe der Unterbaugruppe „Gehäuseeinheit“ als STL-Datei über „Exportieren“	230
3.4.4	3D-Bauteil Druckdatei erstellen	217	3.5.11	3D-Druck der Baugruppe aus einzelnen Unterbaugruppen über „HP 3D Build Manager“	231
3.4.4.1	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	218	3.5.11.1	3D-Druck der Baugruppe aus einzelnen Unterbaugruppen, Baugruppen-Bearbeitung	231
3.4.4.2	Datensicherung der Druckdatei erstellen	218	3.5.12	3D-Druck der Unterbaugruppen über „HP 3D Build Manager“, Druckdatei anpassen	234
3.5	3D-Druckdatei Baugruppe „Schlauchkupplung“ Skalierte Unterbaugruppen „Antrieb“ und „Gehäuse“ STL-Datei über „Exportieren“ Gerätesoftware „HP 3D Build Manager“	219	3.5.12.1	Farbzuzuweisungen	234
3.5.1	Die Bauteile der Baugruppe „Schlauchpumpe“, Kurzdarstellungen	219	3.5.12.2	Aushöhlung	234
3.5.1.1	Das Lagergehäuse Pos. 1, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	219	3.5.12.3	Kontrollansichten über Funktion „Wegschneiden“	235
3.5.1.2	Das Pumpengehäuse Pos. 2, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	219	3.5.12.4	Datensicherung und HP-Online-Übertragung	235
3.5.1.3	Der Gehäusedeckel Pos. 3, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	219	3.6	3D-Druck-Erstellung, Baugruppe „Bremsscheibe, Einzelteile“	
3.5.1.4	Der Lagerdeckel Pos. 4, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	220		3D-Druck-Software „PrusaSlicer“, Mehrfach-Extruder	238
3.5.1.5	Die Riemenscheibe Pos. 5, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	220	3.6.1	Übergabe der STL-Druckdateien über „Publizieren“	238
3.5.1.6	Die Antriebswelle Pos. 6, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	220	3.6.2	3D-Drucker-Software „PrusaSlicer“ starten	238
3.5.1.7	Die Buchsen Pos. 7 und Pos. 8, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	220	3.6.2.1	Mehrfach-Extruder zuweisen	238
3.5.1.8	Der Rotor Pos. 9, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	221	3.6.2.2	Software „PrusaSlicer“, Druckdateigenerierung	239
3.5.1.9	Die Walze Pos. 10, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	221	3.6.2.3	Darstellung der Merkmalstypen	240
3.5.1.10	Der Lagerbolzen Pos. 11, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	221	3.6.2.4	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	240
3.5.1.11	Der Flansch Pos. 12, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	221	3.6.2.5	Datensicherung als G-Code	241
3.5.1.12	Der Stutzen Pos. 13, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	222	3.6.2.6	Datensicherung des Druckprojekts	241
3.5.1.13	Die Grundplatte Pos. 15, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	222	3.7	3D-Druck-Erstellung Baugruppe „Steuernockenlagerung, geschnitten“ 3D-Drucker-Software „PrusaSlicer“, Einfach-Extruder	242
3.5.1.14	Die Scheibe Pos. 36, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	222	3.7.1.1	Baugruppe „Steuernockenlagerung“, Stückliste	242
			3.7.1.2	Baugruppe „Steuernockenlagerung“, Prinzipdarstellung	242
			3.7.2	Die Bauteile der Baugruppe „Steuernockenlagerung“, Kurzdarstellungen	243

3.7.2.1	Das Lagergehäuse Pos. 1, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	243	3.8.2.1	Übergabe der halbierten Unterbaugruppe „Antriebseinheit“ Baugruppe als STL-Datei über „Exportieren“	254
3.7.2.2	Die Antriebswelle Pos. 2, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	243	3.8.2.2	Übergabe der halbierten Unterbaugruppe „Gehäuseeinheit“ an „AutoDesk PrintStudio®“	254
3.7.2.3	Die Verschlusschraube Pos. 3, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	243	3.8.3	„AutoDesk PrintStudio®“, die Druckmodell-Bearbeitung	255
3.7.2.4	Der Exzenter Pos. 4, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	243	3.8.3.1	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	256
3.7.2.5	Die Druckhülse Pos. 5, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion	244	3.9	3D-Druck-Erstellung, Exportdatei „AutoDeskPrintStudio®“, 3MF-Export-Format	
3.7.3	Die Baugruppe „Steuernockenlagerung“, der Normteil-Download von „TracePartOnline®“	244		Online-Übergabe der Druckdatei, Anbieter „i.materialize“	257
3.7.3.1	Download des Radial-Wellendichtrings, AS20 x 40 x 7, Pos. 11	244	3.9.1	3MF-3D-Druck-Datei aus „AutoDesk PrintStudio®“ exportieren	257
3.7.3.2	Download des Ringfeder-Spannelements 14/18 Länge 6,3 mm, Pos. 6	244	3.9.1.1	3D-Druck-Datei in „AutoDesk PrintStudio®“ laden	257
3.7.3.3	Download weiteren Normteile	244	3.9.1.2	3MF-Druck-Datei exportieren	257
3.7.4	Baugruppe „Steuernockenlagerung“, weitere Normteile	245	3.9.2	Übergabe der 3D-Druckdatei an Online-Anbieter	257
3.7.4.1	Flanschmutter	245	3.9.2.1	3D-Druck-Online-Anbieter „i.materialize“, Vorbemerkungen	257
3.7.4.2	Dichtring Pos. 12	245	3.9.2.2	Aufruf des Online Anbieters für die 3D-Druck-Erstellung, Beispiel	258
3.7.4.3	Sicherungsringe Pos. 9 und 10	245	3.10	3D-Druck-Erstellung, Exportdatei „AutoDesk PrintStudio®“, STL-Export-Format	
3.7.5	Die Montage der Baugruppe „Steuernockenlagerung“, verkürzter Montageablauf	245		Online-Übergabe der Druckdatei, Anbieter „ProtiQ“	259
3.7.5.1	Baugruppe „Steuernockenlagerung“, Einfügen aller Bauteile	245	3.10.1	3MF-3D-Druck-Datei aus „AutoDesk PrintStudio®“ exportieren	259
3.7.5.2	Baugruppe „Steuernockenlagerung“, Montage der Bauteile Spannelement, Druckhülse und Flanschmutter	246	3.10.1.1	Druck-Datei in „AutoDesk PrintStudio®“ laden	259
3.7.5.3	Baugruppe „Steuernockenlagerung“, Montage der Bauteile Exzenter	246	3.10.1.2	STL-Druck-Datei exportieren	259
3.7.5.4	Baugruppe „Steuernockenlagerung“, Montage der Bauteile Rillenkugellager und Sicherungsring	246	3.10.2	Übergabe der 3D-Druckdatei an Online-Anbieter	259
3.7.5.5	Baugruppe „Steuernockenlagerung“, Montage der Bauteile Rollenlager und Sicherungsringe	246	3.10.2.1	3D-Druck-Online-Anbieter „ProtiQ“, Vorbemerkungen	259
3.7.5.6	Baugruppe „Steuernockenlagerung“, Montage der Bauteile Gehäuse, Dichtring und Verschlusschraube	247	3.10.2.2	Aufruf des Online Anbieters für die 3D-Druck-Erstellung, Beispiel	260
3.7.5.7	Baugruppe „Steuernockenlagerung“, Montage der Bauteile Gehäuse und Radial-Wellendichtring	247	4	3D-Druck von Import-Daten	262
3.7.6	Baugruppe „Steuernockenlagerung“ Halbierung der Gehäuseeinheit über „Kappen“	247	4.1	Importformate, Vorbemerkungen	262
3.7.6.1	Bereinigen der Baugruppe um halbierte Elemente	248	4.1.1	CAD-Modellierungen	262
3.7.7	Baugruppe „Steuernockenlagerung“, Montage der Unterbaugruppen	248	4.1.1.1	CAD-Eingangsformate, eine Übersicht	263
3.7.8	Übergabe der STL-Druckdateien über „Publizieren“	249	4.1.1.2	CAD-Ausgangsformate, eine Übersicht	263
3.7.9	3D-Drucker-Software „PrusaSlicer®“ starten	249	4.1.1.3	CAD-Konvertierung, Methoden und Verfahren, Auszug	263
3.7.9.1	3D-Bauteil Druckdatei laden	249	4.1.1.4	CAD-Konvertierung, grundsätzliche Probleme	263
3.7.9.2	3D-Bauteil Druckdatei, Fehlerbereinigung	250	4.1.2	Importieren von, nicht in AutoCAD, erstellten 3D-Modellen	264
3.7.9.3	3D-Bauteil Druckdatei, Stützmaterial zuweisen	250	4.1.3	Importformate für 3D-Modelle in AutoCAD	265
3.7.9.4	3D-Bauteil Druckdatei erstellen mit Ansichts Anpassung	250	4.1.3.1	Importieren von Autodesk Inventor 3D-Modellen	265
3.7.9.5	Darstellung einzelner Filamentlagen	251	4.1.3.2	Importformat CATIA®	265
3.7.9.6	Datensicherung der 3D-Bauteil Druckdatei	251	4.1.3.3	Importieren von Parasolid-Bauteilen	266
3.7.10	Kontrolle des G-Codes über „Prusa G-CodeViewer®“	252	4.1.3.4	Importieren von NX-Daten	266
3.7.10.1	3D-Drucker-Software „Prusa G-CodeViewer®“ starten	252	4.1.3.5	Importieren von SOLIDWORKS-Daten	266
3.8	3D-Druck-Erstellung, „Steuernockenlagerung, geschnitten“, Unterbaugruppen 3D-Drucker-Software „PrintStudio®“	253	4.1.3.6	Importieren von STEP-Daten	266
3.8.1	AutoCAD-Anpassung der Baugruppe	253	4.1.3.7	Importieren von IGES-Daten	266
3.8.2	„AutoDesk PrintStudio®“, Druckmodell-Erstellung	254	4.2	3D-Druck von Bauteilen, Autodesk Inventor®-Import „Kronenmutter mit echtem Gewinde“ „Zylinderschraube echtem Gewinde“ Online-Übergabe mit Windows 3D-Builder®	268
			4.2.1	Importablauf „Kronenmutter mit echtem Gewinde“	268
			4.2.1.1	Voreinstellungen laden	268
			4.2.1.2	So importieren Sie ein Autodesk Inventor-3D-Bauteil	268
			4.2.1.3	Zuweisung visueller Stile	269
			4.2.1.4	Datensicherung als Zeichnungsdatei	269

4.2.2	Erstellen der STL-Druck-Datei über „Publizieren“	269	4.5.1.4	Datensicherung als Zeichnungsdatei	294
4.2.3	Importablauf „Zylinderschraube echtem Gewinde“	270	4.5.2	Übergabe der STL-Druckdatei über „Publizieren“	294
4.2.3.1	Voreinstellungen laden	270	4.5.3	Bauteilausgabe	
4.2.3.2	So importieren Sie ein Autodesk Inventor-3D-Bauteil	270		über 3D-Drucker-Software „MakerWare“	295
4.2.3.3	Zuweisung visueller Stile	271	4.5.3.1	3D-Bauteil übertragen und positionieren	295
4.2.3.4	Datensicherung als Zeichnungsdatei	271	4.5.3.2	3D-Bauteil Druckdatei erstellen	296
4.2.4	Erstellen der STL-Druck-Datei	271	4.5.3.3	Darstellung einzelner Filamentlagen	297
4.2.5	Windows „3D-Builder“, Online-Übertragung, Format STL	272	4.5.3.4	Datensicherung der Druckdatei erstellen	297
4.2.5.1	Druckmaterialzuweisung	273	4.6	3D-Druck von Baugruppen, Autodesk Inventor®-Import „Elastische Kupplung“	
4.2.5.2	Online-Bestellzuweisung	274		Übergabe an HP 3D Build Manager®	300
4.3	3D-Druck von Bauteilen, SOLIDWORKS®-Import „Gedrehter Hohlkörper, geschnitten“		4.6.1.1	Voreinstellungen laden	300
	Gerätesoftware „MakerBotPrint“, STL-Format	275	4.6.1.2	So importieren Sie eine	
4.3.1	Importablauf „Gedrehter Hohlkörper“	275		Autodesk Inventor-3D-Baugruppe	300
4.3.1.1	Voreinstellungen laden	275	4.6.1.3	Zuweisung visueller Stile	301
4.3.1.2	So importieren Sie ein SOLIWORKS-3D-Bauteil	275	4.6.1.4	Datensicherung als Zeichnungsdatei	301
4.3.1.3	Importierte Datei anpassen	276	4.6.2	Importablauf für die Bauteile der Baugruppe	301
4.3.1.4	Zuweisung visueller Stile	276	4.6.2.1	Anpassen der importierten Baugruppe	301
4.3.1.5	Lageänderung über 3D-Drehen	277	4.6.3	Datensicherung der Bauteile als Einzeldatei	302
4.3.1.6	Lageänderung über 3D-Schieben	277	4.6.3.1	Bauteil in die Zwischenablage übertragen	302
4.3.1.7	Differenz über „Kappen“, Rechteck als Schnittfläche	277	4.6.3.2	Einfügen des Bauteils	
4.3.1.8	Datensicherung als Zeichnungsdatei	278		aus der Zwischenablage als neue Datei	302
4.3.1.9	Hintere Hohlkörperhälfte als STL-Druckdatei über „Publizieren“ erstellen	279	4.6.3.3	Zuweisung visueller Stile	302
4.3.2	3D-Drucker-Software „MakerBotPrint“ starten	279	4.6.3.4	Datensicherung als Zeichnungsdatei	302
4.3.2.1	3D-Bauteil Druckdatei erstellen	280	4.6.3.5	Datensicherung als Zeichnungsdatei	303
4.3.2.2	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	282	4.6.4	3D-Druck der Baugruppe	
4.3.2.3	Datensicherung der Druckdatei erstellen	282		aus einzelnen Unterbaugruppen	
4.3.3	Zweiteilige Übergabe des Hohlkörpers, Online-Übergabe der STL-Druckdatei, Windows „3D- Builder“	283	4.6.4.1	Übergabe der STL-Druckdateien über „Publizieren“	304
4.3.4	Bearbeitung der Hohlkörper-Bauteile	283	4.6.4.2	3D-Druck der Baugruppe	
4.3.4.1	Arbeitsebene anpassen	283		aus einzelnen Unterbaugruppen	
4.3.4.2	Layerzuweisung	283		Baugruppen-Bearbeitung	305
4.3.4.3	Übergabe der einzelnen Bauteilhälften als STL-Datei über „Exportieren“	284	4.6.4.3	Datensicherung und HP-Online-Übertragung	309
4.3.4.4	3D-Druck der Bauteilhälften, Bauteilbearbeitung	285	4.7	3D-Druck von Baugruppen, SOLIDWORKS®-Import „Normteil-Baugruppe mit echtem Gewinde“	
4.3.4.5	Windows 3D-Builder®, Bauteilübergabe	285		Übergabe an 3D-Drucker-Software „PrusaSlicer“	310
4.3.4.6	Druckmaterialzuweisung	285	4.7.1	Importablauf „Normteil-Baugruppe“	310
4.3.4.7	Online-Bestellzuweisung	286	4.7.1.1	Voreinstellungen laden	310
4.4	3D-Druck von Bauteilen, Parasolid®-Import „Zahnradwelle mit echtem Gewinde“ „AutoDesk PrintStudio“ und 3D-Druck-Online-Übergabe	287	4.7.1.2	So importieren Sie eine SOLIWORKS-3D-Baugruppe	310
4.4.1	Importablauf „Zahnradwelle mit echtem Gewinde“	287	4.7.1.3	Importierte Baugruppendatei anpassen	311
4.4.1.1	Voreinstellungen laden	287	4.7.1.4	Zuweisung visueller Stile	311
4.4.1.2	So importieren Sie ein Parasolid-3D-Bauteil	287	4.7.1.5	Datensicherung als Zeichnungsdatei	311
4.4.1.3	Zuweisung visueller Stile	288	4.7.1.6	Anpassen der importierten Baugruppe	312
4.4.1.4	Lageänderung über 3D-Drehen und 3D-Schieben	288	4.7.1.7	Datensicherung als Zeichnungsdatei	312
4.4.1.5	Datensicherung als Zeichnungsdatei	288	4.7.2	Datensicherung der Bauteile als Einzeldatei	312
4.4.2	„AutoDesk PrintStudio“, Druckmodell-Erstellung	289	4.7.3	Bearbeiten Sie die importierte Baugruppe, 3D-Druck-Vorbereitung	313
4.4.2.1	„AutoDesk PrintStudio“, die Druckmodell-Bearbeitung	289	4.7.3.1	Lageänderung der Bauteile durch Verschieben auf die Grundebene	313
4.4.2.2	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	290	4.7.3.2	Datensicherung als Zeichnungsdatei	313
4.4.3	Übergabe an 3D-Druck-Online-Anbieter „i.materialise“	292	4.7.3.3	Übergabe der vereinigten Baugruppe als STL-Datei über „Exportieren“	314
4.5	3D-Druck von Bauteilen, STEP®-Import „Lagergehäuse“ Gerätesoftware „MakerWare“	293	4.7.4	3D-Drucker-Software „PrusaSlicer“ starten	314
4.5.1	Importablauf „Lagergehäuse“	293	4.7.4.1	Mehrfach-Extruder zuweisen	314
4.5.1.1	Voreinstellungen laden	293	4.7.4.2	Software „PrusaSlicer“, Druckdateigenerierung	314
4.5.1.2	So importieren Sie ein STEP-3D-Bauteil	293	4.7.4.1	3D-Bauteil Druckdatei, Stützmaterial zuweisen	316
4.5.1.3	Zuweisung visueller Stile	294	4.7.4.2	3D-Bauteil Druckdatei erstellen	
				mit Ansichtsanpassung	316
			4.7.4.3	Darstellung einzelner Filamentlagen	316
			4.7.4.4	Datensicherung der 3D-Bauteil Druckdatei	317
			4.8	3D-Druck von Baugruppen Parasolid®-Import „Gussform mit eingeformten Innenteil, geschnitten“	
				Lagegenaue Übergabe an 3D-Drucker-Software „MakerWare“	318

4.8.1	Importablauf „Gussform mit eingeformten Innenteil“	318
4.8.1.1	Voreinstellungen laden	318
4.8.1.2	So importieren Sie eine Parasolid-3D-Baugruppe	318
4.8.1.3	Zuweisung visueller Stile	319
4.8.2	Importierte Baugruppendatei anpassen	319
4.8.2.1	Layerzuweisung	320
4.8.2.2	Halbierung der Deckel über „Kappen“	320
4.8.3	Übergabe der STL-Druckdateien über „Publizieren“	321
4.8.4	3D-Druck über 3D-Drucker-Software „MakerWare“, Dualextruder	322
4.8.4.1	3D-Drucker-Software „MakerWare“ starten	322
4.8.4.2	3D-Druckdateien übertragen und als Baugruppe positionieren	323
4.8.4.3	3D-Bauteil Druckdatei erstellen	324
4.8.4.4	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	325
4.8.4.5	Datensicherung der Druckdatei erstellen	325
4.9	3D-Druck von Baugruppen, STEP®-Baugruppe importieren „Schmidt-Kupplung, Einzelteile“ Übergabe an „AutoDesk PrintStudio“	326
4.9.1	Importablauf „Schmidt-Kupplung“	326
4.9.1.1	Voreinstellungen laden	326
4.9.1.2	So importieren Sie ein Parasolid-3D-Bauteil	326
4.9.1.3	Importierte Baugruppendatei anpassen	327
4.9.1.4	Datensicherung als Zeichnungsdatei	327
4.9.2	„AutoDesk PrintStudio“, Druckmodell-Erstellung	328
4.9.3	„AutoDesk PrintStudio“, die Druckmodell-Bearbeitung	328
4.9.3.1	Darstellung der einzelnen Filamentlagen	330
4.9.4	Übergabe der 3D-Druckdatei an Online-Anbieter	331
4.9.4.1	Aufruf des Online Anbieters für die 3D-Druck-Erstellung, Beispiel	331
5	Die DVD zum Buch	334
5.1	Die DVD zum Buch, Vorbemerkungen	334
5.2	Die DVD zum Buch, Preis und Bestellmöglichkeit	334
5.3	Die DVD zum Buch, Inhalte im Überblick	334
5.3.1	DVD zum Buch, Support-Kapitel	334
5.3.2	Die DVD zum Buch, AutoCAD 2022, Dateien zu den Lerneinheiten	334
5.3.3	Die DVD zum Buch, AutoCAD 2022, PDF-Dateien	334
5.3.4	Die DVD zum Buch, Auflistung der Inhalte, Kurzüberblick	334

Die DVD zum Buch, Inhalt, Auszug

6	AutoDesk AutoCAD® 2022, Installation, Programmtechnische Grundlagen Voreinstellungen	bis Seite 9-76
7	AutoCAD 2022 2D-Grundblätter	bis Seite 10-60
8	AutoCAD 2022 3D-Grundblätter	bis Seite 10-20

„Indem wir auf die Betrachtung der Fläche gleich die in Bewegung befindlichen Körper folgen ließen, ehe wir noch die Körper bloß für sich betrachten, während es sich doch eigentlich gehörte nach der zweiten Ausdehnung erst die dritte folgen zu lassen.“

- Platon „Der Staat“ -

- Sokrates beklagt den Zustand der Raumgeometrie -
(etwa 375 v. Chr.)

Ah, wenn es möglich ist, mit ultraviolettem Licht, Plastik zu flicken, könnte ich vielleicht dünne Schichten zu 3D-Bauteilen stapeln.“

Chuck Hull, 3D-Systemes®

Vorwort

Rapid Prototyping, 3D-Druck, Additive Fertigung, Begriffe, die heute selbstverständlich genutzt werden als wären diese schon immer Teil unseres Alltags, doch die Herstellung von Bauteilen im 3D-Druckverfahren ist jünger, als es scheint, knapp 35 Jahre erst ist es her, dass der 3D-Druck erfunden wurde. Der 3D-Druck verspricht seit Jahren wahre Wunder, viele Entwicklungen klingen nach Science-Fiction, sind aber Realität, so dass der 3D-Druck mit der Erfindung der Dampfmaschine verglichen werden kann, hier wird in der Fertigungstechnik die dritte industriellen Revolution eingeleitet. Heute kann man Gegenstände präzise digital über CAD-Anwendungen oder über 3D-Scans abbilden und der 3D-Drucker kann diese Elemente genauso präzise analog nachdrucken. Im Gegensatz zu herkömmlichen Fertigungsverfahren wird das Produkt nicht gegossen, geschnitten oder gefräst, sondern Schicht für Schicht aufgetragen, dabei wird nicht nur weniger Material benötigt, es fällt auch weniger Abfall an. Der 3D-Metalldruck bleibt eines der am schnellsten wachsenden Segmente im 3D-Druck, das wahre Potenzial noch nicht ansatzweise ausgeschöpft. Komplexe Bauteile, früher zum Teil mit großem Materialverlust aus vollem Material gefräst, können nun per 3D-Druck aus unterschiedlichen Materialien hergestellt werden. Hohle Antriebswellen, zum Teil mit aufgesetzten Zahnräder, können in einem Stück, aus hochwertigen Stählen und in hoher Passgenauigkeit über Rapid Prototyping hergestellt werden.

Dieses Buch zeigt, in sieben verschiedenen Bereichen die Möglichkeiten des 3D-Drucks aus AutoDesk AutoCAD heraus.

Es wird dargestellt wie die 3D-Druck-Dateien an 3D-Druckern stationär und in den 3D-Online-Druckdienst übergeben werden können, eine Erweiterung, in diesem Buch, stellt die Druckdatei-Zuweisung an 3D-Gerätesoftware wie PrusaSlicer®, AutoDesk PrintStudio® und HP 3D Build Manager® dar, weiterhin wird auch die Druckdateierstellung über Mehrfach-Filamentextruder aufwendig erklärt und in einem eigenen Kapitel ist die Erstellung von Lösungen im Formenbau beschrieben.

Die kompletten Baugruppendateien, die Farbausgabe des Buches im PDF-Format und ein Supportkapitel für die programmtechnischen Einstellungen von AutoDesk AutoCAD 2022 ebenfalls als Farb-PDF, sind auf einer, gratis zu bestellenden Buch-DVD zu erhalten.

Ein Wort noch in persönlicher Sache, dieses Buch erscheint wieder über BOD, da es für Fachbuchverlage nicht gewinnbringend ist, CAD Bücher für einen kleineren Anwenderbereich zu verlegen. Um dieses Buch auch kostenüberschaubar einem kleineren Anwenderkreis zur Verfügung zu stellen, habe ich auf ein Druckformat in Farbe verzichtet.

Die kompletten Baugruppendateien, die Farbausgabe des Buches im PDF-Format und ein Supportkapitel für die programmtechnischen Einstellungen von AutoDesk AutoCAD 2022 ebenfalls als Farb-PDF, sind auf einer, gratis zu bestellenden Buch-DVD zu erhalten. Für die Käufer dieses Buches biete ich die Möglichkeit an, eine DVD gegen Vorlage der Kaufbestätigung, gratis zu bestellen, hierzu sehen Sie bitte das Kapitel 5 an.

Wer dem Autor einen Gefallen tun möchte, bestellt direkt bei dem BOD-Verlag:

<https://www.bod.de/buchshop/>

Ein besonderer Dank gilt meiner Frau Birgit, die sich wieder als Lektorin ausgezeichnet hat.

Hans- J. Engelke, im Oktober 2021

1

AutoDesk
AutoCAD 2022

3D-Druck
Grundlagen

1 3D-Druck mit AutoCAD 2022

1.1 3D-Druck, Entwicklungen

Im Verlauf des letzten Jahrzehnts zeichnete sich beim Entwicklungszyklus ein deutlicher Trend hin zu virtuellen Werkzeugen ab. In Anbetracht der Situation war dieser Trend auch gerechtfertigt. Durch das Erstellen digitaler Prototypen ließen sich die Form, Passung und Funktion der Konstruktion schnell überprüfen. Es bietet gegenüber dem kostspieligen und zeitaufwändigen Erstellen physikalischer Prototypen deutliche Vorteile.

Zudem ermöglicht das virtuelle Prüfen der Performance von Konstruktionen schnellere Iterationen zu einem früheren Zeitpunkt im Konstruktionsprozess. Die Entwicklungszyklen haben sich beschleunigt. Dennoch zeichnet sich bei den Entwicklungszyklen in den letzten Jahren, aufgrund von neuen technologischen Errungenschaften, ein anderer Trend ab.

Der 3D-Druck, also das Prinzip des Übereinanderlegens von Materialschichten, zum Erstellen eines realen Produkts, ist deutlich schneller, günstiger und zugänglicher geworden, die Einführung dieser Technik wird als großer Innovationsdurchbruch gefeiert, damit kann ein Teil buchstäblich in Minuten oder Stunden erstellt werden. Der 3D-Druck wird in vielen Branchen eingesetzt, bringt aber gerade für die Konstruktion und die Produktentwicklung große Vorteile. Er kann zur Ergänzung virtueller Prototyping-Werkzeuge eingesetzt werden oder sie vielleicht sogar als technisch einfache Alternative ablösen, der 3D-Druck hat erhebliche Auswirkungen auf die Konzeptgestaltung, die detaillierte Konstruktion und das Erstellen und Testen von Prototypen.

1.1.1 3D-Druck, Grundlagen

Der 3D-Druck ist eine Hardware-Technologie, die mithilfe von additiven Fertigungsmethoden physikalische Komponenten erstellt. Eine nach der anderen werden einzelne Materialschichten übereinandergelegt, bis ein vollständiges Teil entsteht. Beim 3D-Druck können eine Reihe von Materialien, einschließlich Kunststoff und Metall, verwendet werden.

3D-Druckmaterialien eröffnen ganz neue Möglichkeiten bei der Konstruktion, da Konstrukteure nicht mehr auf herkömmliche Bearbeitungsvorgänge und die damit verbundenen Einschränkungen angewiesen sind. Das bedeutet, dass Konstrukteure beispielsweise hohle oder gitterartige Komponenten entwerfen können, die mit Fräs- und Dreh- Bearbeitungsmethoden unmöglich gefertigt werden könnten.

Zudem werden neue Methoden entwickelt, die additive und herkömmliche subtraktive Ansätze verbinden. Bei laufenden Forschungsarbeiten werden verschiedene Materialeigenschaften in räumlicher Hinsicht untersucht, damit Konstrukteure die Möglichkeit erhalten, Materialien und nicht nur Produkte zu entwickeln.

Ein weiterer Vorteil des 3D-Drucks ist seine Schnelligkeit und Handhabbarkeit. 3D-Drucker können genauso wie ein Standarddrucker mitten im Konstruktionsbüro stehen. Außerdem ist durch das schnelle Drucken von Teilen innerhalb von Stunden ein schnelles Erstellen von Prototypen möglich. Nun gibt es additive Fertigungsmethoden bereits seit einiger Zeit.

Aber Bedenken hinsichtlich ihrer sicheren Verwendung, allgemein hohe Kosten und Materialeinschränkungen haben die Technologie bisher daran gehindert, in der Konstruktion massentauglich zu werden. Durch die Entwicklungen der letzten Jahre konnten viele dieser Hemmnisse überwunden werden.

Aus Modellierungsperspektive müssen Konstrukteure in der Lage sein, ihre 3D-Modelle in ein Format umzuwandeln, das von der 3D-Drucker-Hardware gelesen werden kann, meistens eine STL-Datei. Dieses Modellformat und andere, die für den 3D-Druck verwendet werden, bestehen aus Facettenmodellen.

Viele Konstruktionsunternehmen setzen den 3D-Druck ein. Dennoch gibt es ein paar Punkte, die beachtet werden sollten. Als Eingabe benötigt diese neue Technologie Modelle, die sich aus einer Netzgeometrie zusammensetzen, die präzisen Facettengeometrien entsprechen. Leider können solche Geometrien mit den herkömmlichen Funktionen der parametrischen oder direkten Modellierung nicht bearbeitet werden. Dafür wird Facettenmodellierung benötigt.

Die meisten herkömmlichen CAD-Anwendungen bieten nur parametrische und direkte Modellierung, sodass Unternehmen dazu gezwungen sind, die Modelle mit einem zweiten Modellierungstool, das Facettenmodellierung ermöglicht, hin- und herzuziehen. Bei dieser Kompromisslösung muss die Geometrie, wenn sie während der Übertragung beschädigt wurde, oft aufwändig wiederhergestellt werden. Glücklicherweise vereint eine neue Reihe von CAD-Programmen eine Kombination aus parametrischer, direkter und facettenbasierter Modellierung in einer einzigen Anwendung. Damit lassen sich viele der zuvor genannten Probleme beheben.

1.1.2 3D-Druck und CAD

Bei der Konzeptentwicklung erarbeiten Konstrukteure eine Reihe von Ideen, die das Potenzial haben, die vorliegenden Anforderungen an Form, Passung und Funktion zu erfüllen. Zunächst suchen sie nach Konstruktionen, die diese Anforderungen grundsätzlich erfüllen. Abhängig von der Rolle, die die Konstruktion im Rahmen des gesamten Produkts oder Systems einnimmt, untersucht der Konstrukteur dann weitere Alternativen oder geht zu einer anderen Konstruktion über.

Der Einsatz des 3D-Drucks in der Konzeptentwicklung bietet hochinteressante Möglichkeiten. Konstrukteure und andere Personen, die an der Produktentwicklung beteiligt sind, können Konstruktionen jetzt materiell und nicht mehr nur visuell erfahren. Während Konstrukteuren vielleicht gute räumliche Visualisierungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen, gilt dies nicht unbedingt für andere Positionen innerhalb der Konzeptentwicklung. Das einfache Ausdrucken eines Teils ermöglicht es den Beteiligten, das Modell physisch zu erleben, was deutlich wirkungsvoller sein kann, als das Modell nur auf dem Bildschirm zu sehen.

Auch aus Konstruktionsperspektive bieten sich nützliche Anwendungen, indem verschiedene potenzielle Entwürfe gedruckt werden, können Konstrukteure diese anhand einer Konstruktionsstudie vergleichen. Der 3D-Druck liefert Ergebnisse einer strukturellen Simulation, einschließlich Randfarbenplots, ermöglicht das genaue Visualisieren der Ergebnisse. Zudem kann die Zusammenarbeit durch das Drucken von verkleinerten Modellen eines ganzen Systems, die für eine einfachere Auswertung farbkodiert sind, stark vereinfacht werden. Sie können sogar im Laufe der Zeit durch neu gedruckte Teile aktualisiert werden, wodurch sich die Genauigkeit erhöhen lässt.

Die digitalen geometrischen Darstellungen dieser Konstruktionen variieren sehr stark. Manche verwenden Top-Down-Konstruktionstechniken, um Volumen und Räume für spezifische Komponenten abzutrennen. Andere konkretisieren diese Ideen mit 2D- oder 3D-Skizzen, die aus Kurven, Linien, Flächen und anderen einfachen Geometrien entwickelt wurden. Allerdings handelt es sich bei diesen Darstellungen zu diesem Zeitpunkt normalerweise nicht um detaillierte 3D-Modelle. Diese werden während der detaillierten Konstruktion erstellt.

Die Verwendung der Facettenmodellierung bei der Konzeptentwicklung ist eine Grundvoraussetzung für den 3D-Druck. Nachdem die Konzeptgeometrie in ein Format exportiert wurde, das der 3D-Drucker lesen kann, müssen Konstrukteure die Konstruktion eventuell ergänzen, entfernen oder ändern. Manchmal kann auch eine Verfeinerung der Qualität der Netzgeometrie erforderlich sein. Die Facettenmodellierung bietet diese Möglichkeit.

Vor vielen Jahren stützte man sich beim Überprüfen von Form, Passung und Funktion einer detaillierten Konstruktion größtenteils auf Prototypen, deren Entwicklung teuer und zeitaufwändig war. In jüngerer Zeit setzen Konstruktionsunternehmen in großem Maßstab virtuelle Prototypen zum Erreichen vieler dieser Validierungsziele ein. Mit der zunehmenden Verbreitung des 3D-Drucks haben Konstruktionsunternehmen die Möglichkeit, sowohl virtuelles Prototyping als auch den schnellen und kostengünstigen 3D-Druck zu verwenden.

Interessanterweise bietet der 3D-Druck eine Möglichkeit zum Überprüfen vieler Produkteigenschaften, die ein virtueller Prototyp nicht bietet. In manchen Branchen muss die Qualität eines Produkts anhand seines Gewichts und seiner Haptik beurteilt werden. Sowohl Ästhetik als auch Haptik lassen sich virtuell schwer beurteilen. Manche Produkte können sich nur durch eine bestimmte Textur oder Haptik von anderen Produkten abheben. Derartige materielle Untersuchungen lassen sich ohne den 3D-Druck nur schwer bewerkstelligen. In anderen Funktionsbereichen wiederum ist der 3D-Druck als Validierungsmöglichkeit leichter zugänglich als virtuelle Prototypen.

1.1.2.1 Geometrie und Modellierungstypen

Die herkömmliche Geometriemodellierung nimmt im Allgemeinen eine von zwei Formen an: Parametrisch oder direkt. Mit der parametrischen Modellierung kann ein Modell Formelement für Formelement erstellt werden, indem die Bemaßungen mit Parametern gesteuert werden. Die Direktmodellierung ermöglicht es, die vorhandene Geometrie durch Ziehen und Verschieben zu bearbeiten. Beide Modellierungsansätze arbeiten mit Begrenzungsflächen, in denen die Geometrie durch flache oder leicht gebogene Oberflächen dargestellt wird.

Die Netzgeometrie hingegen besteht aus einer Punktwolke, die die äußere Oberfläche einer Konstruktion darstellt. Einige CAD-Anwendungen wandeln diese in Volumenkörpergeometrie um, indem sie planare Dreiecke oder Trapeze erstellen und diese miteinander zu einem geschlossenen Volumenkörper verbinden. Mit der Facettenmodellierung können Konstrukteure die Qualität des entstehenden Netzes optimieren und die Geometrie durch Hinzufügen und Entfernen von Material bearbeiten. In vielen Fällen müssen Konstrukteure bei der Entwicklung parametrische, direkte und facettenbasierte Modellierung kombinieren. Facettenmodelle besitzen planare Flächen, die sich der genauen Geometrie annähern, die bei der parametrischen und direkten Modellierung erstellt werden, deren Einsatz im Konstruktionsprozess weit verbreitet ist.

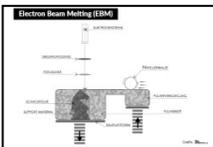
1.3 3D-Druck, Druckverfahren

1.3.1 3D-Druck mit Pulver (3DP)

Ein sehr fortgeschrittenes Verfahren aus dem Bereich **Additive Layer Manufacturing** verwendet Pulver als Grundlage für den 3D-Druck. Ein solcher Printer verfügt über einen oder mehrere Druckköpfe, der ähnlich wie bei einem herkömmlichen Tintenstrahl Drucker funktioniert. Anstelle von Tinte, wird über diesen Druckkopf jedoch ein flüssiges Bindemittel auf eine Pulverschicht aufgetragen. Als Datengrundlage dienen auch hier, die einzelnen 2D-Layer eines zerlegten 3D-Modells. Beim 3D-Druck mit Pulver, wird der erste (unterste) Layer über einen beweglichen Druckkopf mit einem flüssigen Klebstoff auf eine Pulverschicht aufgetragen. Der 3D-Drucker zeichnet somit ein 2D-Bild der ersten Schicht auf das Pulverbett und verklebt die einzelnen Material-Partikel miteinander. Danach wird automatisch eine frische, hauchdünne Pulverschicht über das erste Bild gezogen und der Vorgang wiederholt sich mit dem 2D-Bild des zweiten Layers. Schicht für Schicht werden so die einzelnen Layer in das Pulverbett gezeichnet und ein 3D-Modell entsteht aus der Summe der zusammengeklebten Pulverteilchen. Damit das 3D-Objekt von unten nach oben wachsen kann, wandert das Pulverbett zwischen jedem Layer um die Höhe einer Pulverschicht um die Z-Achse nach unten. Die Materialmenge ist dabei so berechnet, dass sich die Schichten auch untereinander verkleben. Das Pulver und der Kleber können dabei aus unterschiedlichen Materialien bestehen. So wird zwar vorrangig mit Gips und Kunststoffpulver gedruckt, aber auch Keramik, Glas und andere pulverförmige Materialien wie Metalle können verarbeitet werden.

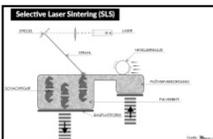
1.3.1.1 Elektronenstrahlschmelzen, Electron Beam Additive Manufacturing

Beim Elektronenstrahlschmelzen werden nach einem ähnlichen Prinzip, pulverförmige Metalle über einen gut steuerbaren Elektronenstrahl unter Vakuum verschmolzen. Das Vakuum verhindert einen Einschluss von Sauerstoff in das Objekt. Dadurch entstehen sehr feste metallische Objekte, die über einen komplexen Aufbau verfügen können. Das Verfahren ermöglicht auch das Verarbeiten von Metallen mit einem höheren Schmelzpunkt wie beispielsweise Titan. Zwar erreichen EBM Geräte üblicherweise eine schlechtere Auflösung als SLS Geräte, dafür ist der Druckvorgang um einiges schneller.



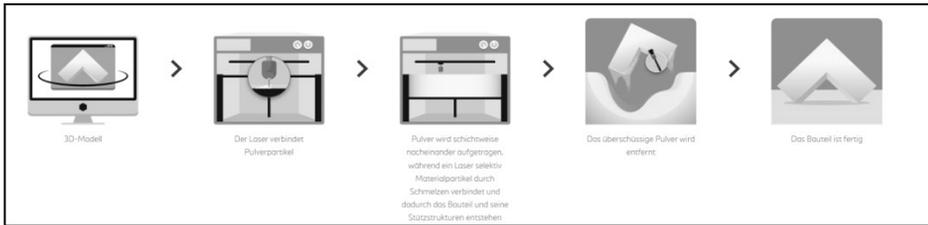
1.3.1.2 3D-Metall-Direktdruck, Laser-Sintern

Beim 3D-Druck-Verfahren, Laser-Sintern, kommt wie bei der Stereolithographie ein Laser zum Einsatz, diesmal aber kein UV-, sondern je nach Maschine ein CO₂-, Yttrium-Aluminium- oder Faser-Laser. Im 3D-Drucker gibt es außerdem nicht eine, sondern zwei Arbeitsbühnen. Die eine arbeitet von unten nach oben und liefert das Rohmaterial, meist Polyamid-Pulver. Möglich sind als Ausgangsmaterial aber auch mit Kunststoff beschichteter Formsand sowie Metall- oder Keramikpulver.



Die andere Hebebühne läuft in der Gegenrichtung, also von oben nach unten. Auf diesem sogenannten Drucktisch wird das 3D-Modell aufgebaut. Eine Rolle schiebt das Pulver vom Vorratsbehälter über den Drucktisch. Der Laser erhitzt die Stellen des späteren Objekts und schmilzt dort das Pulver zusammen. Ist die unterste Schicht gebaut, schiebt der Roller eine neue, hauchdünne Pulverschicht darüber, der Laser wird neu justiert und schmilzt die zweite Schicht Pulver ein. So entsteht auch beim Laser-Sintern das Objekt von unten nach oben.

In den VDI-Richtlinien **3405 Laser-Strahlschmelzen metallischer Bauteile** sind Materialkenndatenblätter für Nickellegierungen, Aluminiumlegierungen und Laser-sintern von Kunststoffbauteilen neu aufgelegt und werden auch um weitere Materialien ergänzt.



1.3.1.3 3D-Metall-Direktdruck, Vorbemerkungen

Der Direktmetalldruck (DMP) ist eine additive Fertigungstechnik, mit der Teile in einer Vielzahl von Metalllegierungen hergestellt werden können. Aus Metallpulver als Ausgangsmaterial wird das Produkt Schicht für Schicht hergestellt. Jede Schicht wird dann auf die vorhergehende aufgeschmolzen, wodurch ein festes und dichtes Teil (bis zu 99,9 %) entsteht, das mit den Ergebnissen konventioneller Herstellungsverfahren (Fräsen, Gießen) vergleichbar ist. Bei diesem Prozess entsteht fast kein Abfallmaterial, und es können komplexe Geometrien gebaut werden, die sonst nicht hergestellt werden könnten. Durch die Kombination mehrerer Teile zu einem einzigen Produkt entfallen Montageprozesse, z. B. das Schweißen, was für zusätzliche Funktionalität sorgt. Die Vorteile des 3D-Metall-Direktdruck in Auszug:

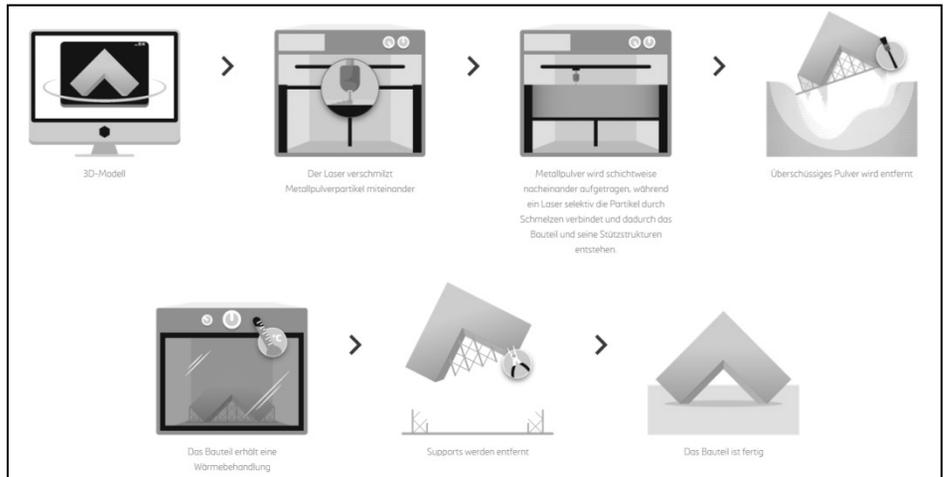
- Gewichtsreduzierung
Durch Gitterstruktur- oder Topologie-Optimierung.
- Kundenspezifische Produkte
Interne Strukturen wie konturnahe Kühlung, die auf herkömmliche Weise nicht herstellbar sind.
- Verbesserte Funktionalität der Teile
Thermische, strömungstechnische, strukturelle Funktionalität oder Integration verschiedener Funktionen in einem Teil.
- Schnelle Produktion
Keine Tools oder umfangreiche Programmierung erforderlich.

1.3.1.4 3D-Metall-Direktdruck, Druckvorgaben

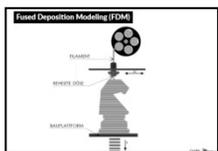
Die Oberflächenqualität beim Direktmetalldruck ist abhängig von der Ausrichtung der Oberfläche. Der Treppenstufeneffekt, der allen additiven Schichtherstellungstechnologien eigen ist, kann durch den Aufbau von stärker vertikalen oder aber perfekt horizontal ausgerichteten Flächen verringert werden. Auf nach oben gerichteten Flächen ist dieser Effekt deutlich sichtbar und wichtig. Auf nach unten gerichteten Flächen ist der Schlackenbildungseffekt in den meisten Fällen größer als der Treppeneffekt. Schlacke ist die unerwünschte Menge an geschmolzenem Material und Teilchen als Folge des Schmelzens auf losem Pulver. Bei nach unten gerichteten Oberflächensack die geschmolzene Schicht durch das darunter liegende lose Pulver, was zur Bildung von Schlacke führt. Nach unten gerichtete Flächen sind die schlechtesten Flächen mit einer hohen Rauheit des Teils. Ganz allgemein kann man sagen, dass die Qualität des Teils durch Verringerung der nach unten gerichteten Flächen erhöht wird.

Die Qualität von Druckmerkmalen wie Löcher, Taschen, Schraubengewinde usw. hängt von der Ausrichtung des Teils ab. Die höchste Qualität beim Drucken entsteht in Z-Richtung (senkrecht zur Bauplattform). Wenn diese Details in X/Y-Richtung (parallel zur Bauplattform) gedruckt werden, verschlechtert sich deren Qualität durch die Ausrichtung nach unten.

Bei der Ausrichtung der Teile sollen die thermischen Spannungen so gering wie möglich gehalten werden. Diese thermischen Spannungen werden durch eine erste lokale Erwärmung des Pulvers und eine schnelle Abkühlung nach dem Schmelzen des Pulvers erzeugt. Eine Möglichkeit, die Spannungen so gering wie möglich zu halten, besteht darin, die Querschnitte (also das, was tatsächlich in jeder Schicht gescannt wurde) so klein wie möglich zu halten.



3D-Drucker
MakerBot Replicator 2



1.3.2 Fused Deposition Modelling

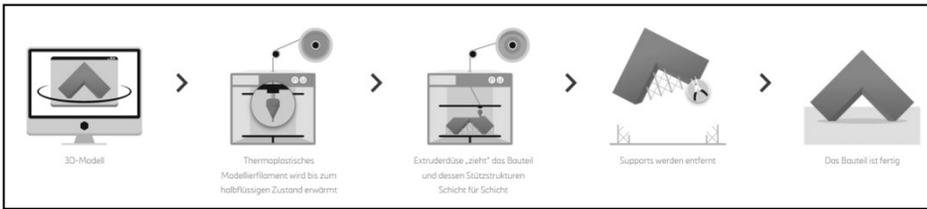
Bei der Rapid Prototyping-Technologie **Fused Deposition Modelling (FDM)** sind zahlreiche thermoplastische Materialien verarbeitbar, größtenteils Kunststoffe.

Fused Deposition Modeling (FDM, deutsche Bezeichnung Schmelzschichtung) oder **Fused Filament Fabrication (FFF)** bezeichnet ein Fertigungsverfahren aus dem Bereich des Rapid Prototyping, mit dem ein Werkstück schichtweise aus einem schmelzfähigen Kunststoff aufgebaut wird. Maschinen für das FDM gehören zur Maschinenklasse der 3D-Drucker.

Im Schmelzschicht-Verfahren wird zunächst, ähnlich wie bei einem normalen Drucker, ein Raster von Punkten auf eine Fläche aufgetragen. Erzeugt werden die Punkte dabei durch die Verflüssigung eines drahtförmigen Kunststoff- oder Wachsmaterials durch Erwärmung, der Aufbringung durch Extrudieren mittels einer Düse sowie einer anschließenden Erhärtung durch Abkühlung an der gewünschten Position in einem Raster der Arbeitsebene.

Der Aufbau eines Körpers erfolgt üblich indem wiederholt, jeweils zeilenweise eine Arbeitsebene abgefahren und dann die Arbeitsebene ‚stapelnd‘ nach oben verschoben wird, sodass eine Form schichtweise entsteht. Die Schichtdicken liegen je nach Anwendungsfall zwischen 0,025 und 1,25 mm. Üblicherweise können Vollkörper und Hohlkörper gefertigt werden. Die herstellbaren Wandstärken bei einem Hohlkörper sind jedoch verfahrensbedingt, je nach 3D-Drucker, beschränkt auf ca. mindestens 0,2 mm.

Bei der schichtweisen Modellherstellung verbinden sich damit die einzelnen Schichten zu einem komplexen Teil. Auskragende Bauteile können mit diesem Verfahren nur mit Stützkonstruktionen, die bei der Generierung der Druckdatei berechnet werden, erzeugt werden.



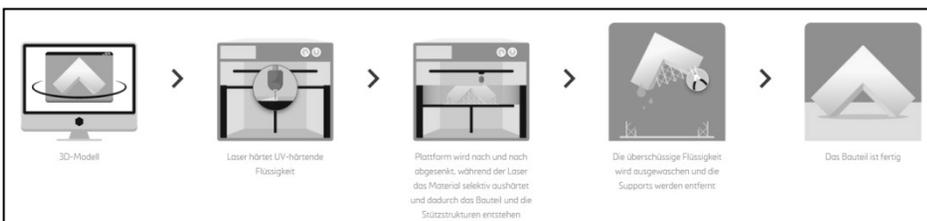
1.3.3 Stereolithographie

Bereits im Jahr 1983 wurde die Stereolithographie von Chuck Hull und Dr. Hideo Kodama erfunden. Chuck Hull gründete später 3D Systems, einen der weltgrößten Hersteller von 3D-Druck-Anlagen. Mit dem Stereolithografie-Verfahren ist es möglich, sehr filigrane Strukturen, präzise und glatte Oberflächen zu erzeugen. Hull beschrieb die Methode als das Herstellen von dreidimensionalen Modellen durch das aufeinanderfolgende Drucken dünner Schichten aus einem Material, das sich durch ultraviolettes Licht härten lässt.

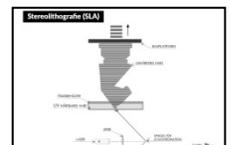
Die Stereolithographie gehört zu einer Gruppe von additiven Fertigungstechniken, die auch als VAT-Photopolymerisation bezeichnet wird. Diese Geräte arbeiten alle nach demselben Prinzip, nämlich dem Einsatz einer Lichtquelle, UV-Laser oder Projektor, zur Aushärtung von flüssigem Kunstharz zu hartem Kunststoff. Beim Stereolithografie-Verfahren werden lichtaushärtende Kunststoffe in dünnen Schichten von einem Laser ausgehärtet. Diese Kunststoffe nennen sich Photopolymere. Das können zum Beispiel Kunst- oder Epoxidharze sein.

Das Bauteil entsteht in einem flüssigen Kunststoffbad, welches aus den Basismonomeren des zu verarbeitenden lichtempfindlichen Kunststoffs besteht. Der flüssige Kunststoff wird mit einem Wischer gleichmäßig über der vorherigen Schicht verteilt. Ein Laser, der über bewegliche Spiegel gesteuert ist, fährt anschließend auf der neuen Schicht über die Flächen, die ausgehärtet werden sollen. Ist die Schicht ausgehärtet, wird die Bauplattform um einige Millimeter abgesenkt und in eine Position zurückgefahren, welche um genau den Betrag einer Schichtstärke unter der Schichtstärke davor liegt.

Danach wird die nächste Schicht gedruckt. Schicht für Schicht wird so das Objekt aufgebaut. Bei der Stereolithographie ist das Ausgangsmaterial flüssig. Im Drucker befindet sich ein Becken mit Epoxidharz und einer Hebebühne, die etwa 0,05 Millimeter unter der Oberfläche steht. Oberhalb des Beckens ist ein UV-Laser angebracht. Für die erste Schicht nimmt der Laser die Flüssigkeit unter Beschuss und härtet den Kunststoff aus. Ist die erste Schicht fertig, senkt sich die Plattform minimal ab, meist nur um 0,05 bis 0,25 Millimeter. Von der Seite läuft dann eine neue Schicht Kunstharz ein und bedeckt die bereits ausgehärtete Schicht. Dann härtet der Laser die zweite Schicht aus.

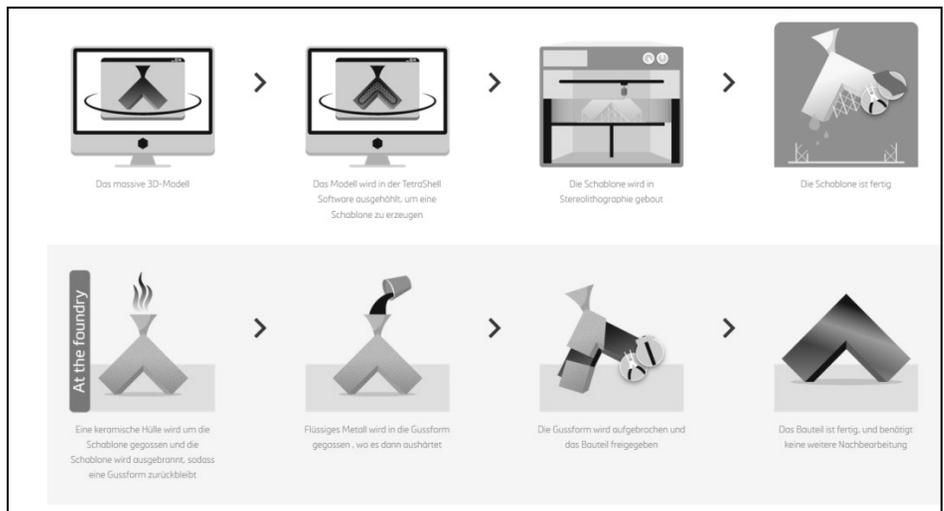


Stereolithographie
3D-Drucker Fa. Formlabs



1.3.4 TetraShell-Software für Feinguss, „Firma Materialise“

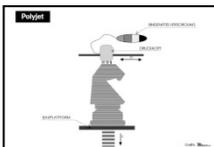
Wenn Feingussmodelle in einem Stück gebaut werden, führt dies zu einer besseren Bemaßungsgenauigkeit und Wiederholbarkeit und das Risiko von Oberflächenfehlern wie Einschlüssen wird reduziert. Die patentierten **Mammoth** Stereolithographie-Maschinen der Firma **Materialise** ermöglichen das Erstellen von Mustern mit einer Länge von bis zu 2,1 Metern und mit der besten Oberflächenbeschaffenheit dieser Klasse. Durch die Zusammenführung der **Somos TetraShell**-Software mit der Stereolithographie-Technologie entfällt die oft zeitaufwändige und teure Werkzeugproduktion. Mit 3D-Druck-Gießereimodellen erhält man eine schnelle, wirtschaftliche und flexible Lösung für Gießereiprojekte. Neben Prototyping eignen sich die Muster auch ideal für die Werkzeugvalidierung und das Gießen kleiner Serien von Metallkomponenten.



1.3.5 PolyJet-Technologie, Firma „Materialise“

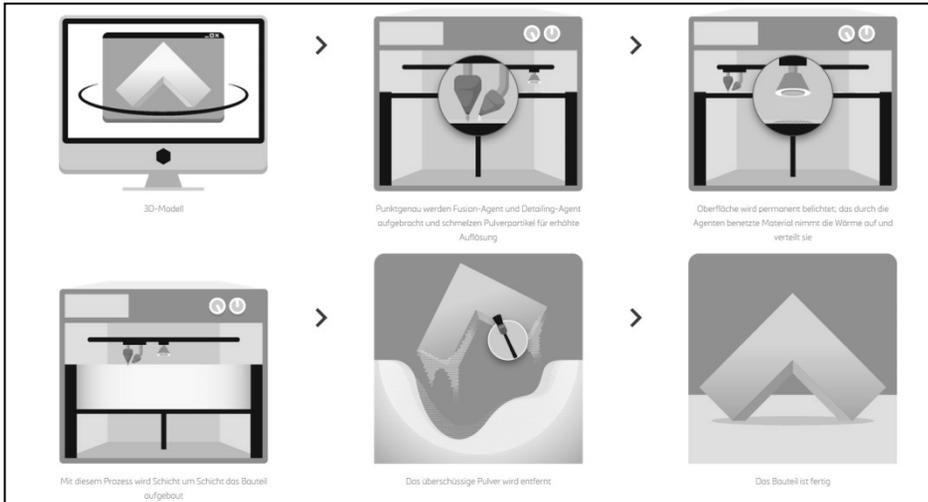
Die **PolyJet**-Technologie, wie auch **MultiJet-Modeling**, ermöglicht horizontale Schichten von gerade einmal 32 µm, diese Details und ultradünne Wände bis zu 0,6 mm, je nach Geometrie des Bauteils. Mit PolyJet können sehr präzise mechanische Komponenten gefertigt werden, sodass hochwertige Prototypen für eine kürzere Markteinführungszeit erstellt werden können.

PolyJet bietet die Möglichkeit, Bauteile und Baugruppen aus mehreren Materialien, Farben und Transparenz mit unterschiedlichen mechanischen und physischen Eigenschaften in einem Durchgang zu drucken. So können Sie problemlos Bauteile mit nie dagewesener Komplexität aus unterschiedlichen Materialien und Farben und mit der Nachbearbeitung hochwertiger Endprodukte bestellen.



1.3.6 MultiJet-Technologie, Firma „Materialise“

MultiJet Fusion verwendet ein feinkörniges PA 12-Material, das ultradünne Schichten von 80 Mikrometern ermöglicht. Dadurch entstehen Teile mit hoher Dichte und geringer Porosität im Vergleich zu PQ 12-Teilen, die mit Lasersintern gefertigt werden. Außerdem entsteht eine außergewöhnlich glatte Oberfläche und Funktionsteile erfordern nur minimale Endbearbeitung. So werden die Vorlaufzeiten verkürzt, was ideal ist für funktionale Prototypen und Kleinserien von einsatzfähigen Teilen.



1.4 AutoCAD 2022 und 3D-Druck

1.4.1 Drucken von 3D-Modellen

AutoCAD 2022 unterstützt das 3D-Drucken von Modellen, die Oberflächenkörper und Grafikkörper enthalten, nur dann wenn diese einen, wasserdicht verteilten Volumenkörper bilden. Sie können 3D-Druck für Oberflächen oder Grafikkörper verwenden, vorausgesetzt, sie bilden einen wasserdichten verteilten Volumenkörper. Körper, die keinen wasserdichten verteilten Volumenkörper bilden, werden vorübergehend ausgeblendet und Körper, bei denen dies der Fall ist, werden in 3D gedruckt. Mit AutoCAD 2022 können Sie direkt auf 3D-Druckern drucken, so als ob Sie ein Dokument auf einem Bürodrucker ausdrucken würden. Obwohl AutoCAD 2022 **.STL**, ein weithin anerkanntes Format für den 3D-Druck, ausgeben kann, haben die Formate **.3MF** und **.AMF** keine Definition von Daten wie der Position Ihres Modells relativ zum ausgewählten 3D-Drucker, der Ausrichtung, Farbe, Materialien nötig.

1.4.1.1 Dateiformat STL

Die **STL**-Schnittstelle wurde von 3D-Systems, Ende der 1980iger entwickelt. Das Datenformat wurde damals für das erste generative Fertigungsverfahren Stereolithografie erschaffen, um die CAD-Daten für den 3D-Drucker aufzubereiten. Es hat sich dann als quasi Standard-Dateiformat für den 3D-Druck durchgesetzt und ist auch bei anderen 3D-Druckverfahren kaum mehr wegzudenken.

Das **STL**-Dateiformat ist ein weltweiter Standard, weil die meisten CAD-Programme damit arbeiten können. Auch die 3D-Drucker kommen mit dem Format gut zurecht, es gilt quasi als Universalsprache im 3D-Druck.

Einfach ausgedrückt, wandelt das STL-Dateiformat ihr 3D-Modell eine Vielzahl von winzigen Dreiecken um. Die meisten CAD-Programme ermöglichen es Ihnen, Ihr 3D-Modell in eine **STL** Datei zu verändern.

STL gilt zwar als Standarddateiformat für die additive Fertigung, dennoch kann es mit den **STL**-Dateien zu Komplikationen kommen. Zum einen ist nicht jedes 3D-Modell, das in diesem Format vorliegt, automatisch 3D-druckfähig. Manchmal sind Reparaturen an dem Modell vonnöten, um es druckfähig zu machen. Zum anderen transportiert das STL-Format nur Informationen über die äußere Oberfläche und Gestalt des Objektes. Daten über die innere Struktur, Farben und Texturen sowie andere Eigenschaften werden nicht mit aufgenommen. Für einen vollfarbigen 3D-Druck müssen die Farbinformationen/Texturen in einer gesonderten Datei gespeichert werden. Alternativ muss die Farbinformation manuell den Oberflächen zugeschrieben werden.

1.4.1.2 Dateiformat 3MF

3MF, auch **3D Manufacturing Format** genannt, ist ein **Open-Source-Projekt**, das von dem von Microsoft gegründeten 3MF-Konsortium entwickelt wurde.

Das Hauptziel des 3MF-Konsortiums ist es, eine XML-basierte Plattform zu schaffen, die ein 3D-Modell mit einem umfassenden Paket von Informationen enthalten kann, die nicht in einer einfachen STL-Datei gespeichert werden können.

Das 3MF-Dateiformat verwendet die gleiche Komprimierung wie ein ZIP-Archiv – Sie können die Erweiterung tatsächlich in .zip umbenennen, einfach entpacken und mit dem Inhalt arbeiten. Abgesehen vom 3D-Modell selbst, können 3MF-Dateien enthalten:

- Mehr als ein Objekt in der Szene.
- Komplette **PrusaSlicer**-Einrichtung einschließlich Druckerprofil.
- Manuell erstellte Stützen
- Variable Einstellungen der Schichthöhe
- Modifikatoren, Szeneneinheiten Farb- und Texturinformationen

Darüber hinaus bietet 3MF eine klare Definition von Mannigfaltigkeit, es ist unmöglich, eine 3MF-Datei mit nicht-mannigfaltigen Kanten zu erstellen, und es gibt keine Mehrdeutigkeit für Modelle mit Selbstüberschneidungen. Dies hilft, Fehler in gedruckten Modellen zu vermeiden.

Einzelne Objekte können referenziert oder verschoben werden, ohne das Netz zu verändern, und mehrere identische Objekte können mit Bezug auf dasselbe Netz platziert werden. Während die STL für jede Kopie eines Netzes eine Kopie jedes Dreiecks anfertigen würde, merkt 3MF einfach, dass dieses Objekt eine neue Instanz hat und speichert seine Position.

1.4.1.3 Dateiformat AMF

Sie können Teil- und Baugruppendateien auch mithilfe des **Additive Manufacturing File Format** (AMF) exportieren. Der auf XML-Basis bestehende offene Standard AMF, kann im Gegensatz zu seinem Vorgänger auch Farben berücksichtigen und ermöglicht einen größeren Spielraum bei der Manipulation der Grundstruktur.

So kann das Format nicht nur mit einem aus Dreiecken bestehenden Netz (mesh of triangles) sondern auch mit einer Mischung aus Mesh und Funktionen arbeiten. Die beiden Erweiterungen ermöglichen beim 3D-Druck mit Farbe und für Multi-Material-Drucker einen größeren Spielraum.

AMF wurde 2013 als Release DIN EN ISO **52915** verabschiedet, konnte sich jedoch nicht durchsetzen.

1.4.1.4 Dateiformat OBJ

OBJ ist ein offenes Dateiformat zum Speichern von dreidimensionalen geometrischen Formen. Das von **Wavefront Technologies** entwickelte Format wird von vielen 3D-Grafikprogrammen unterstützt und ist daher geeignet für die Programm- und plattformübergreifende Weitergabe von 3D-Modellen

Es wird von vielen Software-Programmen oft als Austauschformat verwendet, als Alternative zu **STL**-Dateien, wenn Informationen über Farben oder Materialien angegeben werden sollten.

Das **OBJ**-Dateiformat benutzt das **ASCII**-Format mit einer einfachen Syntax. Die wichtigsten Abschnitte der OBJ-Dateien enthalten Scheitellinien, Texturkoordinaten, Normalkoordinaten und Flächen.

1.5 3D-Druck, Begriffe

Die Probleme, die beim Druck entstehen können, sind komplexer Art. Viele verschiedene Faktoren nehmen Einfluss auf den Druck. Es dauert eine gewisse Zeit, insbesondere bei komplexen Druckmodellen, bevor man ein Gefühl für das Gerät und das verwendete Material entwickelt. Für weitergehende Informationen und Hilfestellungen ist es sinnvoll, den Hersteller bzw. die Herstellerwebseite zu konsultieren.

1.5.1 Allgemeine 3D-Druck-Drucktipps

- Für den Einstieg ist es sinnvoll, nur mit einem Filament-Material zu arbeiten, da die Eigenschaften leicht variieren. Das betrifft die Art des Filaments (ABS/PLA), aber auch Filamentsorten verschiedener Hersteller oder sogar Farben einer Filamentsorte.
- Der Standort des Druckers sollte nicht gewechselt werden, um nötige Kalibrierungen nicht ständig vornehmen zu müssen. Auch die Umwelteinflüsse sollten konstant gehalten werden, damit sich das Filament in der Abkühlungsphase immer gleich verhält.
- Es empfiehlt sich, immer nur einzelne Werte wie Temperatur, Druckgeschwindigkeit, Materialdurchfluss usw. zu ändern, um das Druckergebnis zu optimieren.
- 3D-Druck ist zeitintensiv, der Drucker muss erst aufheizen, bevor der Druck startet und man das Ergebnis sieht. Sofern die ersten Lagen korrekt gedruckt wurden, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass der Druck korrekt durchläuft.
- Man sollte so wenig Masse wie möglich in dem Modell verwenden. Das reduziert die Druckzeit. Die Drucksoftware bietet Möglichkeiten, Hohlräume mit Stützmaterial zu füllen.

1.5.2 3D-Druckprobleme, eine Auswahl

1.5.2.1 Warping

Warping entsteht aufgrund von ungleichmäßig verteilten Eigenspannungen im Filament als Folge unterschiedlicher Abkühlgeschwindigkeiten und -temperaturen der einzelnen Schichten. Unter **Warping** versteht man ein Verziehen der Form, vor allem das Hochziehen/Wölben der Ecken, sofern das Filament zu schnell erkaltet.

1.5.2.2 Skipped Layer

Unter **Skipped Layer** versteht man Lücken, die beim Drucken in der horizontalen Ebene entstehen können. Es sieht so aus, als hätte der Drucker eine Lage des Filaments teilweise oder ganz vergessen.

1.5.2.3 Bad edge

Bad Edges sind Löcher, die entstehen, wenn zwei Polygone keine gemeinsame Kante haben.

1.5.2.4 Non-manifold edges

Geometrie der Dicke Null (**Non-manifold-Geometrie**) entsteht, wenn Kanten oder Eckpunkte in einem Volumenkörpermodell nicht ordnungsgemäß mit angrenzender Geometrie verbunden sind. Jede Kante eines Volumenkörpers muss genau zwei angrenzende Flächen aufweisen.

1.5.3 3D-Druck, Druckaufbau eine Auswahl

1.5.3.1 Füllung

Alles, was weder Hüllen, noch Boden, noch Dach ist, wird mit einem inneren Gitterwerk, genannt Füllung, gefüllt. Die Füllung unterstützt Ihr Objekt mit einer internen Stützstruktur. Die Zahl, die Sie in dieses Feld eingeben, definiert die Dichte der Füllung des gedruckten Objekts.

Höhere Füllung-Prozentsätze führen zu mehr Strängen von Füllungs-Extrusion, die enger beieinander sind. Niedrigere Füllung-Prozentsätze führen zu weniger Strängen von Füllungs-Extrusion, die weiter voneinander entfernt sind.

1.5.3.2 Hüllen

Jedes Objekt, das Sie ausdrucken, muss mindestens eine Hülle haben. Sie können so viele Hüllen hinzufügen, wie Sie wollen, und sie werden als konzentrische Umrisse auf jede Schicht gedruckt werden. Wenn die Außenschicht die angegebene Anzahl von Hüllen nicht unterbringen kann, werden nur so viele wie möglich eingepasst.

1.5.3.3 Schichtstärke

Schichtstärke bestimmt die Feinheit der einzelnen gedruckten Schichten des Objekts. Sie wird oft als Maß für die Auflösung in 3D-Druck gesehen, aber sie wirkt sich nur auf die Auflösung der Z-Achse aus.

Dünnere Schichten werden zu einer glatteren Oberfläche führen, aber auch zu erhöhten Druckzeiten; Schichten brauchen die gleiche Zeit, unabhängig von ihrer Stärke, und dünnere Schichten erhöhen die Gesamtzahl der Schichten, die gedruckt werden.

1.5.3.4 Temperatur

Temperatur-Einstellungen für die Extruder und die Bauplatte sind unter der Registerkarte Temperatur aufgelistet. Extruder. Die Extruder müssen ungefähr auf 230 ° C erhitzt werden, um das Kunststoff-Filament bei normalen Betriebsgeschwindigkeiten zu schmelzen und zu extrudieren.

Die Extrusions-Temperatur ist sehr eng mit beiden Extrusions-Geschwindigkeiten und dem extrudierten Materials verbunden.

1.5.3.5 Geschwindigkeit

Höhere Extrusions-Geschwindigkeiten erfordern höhere Temperaturen. Während des Druckens gelangt Kunststoff-Filament in den Extruder, wo es geschmolzen wird bevor es auf die Bauplatte gepresst wird. Wenn der Kunststoff schmilzt, bewegt sich Wärme vom Wärmekern des Extruders in den Kunststoff, welcher dadurch erhitzt wird während der Extruder gleichzeitig gekühlt wird.

Das Heizelement sendet Hitze in den Extruder, um die erforderliche Temperatur für die Kunststoffschmelze zu halten, aber wenn sich der Kunststoff schneller bewegt, zieht er auch schneller Hitze aus dem Extruder ab.

1.5.4 Material

Verschiedene Arten von Kunststoff weisen unterschiedliche Schmelzpunkte auf. Zum Beispiel braucht ABS mehr Hitze als PLA, um zu schmelzen, und PVA braucht weniger. Bei höheren Geschwindigkeiten kann die Temperatur, die erforderlich ist, um den Extruder heiß zu halten, ausgeglichen werden, weshalb 230° C eine gute Extrudier-Temperatur sowohl für ABS und PLA ist.

1.5.4.1 Material ABS

ABS ist die Abkürzung für **Acrylnitril-Butadien-Styrol**. Es wird aus einer Kombination dieser drei Kunststoffe hergestellt. Die drei Kunststoffe können in unterschiedlichen Anteilen gemischt werden, um ABS für verschiedene Verwendungszwecke herzustellen.

ABS ist zäh und einigermaßen flexibel. ABS wird bei höheren Temperaturen weicher, aber bei den Extrusions-Temperaturen, die in einem MakerBot verwendet werden, bleibt es ziemlich zäh. Das bedeutet, dass ABS innerhalb des Extruders schnell schmilzt, aber während seiner Reise nicht tropft. ABS hält auch Wärme gut genug aus, sodass wir es verwenden, um die Kunststoffteile der Extruder des Replicator 2X herzustellen.

ABS besitzt eine hohe thermische Ausdehnungsrate, was bedeutet, dass es sich ausdehnt, wenn es erhitzt wird, und beim Abkühlen schrumpft, dies kann Probleme beim Drucken wie Verzerrung und Rissbildung hervorrufen.

1.5.4.2 Material PLA

PLA oder Poly-Milchsäure ist ein biologisch abbaubarer Kunststoff mit Eigenschaften, die es ideal für den 3D-Druck machen, es gibt keine schlecht riechenden Dämpfe ab und es hat eine niedrige thermische Ausdehnungsrate, so dass es sich nicht zu sehr verzieht.

PLA ist härter und etwas spröde. Es reißt eher als es sich verbiegt, aber das bedeutet nicht, dass PLA leicht zerbrechlich ist. PLA bleibt auch für eine kurze Weile flexibel, wenn es abkühlt.

PLA ist hitzeempfindlich. Bei Temperaturen über 55° C fangen Objekte aus PLA an, so weich zu werden, dass sie sich verformen könnten, wenn Druck auf sie ausgeübt wird. Bei Temperaturen über 150° C, könnten Objekte aus PLA beginnen, ihre Form zu verlieren.

1.5.5 Bauteile nach dem 3D-Druck manuell nacharbeiten

- Ein Objekt mit Grundierung und Schleifpapier veredeln.
Diese Methode der Veredelung erfordert einen matt-grauen Grundierspray, leichte Maler-Spachtelmasse und feines Schleifpapier.
- **Retuschieren**
Einen Brei aus Aceton und ABS herstellen in der gleichen Farbe, die Sie retuschieren möchten. Sie können den Brei dann auf die Stelle mit dem Schönheitsfehler auftragen.
- **Glätten**
Um ein Objekt aus ABS-Kunststoff zu glätten, können Sie die Oberfläche mit einer kleinen Menge Aceton auf einem Tuch einreiben.
- **Bemalen**
Sie können Objekte aus ABS mit Acrylfarben und Sprühfarben bemalen.

1.5.6 3D-Druck, Design-Richtlinien

1.5.6.1 Überhänge

Wenn der 3D-Drucker das Objekt ausdruckt, ruht jede Schicht aus Kunststoff auf der unteren. Wenn ein Objekt gerade Seiten hat, wird eine neue Schicht vollständig von der vorherigen Schicht gestützt. Aber wenn ein Objekt Teile hat, die sich nach außen verbreitern (Überhänge), bleibt ein Teil der neuen Schicht ohne Stütze. Wenn es nur ein schmaler Streifen des Umrisses ist, wird die Schicht noch ausreichend gestützt, aber wenn mehr als die Hälfte dieses äußeren Umrisses nichts zum Aufliegen hat, kann es sein, dass Kunststofffäden herunterhängen oder -tropfen. Um sicherzustellen, dass mindestens die Hälfte der einzelnen äußeren Umrisse jeder Ebene abgestützt ist, vermeiden Sie die Gestaltung von Überhängen, die einen Winkel größer als 45° von der Vertikalen bilden.

1.5.6.2 Überbrückung

Ein Faden extrudierten Kunststoffs, der von einem gestützten Bereich zu einem anderen gestützten Bereich über einen nicht gestützten Bereich führt, wird Brücke genannt. Da der Faden an beiden Enden gestützt wird, verursacht die nicht gestützte Mitte keine Probleme. Aber wenn der nicht gestützte Abschnitt zu lang ist, kommt es möglicherweise zu einem Durchhängen in der Mitte. Der 3D-Drucker sollte gut mit Brücken von 10 mm umgehen können, aber bei Brücken von 20 mm kann es zu einem Durchhängen kommen.

1.5.6.3 Detailgröße

Schichtstärke wird als Maß für die Auflösung verwendet, aber es misst nur die Auflösung in der Z-Achse. Der MakerBot kann auf der Z-Achse kleinste Details erzeugen. Die Einstellung hohe Qualität verwendet 0.1 mm Schichten, und ist es sogar möglich, noch dünnere Schichten zu produzieren.

1.5.6.4 Ausrichtung

Viele der Probleme, denen Sie bei dem Versuch, schwierige Modelle auszudrucken, begegnen können, können durch die Änderung der Ausrichtung des Modells auf der Bauplatte vermieden werden.

1.5.6.5 Trägermaterial minimieren

Sie können ein Objekt mithilfe von zerreibaren Tragstrukturen beliebiger Form bauen, die Entfernung der Abstützteile kann jedoch schwierig sein und Kunststoff verbrauchen. Vergewissern Sie sich, dass Ihr Objekt eine flache Seite hat, um darauf zu liegen. Richten Sie Ihr Objekt aus, um Überhänge und Brücken zu minimieren.

1.5.7 Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern

1.5.7.1 Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, Vorbemerkungen

Versuchen Sie, den Bedarf an Stützen zu minimieren. 3D-Drucker können nicht in der Luft drucken, und massive Überhänge erfordern ebenfalls Unterstützung. Um Zeit und Material zu sparen und die Qualität der Oberfläche zu verbessern versuchen Sie, das Objekt so zu gestalten, dass der Bedarf an Stützen minimiert wird.

- Oberflächen die auf Stützen platziert werden, sind nicht so glatt wie Oberflächen die direkt auf dem Druckbett platziert werden.
- Der Druck hat in der Richtung parallel zu den gedruckten Schichten eine geringere Festigkeit als in der Richtung senkrecht zu den gedruckten Schichten.
- Die direkt auf das Druckbett gedruckte Oberfläche ist perfekt, die Oberfläche über den Stützen gedruckt ist ungleichmäßig und rau.
- Erwägen Sie, das Modell in mehrere Teile aufzuteilen und suchen Sie die optimale Position für diese geteilten Elemente auf dem Druckbett, da der Druck gerundeter Teile, als kompletter Druck, mit geringer Oberflächenqualität ist, Grund dafür ist, dass die sehr kleine, erste Schicht, die das Druckbett berührt.
- Ein senkrecht gedrucktes kreisförmiges Loch ist nicht perfekt kreisförmig. Um ein besseres Ergebnis zu erzielen, drucken Sie kreisförmige Löcher horizontal.

Die Schichthöhe, manchmal auch **Z-Achsenauflösung** genannt, hat einen großen Einfluss auf die Druckzeiten und die Gesamtoberflächenbeschaffenheit des gedruckten Bauteils, meistens werden Schichthöhen von 0,15mm – 0,20 mm bevorzugt.

- Höhere Werte für die Schichthöhe führen zu schnelleren Drucken und sichtbarer Schichten auf der Oberfläche.
- Eine geringere Schichthöhe führt zu detaillierteren Bauteiloberflächen, die Druckzeit steigt aber extrem.

Die **Füllung** beeinflusst die Druckzeit, die Haltbarkeit des Bauteils und den Verbrauch des Druckmaterials. Die Füllung wird in Prozent angegeben, der Regeleintrag ist ca. 10-20%.

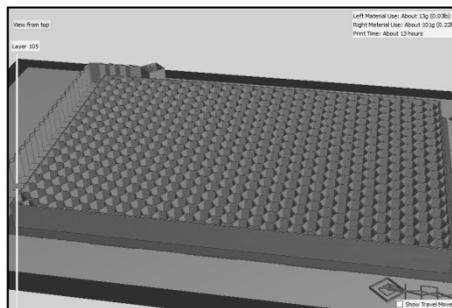
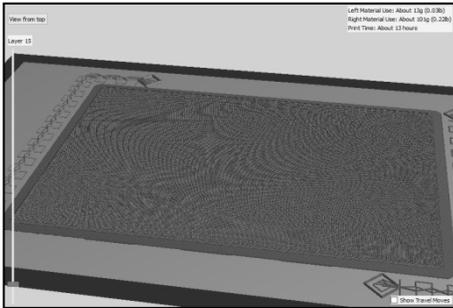
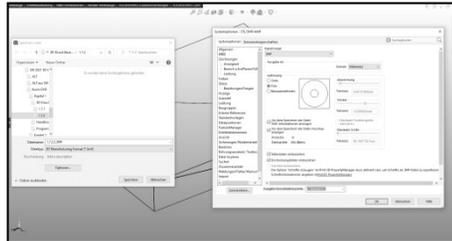
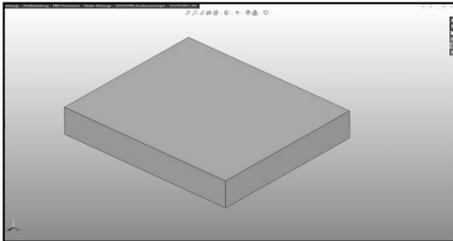
Die **Stützen** sind gerüstartige Konstruktionen, die Überhänge oder Teile, die in der Luft starten, tragen. Die Halterungen sind so konzipiert, dass diese leicht zu entfernen sind, hinterlassen leider Spuren auf dem Modell. Das Ziel ist es, die Anzahl der Stützen zu minimieren, indem das Bauteil gedreht oder für den 3D-Druck entsprechend konstruiert wird.

Bei dem **Rand** handelt sich um eine zusätzlich gedruckte Oberfläche, die verhindert, dass sich das Bauteil in der Mitte des Drucks verformt oder löst, das sich die Haftung des gedruckten Objekts auf dem Druckbett zu erhöht. Diese Schicht kann leicht entfernt werden, wenn der Druckauftrag abgeschlossen ist.

Wasserlösliches PVA-Filament wird vorwiegend als Stützmaterial beim 3-D-Druck mit zwei oder mehr Extrudern eingesetzt und ist geradezu ideal für Überhänge und komplizierte Konstruktionen. Ohne Stützung würde eine solche gedruckte Struktur sich verwerfen oder zusammenfallen. Nach dem Druck in das Wasser gelegt brauchen Sie nur warten, bis sich das PVA wieder vollständig aufgelöst hat. So bekommen Sie Ihr Objekt sauber gebadet ohne die Tragestruktur und ohne, dass Sie dafür noch weitere lästige Handarbeit anwenden müssen.

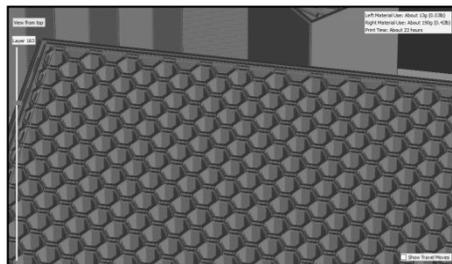
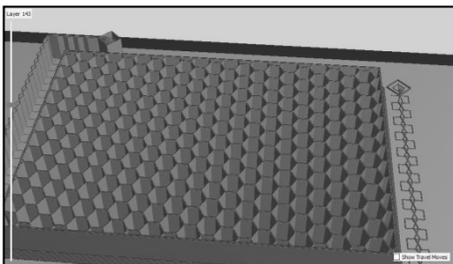
1.5.7.2 Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, liegender Quader

- **3D-Druck-Parameter:**
STL-3D-Druckformat, Einstellung **Fein**
3D-Drucker-Einstellungen:
3D-Drucker **Replicator 2X, Dualextruder, High Resolution, 15%** Füllung,
0,10 mm Schichtdicke, Temperatur und Geschwindigkeit entsprechend Filament, Extruder Left **Wasserlösliches PVA-Filament für Rand (Raft)** und Stützmaterial, Extruder Right **ABS oder PLA**.

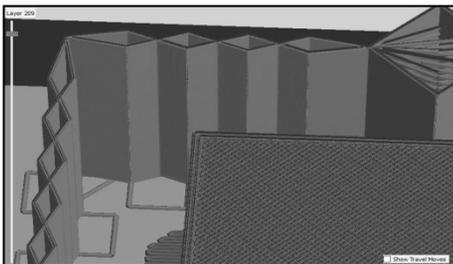


- **3D-Druck-Parameter:**
10% Füllung

50% Füllung



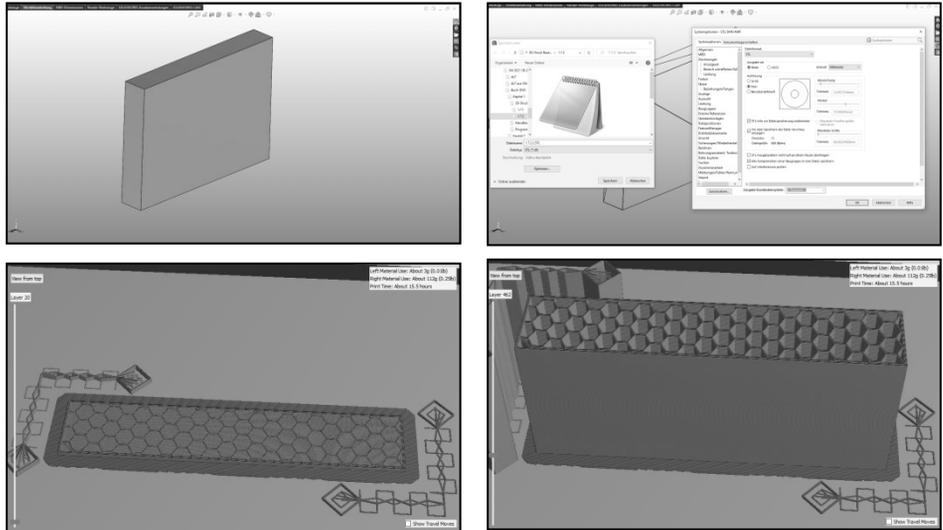
75% Füllung



1 3D-Druck mit AutoCAD 2022

1.5.7.3 Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, stehender Quader

- **3D-Druck-Parameter:**
STL-3D-Druckformat, Einstellung Fein.
3D-Drucker-Einstellungen:
3D-Drucker **Replicator 2X, Dualextruder, High Resolution, 15%** Füllung,
0,10 mm Schichtdicke, Temperatur und Geschwindigkeit entsprechend Filament, Extruder Left **Wasserlösliches PVA-Filament für Rand (Raft)** und Stützmaterial, Extruder Right **ABS** oder **PLA**.



1.5.7.4 Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, stehender Zylinder

- Verfahren Sie mit der Einstellung der 3D-Druck-Parameter entsprechend.

