

The background of the cover is a 3D CAD model of a mechanical assembly. It features a large, light-colored cylindrical component at the top, a complex arrangement of blue structural beams or supports in the middle, and two large, light-colored cylindrical components at the bottom. A blue wireframe mesh is overlaid on the entire assembly, highlighting the underlying geometry. The lighting is soft, creating subtle shadows and highlights on the surfaces.

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 Pruša | 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 „PrusaSlicer“ 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“ Geometrieangepassung über 3D-Griffe, Vorgaben 59 |
| 2.1.1.1 | Konstruktionsablauf der Stirnrad-Erstellung | 42 | 2.4.4 | Übergangskörper „mehrere Querschnitte“, Geometrieangepassung über 3D-Griffe, die Erstellung 59 |
| 2.1.2 | Erstellung der Zahnrad-Grundfläche | 43 | 2.4.4.1 | Geometrieangepassung über 3D-Griffe, obere Fläche 59 |
| 2.1.2.1 | Voreinstellungen laden | 43 | 2.4.4.2 | Geometrieangepassung über 3D-Griffe, obere Fläche 59 |
| 2.1.2.2 | Zeichnen der Basiskonstruktion | 43 | 2.4.4.3 | Lageangepassung über 3D-Griffe, mittlere Fläche 60 |
| 2.1.2.3 | Erstellen Sie 2D-Abbildungen 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 | Lageangepassung 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“ 3D-Druck eines Bauteils „Schaltelement“ 62 |
| 2.1.3.3 | Umgrenzung erstellen | 45 | 2.5 | 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 Auflistung | 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 | Lageangepassung 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, 3 Punkte, 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“, Fülllichte und Füllmuster | 155 |
| 2.21.2.1 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 133 | 2.24.6.1 | Software „PrusaSlicer“, Fülllichte, 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 | Stegement, 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 | 3.2.11 | Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage der Normteile, Einsetzen der Zylinderstifte | 192 |
| 3.1.6 | Montage der Baugruppe „Prüflehre“ | 169 | | | |
| 3.1.6.1 | Normteilanpassung | 169 | 3.2.12 | Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“ Baugruppenmontage der Normteile, Setzen der Zylinderschrauben | 193 |
| 3.1.7 | Montage der Baugruppe „Prüflehre“, die Bauteilbereitstellung | 169 | 3.2.13 | Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage der Normteile, Einsetzen der Druckfeder | 194 |
| 3.1.7.1 | Weitere Bauteile der Baugruppe laden | 169 | | | |
| 3.1.7.2 | Bauteile in Montagelage drehen | 170 | 3.2.14 | Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage der Normteile, Einsetzen des Gewindestiftes | 195 |
| 3.1.8 | Die Baugruppe „Prüflehre“, Baugruppenmontage der Normteile Einsetzen der Innensechskantschrauben | 171 | 3.2.14.1 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 196 |
| 3.1.9 | Die Baugruppe „Prüflehre“ Baugruppenmontage der Normteile Einsetzen des Zylinderstiftes | 172 | 3.2.15 | „AutoDesk PrintStudio®“, die Druckmodellerstellung | 196 |
| 3.1.10 | Die Baugruppe „Prüflehre“, Baugruppenmontage Einsetzen des Stegelements | 173 | 3.2.15.1 | AutoCAD, Baugruppenbearbeitung | 196 |
| 3.1.10.1 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 173 | 3.2.16 | „AutoDesk PrintStudio®“, die Druckmodellübergabe | 197 |
| 3.1.11 | Bearbeiten der erstellten Baugruppe „Prüflehre“ STL-3D-Druckdatei | 174 | 3.2.17 | „AutoDesk PrintStudio®“, die Druckmodell-Bearbeitung | 198 |
| 3.1.11.1 | AutoCAD, Baugruppenbearbeitung | 174 | 3.2.17.1 | Darstellung der einzelnen Filamentlagen | 199 |
| 3.1.11.2 | Übergabe der vereinigten Baugruppe als STL-Datei über „Exportieren“ | 174 | 3.3 | 3D-Druckdatei Baugruppe „Bremscheibe“ Einzelteile der Baugruppe, STL-Datei über „Exportieren“ Gerätesoftware „MakerWare®“ | 200 |
| 3.1.12 | 3D-Druck der Baugruppe „Prüflehre“, Bauteilbearbeitung mit „Windows 3D-Builder®“ | 175 | 3.3.1 | Die Bauteile der Baugruppe „Bremscheibe“, das Außengehäuse | 200 |
| 3.1.13 | Windows 3D-Builder®, Bauteilübergabe | 175 | 3.3.1.1 | Außengehäuse, Konstruktionsvorgaben | 200 |
| 3.1.13.1 | Druckmaterialzuweisung | 175 | 3.3.1.2 | Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt | 200 |
| 3.1.13.2 | Online-Bestellzuweisung | 175 | 3.3.1.3 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 200 |
| 3.2 | Erstellen einer Baugruppe, „Verstellbare Lehre“ | 176 | 3.3.2 | Die Bauteile der Baugruppe „Bremscheibe“, die Innenwelle | 201 |
| 3.2.1 | Die Bauteile der Baugruppe „Verstellbare Lehre“, die Grundplatte | 176 | 3.3.2.1 | Innenwelle, Konstruktionsvorgaben | 201 |
| 3.2.1.1 | Grundplatte, Konstruktionsvorgaben | 176 | 3.3.2.2 | Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt | 201 |
| 3.2.1.2 | Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt | 176 | 3.3.2.3 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 202 |
| 3.2.1.3 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 177 | 3.3.3 | Die Bauteile der Baugruppe „Bremscheibe“, der Antriebsflansch | 203 |
| 3.2.2 | Die Bauteile der Baugruppe „Verstellbare Lehre“, die „Führung“ | 178 | 3.3.3.1 | Antriebsflansch, Konstruktionsvorgaben | 203 |
| 3.2.2.1 | Führung, Konstruktionsvorgaben | 178 | 3.3.3.2 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 203 |
| 3.2.2.2 | Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt | 178 | 3.3.4 | Die Bauteile der Baugruppe „Bremscheibe“, der Innensteg | 204 |
| 3.2.2.3 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 180 | 3.3.4.1 | Innensteg, Konstruktionsvorgaben | 204 |
| 3.2.3 | Die Bauteile der Baugruppe „Verstellbare Lehre“, die „Lehre“ | 181 | 3.3.4.2 | Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt | 204 |
| 3.2.3.1 | Lehre, Konstruktionsvorgaben | 181 | 3.3.4.3 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 204 |
| 3.2.3.2 | Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt | 181 | 3.3.5 | Montage der Baugruppe „Bremscheibe“ | 205 |
| 3.2.3.3 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 183 | 3.3.5.1 | Voreinstellungen laden | 205 |
| 3.2.4 | Die Bauteile der Baugruppe „Verstellbare Lehre“, die Stellschraube | 184 | 3.3.5.2 | Bauteile laden | 205 |
| 3.2.4.1 | Stellschraube, Konstruktionsvorgaben | 184 | 3.3.6 | Bearbeiten Sie die erstellte Baugruppe „Bremscheibe“ | 205 |
| 3.2.4.2 | Die 3D-Konstruktion in Bildform, verkürzt | 184 | 3.3.6.1 | Lageänderung der Bauteile durch Verschieben auf die Grundebene | 205 |
| 3.2.4.3 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 185 | 3.3.6.2 | Lageänderung der Bauteile durch 3D-Drehen/Verschieben auf die Grundebene | 206 |
| 3.2.5 | Montage der Baugruppe „Verstellbare Lehre“, die Normteil-Bereitstellung | 186 | 3.3.6.3 | Lageänderung der Bauteile durch Verschieben für die Druckebene | 206 |
| 3.2.5.1 | Normteile von „TracePartsOnline“ laden | 186 | 3.3.6.4 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 206 |
| 3.2.5.2 | Normteilanpassung | 186 | 3.3.6.5 | Übergabe der Baugruppe als STL-Datei über „Exportieren“ | 207 |
| 3.2.6 | Baugruppe „Verstellbare Lehre“ Baugruppenerstellung, die Bauteilbereitstellung | 187 | 3.3.7 | 3D-Drucker-Software „MakerWare®“ starten | 207 |
| 3.2.6.1 | Die Bauteile der Baugruppe laden | 187 | 3.3.7.1 | 3D-Bauteil übertragen und positionieren | 208 |
| 3.2.6.2 | Bauteile in Montagelage drehen | 187 | 3.3.7.2 | 3D-Bauteil Druckdatei erstellen | 209 |
| 3.2.7 | Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage, Grundplatte und Führung | 188 | 3.3.7.3 | Darstellung der einzelnen Filamentlagen | 209 |
| 3.2.8 | Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage, Stellschraube und Lehre | 189 | 3.3.7.4 | Datensicherung der Druckdatei erstellen | 210 |
| 3.2.9 | Die Baugruppe „Verstellbare Lehre“, Baugruppenmontage, Lehre und Schaltkugel | 190 | | | |

| | | | | | |
|----------|---|-----|----------|--|-----|
| 3.4 | 3D-Druckdatei Baugruppe „Bremsseibe, 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 „Bremsseibe“ | 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 „Bremsseibe“, Baugruppenmontage Innenwelle und Stegelement | 212 | 3.5.3 | Die Montage der Baugruppe „Schlauchpumpe“ | 224 |
| 3.4.1.5 | Die Baugruppe „Bremsseibe“, Baugruppenmontage Antriebsflansch | 212 | 3.5.3.1 | Baugruppe „Schlauchpumpe“, Technische Zeichnung als Konstruktionsvorgabe | 224 |
| 3.4.1.6 | Die Baugruppe „Bremsseibe“, Baugruppenmontage Außengehäuse | 212 | 3.5.3.2 | Baugruppe „Schlauchpumpe“, verkürzter Montageablauf Einfügen aller Bauteile | 224 |
| 3.4.1.7 | Baugruppe „Bremsseibe“, 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 „Bremsseibe“ 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 „Bremsseibe“ 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 „Bremsseibe, 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“ | 219 | 3.5.12.1 | Farbzuweisungen | 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 | Kontrollschnitte 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 „Bremsseibe, 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“ | |
| 3.5.1.14 | Die Scheibe Pos. 36, Konstruktionsvorgaben und 3D-Konstruktion | 222 | | 3D-Drucker-Software „PrusaSlicer®“, Einfach-Extruder | 242 |
| | | | 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 Ansichtsanpassung | 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 | Bauteilübergabe | |
| 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 Autodesk Inventor-3D-Baugruppe | 300 |
| 4.3.1 | Importablauf „Gedrehter Hohlkörper“ | 275 | 4.6.1.3 | Zuweisung visueller Stile | 301 |
| 4.3.1.1 | Voreinstellungen laden | 275 | 4.6.1.4 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 301 |
| 4.3.1.2 | So importieren Sie ein SOLIDWORKS-3D-Bauteil | 275 | 4.6.2 | Importablauf für die Bauteile der Baugruppe | 301 |
| 4.3.1.3 | Importierte Datei anpassen | 276 | 4.6.2.1 | Anpassen der importierten Baugruppe | 301 |
| 4.3.1.4 | Zuweisung visueller Stile | 276 | 4.6.3 | Datensicherung der Bauteile als Einzeldatei | 302 |
| 4.3.1.5 | Lageänderung über 3D-Drehen | 277 | 4.6.3.1 | Bauteil in die Zwischenablage übertragen | 302 |
| 4.3.1.6 | Lageänderung über 3D-Schieben | 277 | 4.6.3.2 | Einfügen des Bauteils aus der Zwischenablage als neue Datei | 302 |
| 4.3.1.7 | Differenz über „Kappen“, Rechteck als Schnittfläche | 277 | 4.6.3.3 | Zuweisung visueller Stile | 302 |
| 4.3.1.8 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 278 | 4.6.3.4 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 302 |
| 4.3.1.9 | Hintere Hohlkörperhälfte als STL-Druckdatei über „Publizieren“ erstellen | 279 | 4.6.3.5 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 303 |
| 4.3.2 | 3D-Drucker-Software „MakerBotPrint“ starten | 279 | 4.6.4 | 3D-Druck der Baugruppe aus einzelnen Unterbaugruppen über „HP 3D Build Manager“ | 304 |
| 4.3.2.1 | 3D-Bauteil Druckdatei erstellen | 280 | 4.6.4.1 | Übergabe der STL-Druckdateien über „Publizieren“ | 304 |
| 4.3.2.2 | Darstellung der einzelnen Filamentlagen | 282 | 4.6.4.2 | 3D-Druck der Baugruppe aus einzelnen Unterbaugruppen | |
| 4.3.2.3 | Datensicherung der Druckdatei erstellen | 282 | | Baugruppen-Bearbeitung | 305 |
| 4.3.3 | Zweiteilige Übergabe des Hohlkörpers, Online-Übergabe der STL-Druckdatei, Windows „3D-Builder“ | 283 | 4.6.4.3 | Datensicherung und HP-Online-Übertragung | 309 |
| 4.3.4 | Bearbeitung der Hohlkörper-Bauteile | 283 | 4.7 | 3D-Druck von Baugruppen, SOLIDWORKS®-Import „Normteil-Baugruppe mit echtem Gewinde“ | |
| 4.3.4.1 | Arbeitsebene anpassen | 283 | | Übergabe an 3D-Drucker-Software „PrusaSlicer“ | 310 |
| 4.3.4.2 | Layerzuweisung | 283 | 4.7.1 | Importablauf „Normteil-Baugruppe“ | 310 |
| 4.3.4.3 | Übergabe der einzelnen Bauteilhälften als STL-Datei über „Exportieren“ | 284 | 4.7.1.1 | Voreinstellungen laden | 310 |
| 4.3.4.4 | 3D-Druck der Bauteilhälften, Bauteilbearbeitung | 285 | 4.7.1.2 | So importieren Sie eine SOLIDWORKS-3D-Baugruppe | 310 |
| 4.3.4.5 | Windows 3D-Builder®, Bauteilübergabe | 285 | 4.7.1.3 | Importierte Baugruppendatei anpassen | 311 |
| 4.3.4.6 | Druckmaterialzuweisung | 285 | 4.7.1.4 | Zuweisung visueller Stile | 311 |
| 4.3.4.7 | Online-Bestellzuweisung | 286 | 4.7.1.5 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 311 |
| 4.4 | 3D-Druck von Bauteilen, Parasolid®-Import „Zahnradwelle mit echtem Gewinde“ | | 4.7.1.6 | Anpassen der importierten Baugruppe | 312 |
| | „AutoDesk PrintStudio“ und 3D-Druck-Online-Übergabe | 287 | 4.7.1.7 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 312 |
| 4.4.1 | Importablauf „Zahnradwelle mit echtem Gewinde“ | 287 | 4.7.2 | Datensicherung der Bauteile als Einzeldatei | 312 |
| 4.4.1.1 | Voreinstellungen laden | 287 | 4.7.3 | Bearbeiten Sie die importierte Baugruppe, 3D-Druck-Vorbereitung | 313 |
| 4.4.1.2 | So importieren Sie ein Parasolid-3D-Bauteil | 287 | 4.7.3.1 | Lageänderung der Bauteile durch Verschieben auf die Grundebene | 313 |
| 4.4.1.3 | Zuweisung visueller Stile | 288 | 4.7.3.2 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 313 |
| 4.4.1.4 | Lageänderung über 3D-Drehen und 3D-Schieben | 288 | 4.7.3.3 | Übergabe der vereinigten Baugruppe als STL-Datei über „Exportieren“ | 314 |
| 4.4.1.5 | Datensicherung als Zeichnungsdatei | 288 | 4.7.4 | 3D-Drucker-Software „PrusaSlicer“ starten | 314 |
| 4.4.2 | „AutoDesk PrintStudio“, Druckmodell-Erstellung | 289 | 4.7.4.1 | Mehrfach-Extruder zuweisen | 314 |
| 4.4.2.1 | „AutoDesk PrintStudio“, die Druckmodell-Bearbeitung | 289 | 4.7.4.2 | Software „PrusaSlicer“, Druckdateigenerierung | 314 |
| 4.4.2.2 | Darstellung der einzelnen Filamentlagen | 290 | 4.7.4.1 | 3D-Bauteil Druckdatei, Stützmaterial zuweisen | 316 |
| 4.4.3 | Übergabe an 3D-Druck-Online-Anbieter „i.materialise“ | 292 | 4.7.4.2 | 3D-Bauteil Druckdatei erstellen mit Ansichtsanpassung | 316 |
| 4.5 | 3D-Druck von Bauteilen, STEP®-Import „Lagergehäuse“ | | 4.7.4.3 | Darstellung einzelner Filamentlagen | 316 |
| | Gerätesoftware „MakerWare“ | 293 | 4.7.4.4 | Datensicherung der 3D-Bauteil Druckdatei | 317 |
| 4.5.1 | Importablauf „Lagergehäuse“ | 293 | 4.8 | 3D-Druck von Baugruppen Parasolid®-Import „Gussform mit eingeformten Innenteil, geschnitten“ | |
| 4.5.1.1 | Voreinstellungen laden | 293 | | Lagegenaue Übergabe an 3D-Drucker-Software „MakerWare“ | 318 |
| 4.5.1.2 | So importieren Sie ein STEP-3D-Bauteil | 293 | | | |
| 4.5.1.3 | Zuweisung visueller Stile | 294 | | | |

| | | |
|----------|--|------------|
| 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 Fertigungsverfahren 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 Fertigungsverfahren 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 herzuschieben. 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.

1.2 3D-Druck, Normen und Richtlinien

1.2.1 Normen und Richtlinien für die Additive Fertigung, eine zeitliche Darstellung, Auszug

- 2003 Gründung des VDI Rapid Prototyping.
- 2009 SME (European DIGITAL SME Alliance) und ASTM (American Society for Testing and Materials) beginnen ihre Kooperation im Bereich Normung. Gründung des ASTM F42 Additive Manufacturing Technologies.
- 2010 DIN Arbeitsausschuss NA145-04-01AA Grundlagen und Prüfverfahren im Fachbereich Additive Fertigung gegründet.
- 2011 Gründung des ISO TC261 Additive Manufacturing. Kooperationsvereinbarung zwischen ASTM und ISO.
- 2012 Start des Europäischen SASAM-Projekts.
- 2013 ASTM und ISO intensivieren ihre Zusammenarbeit mit dem Joint Plan for AM Standards Development.
- 2015 Gründung des CEN/TC438 Additive Manufacturing, (European Committee for Standardization). Veröffentlichung der SASAM Standardization Roadmap. Gründung des 3MF-Consortium (3MFDateiformat).
- 2016 Gründung der America Makes&ANSI Additive Manufacturing Standardization Collaborative (AMSC). Veröffentlichung der AM-Standards Structure von ASTM und ISO.
- 2017 Veröffentlichung der Normungs-Roadmap von AMSC für die Additive Fertigung
- 2018 DIN gründet den Fachbereichsbeirat Additive Fertigungsverfahren im DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie



The image shows a screenshot of a DIN standard document, likely VDI 3406, which is a standard for the design and production of rapid prototypes. The table of contents lists various sections including Introduction, Normative references, Terms and definitions, and specific requirements for different types of rapid prototypes.

1.2.2 DIN-Normen und Richtlinien für die Additive Fertigung

DIN hat im Juli 2018 den Normenausschuss **Fachbereichsbeirat Additive Fertigungsverfahren** im DIN-Normenausschuss **Werkstofftechnologie** gegründet, um die bisherige Arbeit in internationalen Ausschüssen der ISO und ASTM International im Bereich **Additive Fertigung** zu stärken. So wurden bisher diverse internationale Normen ausgearbeitet, die sich mit dem Thema 3D-Druck befassen. Im November 2019 wurde mit der DIN SPEC 17071 ein Leitfaden für qualitätsgesicherte Prozesse erstellt, der einheitliche Anforderungen an die **Additive Fertigung** definiert. Dabei werden alle qualitätsrelevanten Punkte wie die Mitarbeiter, die Dokumentation der Arbeitsschritte, die Infrastruktur und die Qualifizierung von Anlagen, Materialien und Prozessen in die Betrachtung einbezogen. Dadurch soll es auch kleinen und mittleren Unternehmen ermöglicht werden, eine risikominimierte, industrielle Fertigungsreife aufzubauen.

Das Dokument soll die weltweiten Normungsaktivitäten in diesem Bereich anleiten und beflügeln, zur Kohäsion der Normen beitragen und die Anwendbarkeit sowie Akzeptanz der Normen unterstützen. Wichtige Elemente hierfür sind beispielsweise transparente Prozessabläufe, die Untergliederung der Additiven Fertigung in klar definierte Unterbereiche sowie einheitliche Terminologien.

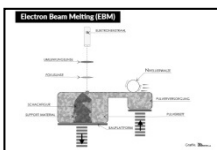
1.3 3D-Druck, Druckverfahren

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

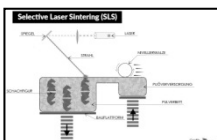
Beim Elektronenstrahlschmelzen werden nach einem ähnlichen Prinzip, pulverförmige Metalle über einen gut steuerbaren Elektronenstrahl unter Vakuum verschmolzen. Das Vakuum verhindert einen Einschluss von Sauerstoff in das Objekt. Dadurch entstehen sehr feste metallische Objekte, die über einen komplexen 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.



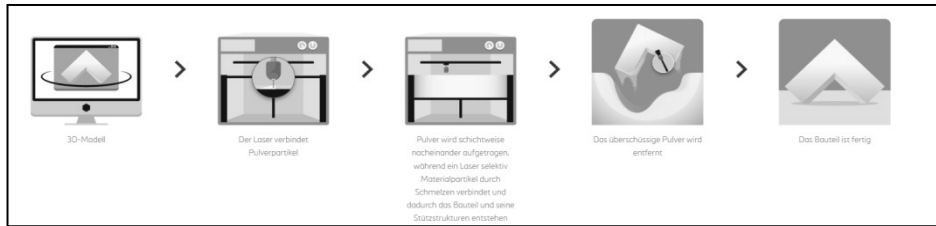
1.3.1.2 3D-Metall-Direktdruck, Laser-Sintern

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 Lasersintern 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:

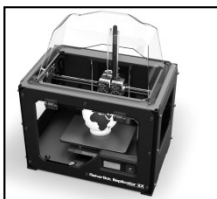
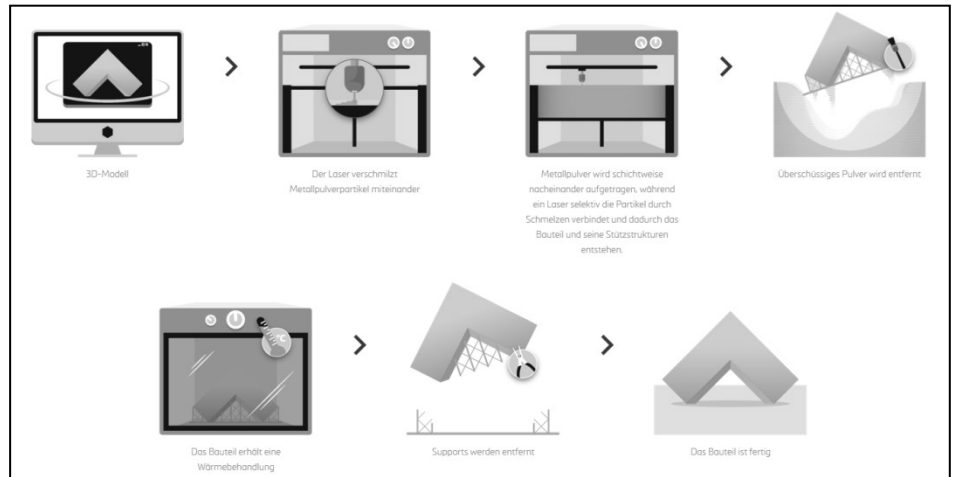
- Gewichtsreduzierung
Durch Gitterstruktur- oder Topologie-Optimierung.
- Kundenspezifische Produkte
Interne Strukturen wie konturnahe Kühlung, die auf herkömmliche Weise nicht herstellbar sind.
- Verbesserte Funktionalität der Teile
Thermische, strömungstechnische, strukturelle Funktionalität oder Integration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

1.3.1.4 3D-Metall-Direktdruck, Druckvorgaben

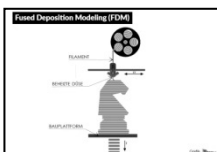
Die Oberflächenqualität beim Direktmetalldruck ist abhängig von der Ausrichtung der Oberfläche. Der Treppenstufeneffekt, der allen additiven Schichtherstellungstechnologien eigen ist, kann durch den Aufbau von stärker vertikalen oder aber perfekt horizontal ausgerichteten Flächen verringert werden. Auf 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

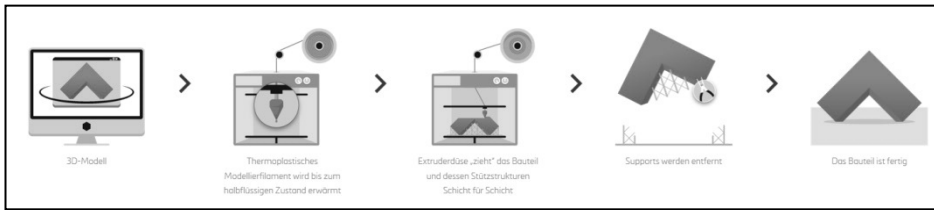
Bei der Rapid Prototyping-Technologie **Fused Deposition Modelling (FDM)** sind zahlreiche thermoplastische Materialien verarbeitbar, größtenteils Kunststoffe.

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.



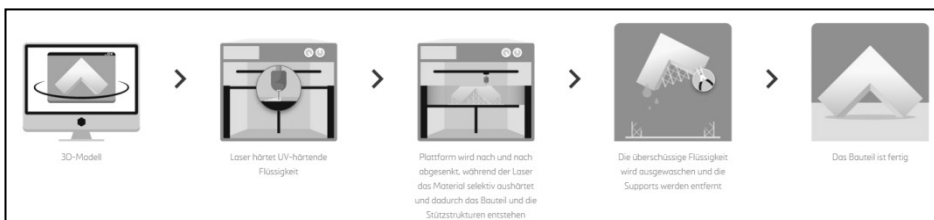
1.3.3 Stereolithographie

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.

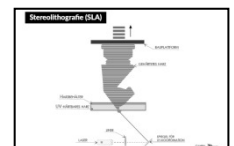
Die Stereolithographie gehört zu einer Gruppe von additiven Fertigungstechniken, die auch als VAT-Photopolymerisation bezeichnet wird. Diese Geräte arbeiten alle nach demselben Prinzip, nämlich dem Einsatz einer Lichtquelle, UV-Laser oder Projektor, zur Aushärtung von flüssigem Kunstharz zu hartem Kunststoff. 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.

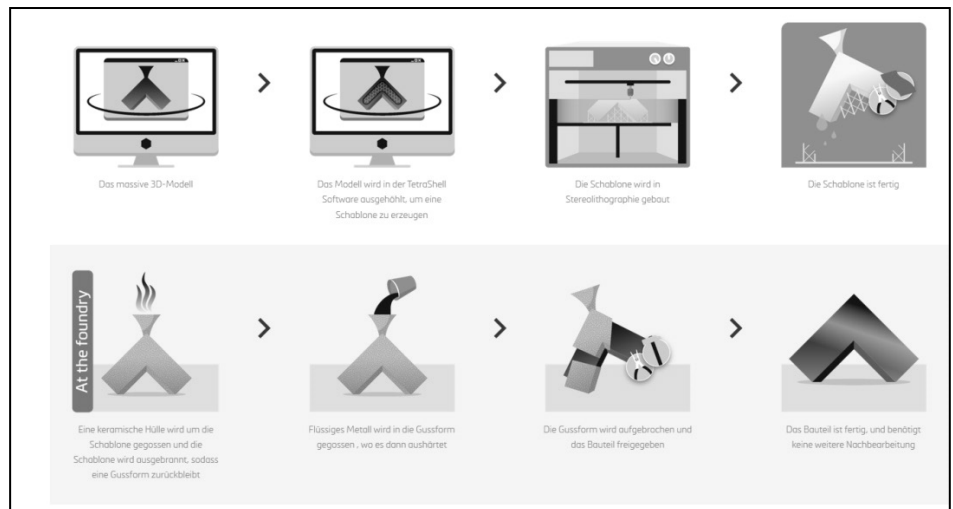


Stereolithographie
3D-Drucker Fa. Formlabs



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“

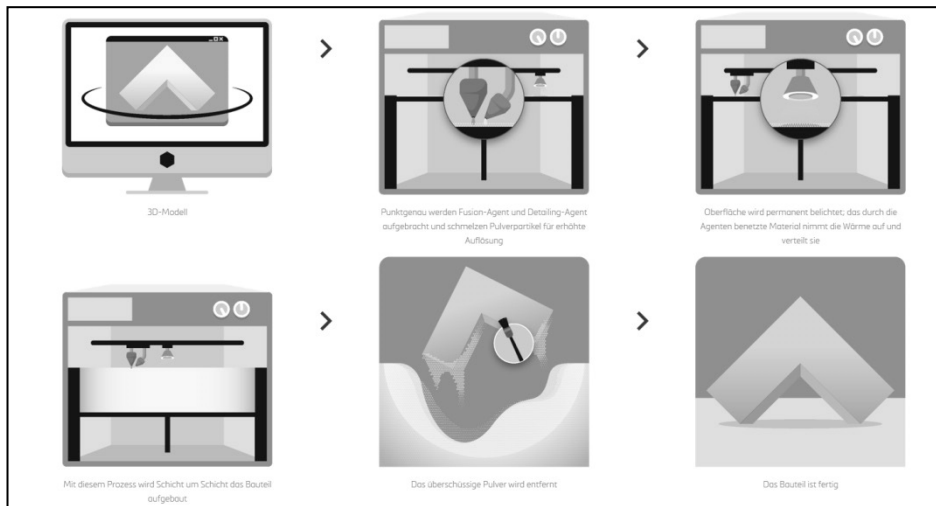
Die **PolyJet**-Technologie, wie auch **MultiJet-Modeling**, ermöglicht horizontale Schichten von gerade einmal 32 µm, feine Details und ultradünne Wände bis zu 0,6 mm, je nach Geometrie des Bauteils. Mit PolyJet können sehr präzise mechanische Komponenten gefertigt werden, sodass hochwertige Prototypen 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 Grafixkörper enthalten, nur dann wenn diese einen, wasserdicht verteilten Volumenkörper bilden. Sie können 3D-Druck für Oberflächen oder Grafixkörper 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 zerreißbaren 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 sichtbareren 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%.

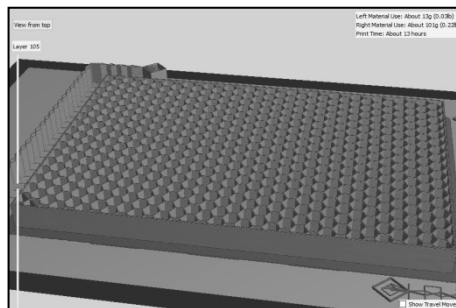
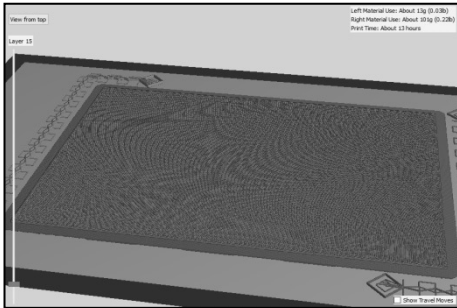
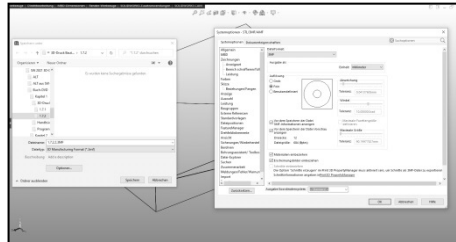
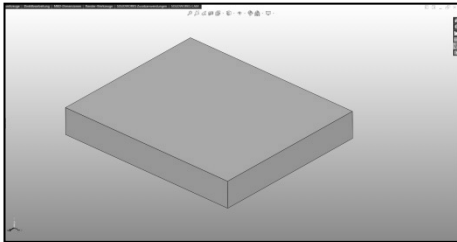
Die **Stützen** sind gerüstartige Konstruktionen, die Überhänge oder Teile, die in der Luft starten, tragen. Die Halterungen sind so konzipiert, dass diese leicht zu entfernen sind, hinterlassen leider Spuren auf dem Modell. Das Ziel ist es, die Anzahl der Stützen zu minimieren, indem das Bauteil gedreht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

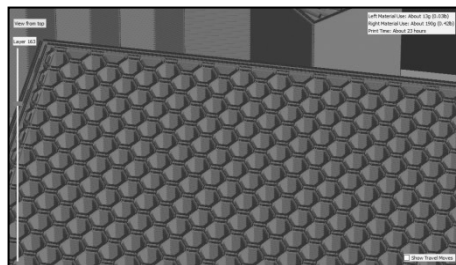
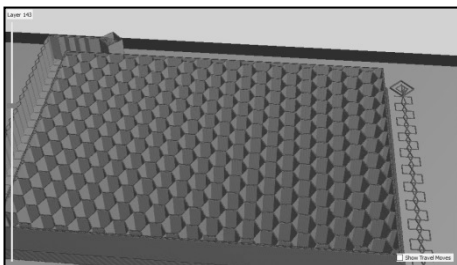
1.5.7.2 Drucklagendarstellungen, Stützstrukturen an Grundkörpern, liegender Quader

- **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**.

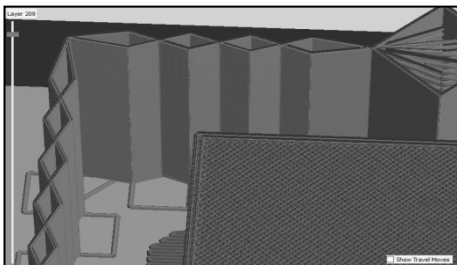


- **3D-Druck-Parameter:**
10% Füllung

50% Füllung



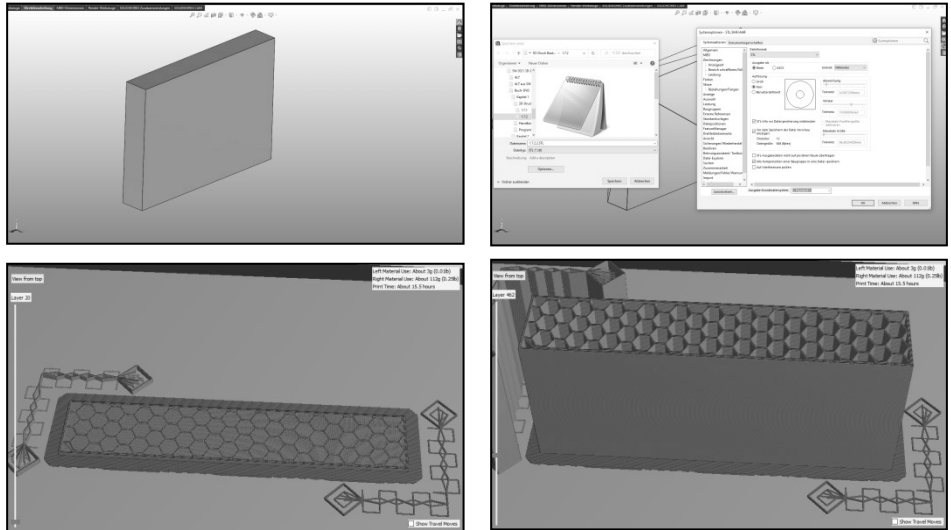
75% Füllung



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.

