

**MIBA**  
DIE EISENBAHN IM MODELL

**MODELLBAHN  
PRAXIS**

Uwe Stehr

# 3D-DRUCK FÜR MODELLBAHNER

Konstruieren, Drucker-Typen, Praxisbeispiele



Deutschland € 12,-  
Österreich € 13,20 · Schweiz SFr 19,90  
Be/Ne/Lux € 13,80 · Italien, Frankreich,  
Spanien € 15,60 · Norwegen NOK 150

MIBA-Modellbahn-Praxis 1/2020  
Best.-Nr. 15087459  
ISBN 978-3-89610-735-0



# DER NEUE BRANDL IST DA!



## Oberpfälzer Landschaft

Die Stichstrecke von Maxhütte-Haidhof nach Burglengenfeld verlor zwar 1967 ihren Personenverkehr, wird aber dank eines Zementwerks bis heute intensiv im Güterverkehr genutzt. Josef Brandls neueste Anlage thematisiert diese Strecke und zeigt neben großartiger Landschaft markante Gebäude in ihrem Verlauf: den Gasthof „Alte Post“ in Ponholz ebenso wie die Wallfahrtskirche Mariä Heimsuchung, die das Ortsbild von Saltendorf prägt. Ein Höhepunkt ist die Querung der Naab und des dortigen Flussschwimmbads auf einer Blechträgerbrücke. Endpunkt ist, wie im Vorbild, der Bahnhof Burglengenfeld mit dem Anschluss ans Zementwerk. Nebenbahn-Betrieb in den 1960er-Jahren – meisterhaft umgesetzt von Josef Brandl!

100 Seiten im DIN-A4-Format, Klebebindung, ca. 140 farbige Fotos  
Best.-Nr. 662001 | € 15,-

## Bauen wie Brandl – ein Meisterworkshop in drei Teilen



Bauen wie Brandl,  
Teil 1  
Dem Meister über die  
Schulter geschaut  
Best.-Nr. 661201  
€ 13,70



Bauen wie Brandl,  
Teil 2  
Grundbegründung und  
Arbeit mit Elektrostat  
Best.-Nr. 661301  
€ 13,70



Bauen wie Brandl,  
Teil 3  
Gleise · Oberleitung ·  
Straße und Wege  
Best.-Nr. 661901  
€ 15,-

## Weitere Traumanlagen von Josef Brandl:



Heigenbrücken  
Magistrale im Spessart, Teil 2  
Best.-Nr. 661302  
€ 13,70



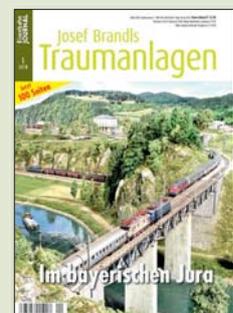
Malerisches Altmühltal  
Planung und Entstehung eines  
HO-Anlagenabschnitts  
Best.-Nr. 661402  
€ 13,70



Von Freiburg ins Hölental  
und weiter nach Neustadt  
im Schwarzwald  
Best.-Nr. 661601  
€ 15,-



Länderbahn-Romantik  
Best.-Nr. 661701  
€ 15,-



Im bayerischen Jura  
Best.-Nr. 661801  
€ 15,-

Vor ein paar Jahren war es noch ein regelrechter Hype – dazu trugen nicht zuletzt zahlreiche TV-Reportagen bei: Kommt das Essen bald aus dem 3D Drucker? – oder gar menschliche Organe? Als Horrorszenario wurden Waffen vorgestellt; selbst das Ende der industriellen Massenproduktion wurde vorhergesagt, weil jeder alles daheim selber drucken kann. Dann wurde es ruhiger um das Thema und anderes rückte in das Zentrum des Interesses. Also alles nur heiße Luft?

# Modellbau mit dem Drucker

Naja, nicht ganz. In den letzten Jahren zeigten sich auch die Grenzen des Machbaren, allerdings wurde das Machbare mittlerweile deutlich günstiger. Kostete vor ein paar Jahren selbst der preiswerteste 3D-Drucker noch mehrere Tausend Euro, bekommt man heute Bausätze schon für deutlich unter 100,- €, auch für unsere Zwecke brauchbare fertige Drucker sind im Preisbereich von 250,- bis 300,- € zu erhalten. Auch das Material zum Drucken wurde günstiger, da es in großen Mengen und von verschiedenen Anbietern in standardisierten Größen hergestellt wird. Beides senkt die Kosten für ein im 3D-Druck hergestelltes Modell – und damit auch die Hemmschwelle, sich daheim mit einem solchen Gerät zu beschäftigen.

Aber der Drucker ist ja nur die eine Seite der Geschichte. Denn damit der Drucker etwas druckt, benötigt man vom Wunschmodell ja noch eine druckbare Datei, da reicht ein frommer Wunsch und ein verwackeltes

Schwarzweißbild von 1881 allein schon einmal nicht aus. Die dafür notwendige 3D-CAD-Software war vor ein paar Jahren bestenfalls als Studenten-Version mit eingeschränkten Funktionen bezahlbar und darüber hinaus recht komplex zu erlernen. Das hat wohl jeden, der nicht beruflich damit zu tun hat, mehr als nur abgeschreckt!

Aber auch hier hat sich viel getan – was nicht in erster Linie mit der Modellbahn, wohl aber mit den Rollenspielen im PC zu tun hat. Damit dort jeder Spieler bei Bedarf seine Figur, Ausrüstung und Ausstattung nach eigenem Gutdünken erstellen kann, kamen einfache 3D-Zeichenprogramme auf, die schnell Verbreitung als sogenannte Freeware fanden. Diese sind also völlig kostenlos.

Da war es dann ein logischer Schritt, auch eine echte CAD-Konstruktionssoftware als Freeware zu erstellen. Alle diese Programme nutzen schließlich den gleichen Graphikkern „Python“. Mit einer einfach zu bedienenden 3D-CAD-Oberfläche werden nun auch technische Anwendungen möglich, dazu zählt gewiss auch die Modellbahn.

Beides zusammen, 3D-CAD und 3D-Druck, ermöglichen es heute jedem halbwegs ambitionierten Modellbauer, der im Besitz eines PC ist und Zugang zum Internet hat, einen mehr als nur günstigen Weg in die faszinierende Welt des 3D-Druckes – oder einfacher, den besten Weg zum eigenen Wunschmodell.

Ich habe das jedenfalls einmal gemacht und möchte im Rahmen dieser Broschüre aufzeigen, wie einfach und kostengünstig der Einstieg ist, welche Möglichkeiten es auch ohne Einsatz finanzieller Mittel gibt, wie man mit wenig Geld zu einem guten Drucker kommt – kurz, was man braucht, um nicht nur sein eigenes Wunschmodell aus dem Drucker auf die Schienen zu stellen, sondern auch Zubehör, das man sonst noch so gebrauchen kann.

*Uwe Stehr*



Uwe Stehr, Jahrgang 1963, ist in Nienburg/Weser aufgewachsen – die Trix-Express-Anlage seines Vaters war hier der erste Kontakt zur Modellbahn. Verstärkt wurde dieses Interesse durch den 1981 in Nienburg gegründeten Fremo, dem er noch im gleichen Jahr beitrug. Die Vorliebe für schmalspurige Eisenbahnen entwickelte sich durch Besuche der nahen Kleinbahn Hoya–Syke–Asendorf, aus der die erste deutsche Museumsbahn Bruchhausen–Vilsen hervorging. Durch den Modulbau in der Baugröße H0e beim Fremo entstand das Bedürfnis, spezielle Fahrzeuge und Einrichtungen der Schmalspurbahn im Modell nachzubauen. Während des Maschinenbaustudiums in Hannover entbrannte dann auch das Interesse an kleinen Werkzeugmaschinen, von denen heute einige in Keller und Wohnung stehen – und das nicht nur zur Dekoration. Die 3D-Konstruktion am Computer hingegen kam nicht beruflich hinzu, was ja naheliegt, sondern entsprang reinem Eigeninteresse. Der Zugang zu einem 3D-Drucker in einem FabLab in Regensburg ermöglichte es dann, diese Konstruktionen auch zu realisieren. Dies war schließlich der Auslöser für den Erwerb eigener 3D-Drucker. Die Kombination verschiedener Techniken zum Bau und Betrieb von Modellen und Modulen macht bei Uwe auch bis heute den ungebrochenen Reiz des Hobbys aus.

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek:  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische  
Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.  
ISBN 978-3-89610-753-0

© 2020 by VGB Verlagsgruppe Bahn GmbH,  
MIBA-Verlag, Fürstenfeldbruck

Alle Rechte vorbehalten  
Nachdruck, Reproduktion und Vervielfältigung – auch  
auszugsweise und mit Hilfe elektronischer  
Datenträger – nur mit vorheriger schriftlicher  
Genehmigung des Verlages.  
Redaktion: Martin Knaden, Gerhard Peter, Lutz Kuhl  
Litho: Fabian Ziegler  
Druck: creo Druck & Medienservice GmbH, Bamberg



**6** Mittlerweile sind 3D-Drucker auch für das Hobbybudget erschwinglich, dies macht sie für den Modellbau interessant. Eine kurze Übersicht bringt etwas Licht in die Welt des 3D-Drucks.

**16** Ein schönes Übungsobjekt für den Einstieg ins 3D-Konstruieren ist ein praktischer Halter für Fahrregler wie etwa den bekannten „Fred“ – mit FreeCAD ist das eine einfache Geschichte.



## EIN WORT ZUVOR

Modellbau mit dem Drucker 3

## GRUNDLAGEN

3D-Druck – was ist das? 6

Konstruieren mit FreeCAD 10

## MODELLBAU-PRAXIS

Halter und Buchsen 16

Wellblech prägen 20

Zweiseitiger Platinenbelichter 22

Der Weichensteller 26

Rollböcke 34

Aufschemeln 38

Zwischen Lok und Rollbock 46

Personenwagen in kleinster Serie 52

Unterwegs mit Post und Gepäck 56

Ein Begleiter für den Triebwagen 60

Elektrisch über den Hof zur Grube 66

Der gedruckte Efkr 401 72

Aufwirbeln und Absaugen 77

Bezugsquellen 82

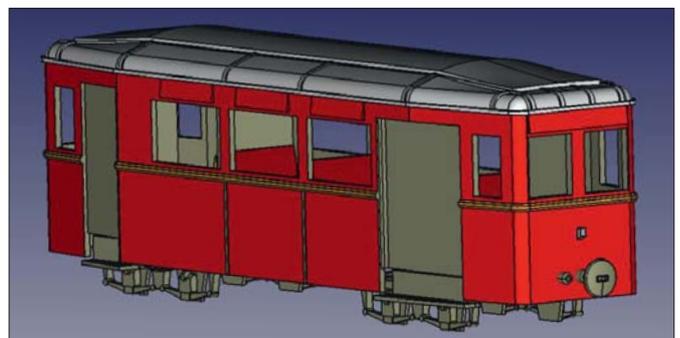


**38** Wenn auf der Anlage Rollbockbetrieb stattfinden soll, ist natürlich auch mindestens eine Umsetzgrube erforderlich. Da bei der Jagsttalbahn im Modell davon gleich mehrere benötigt wurden, lohnte sich der konstruktive Aufwand besonders.

**66** Mithilfe des 3D-Drucks lassen sich auch ganz spezielle Wunschmodelle realisieren – dazu gehört zweifellos die kleine Akku-Lok, die den Rangierdienst auf dem Gleisanschluss einer Fabrik übernimmt.



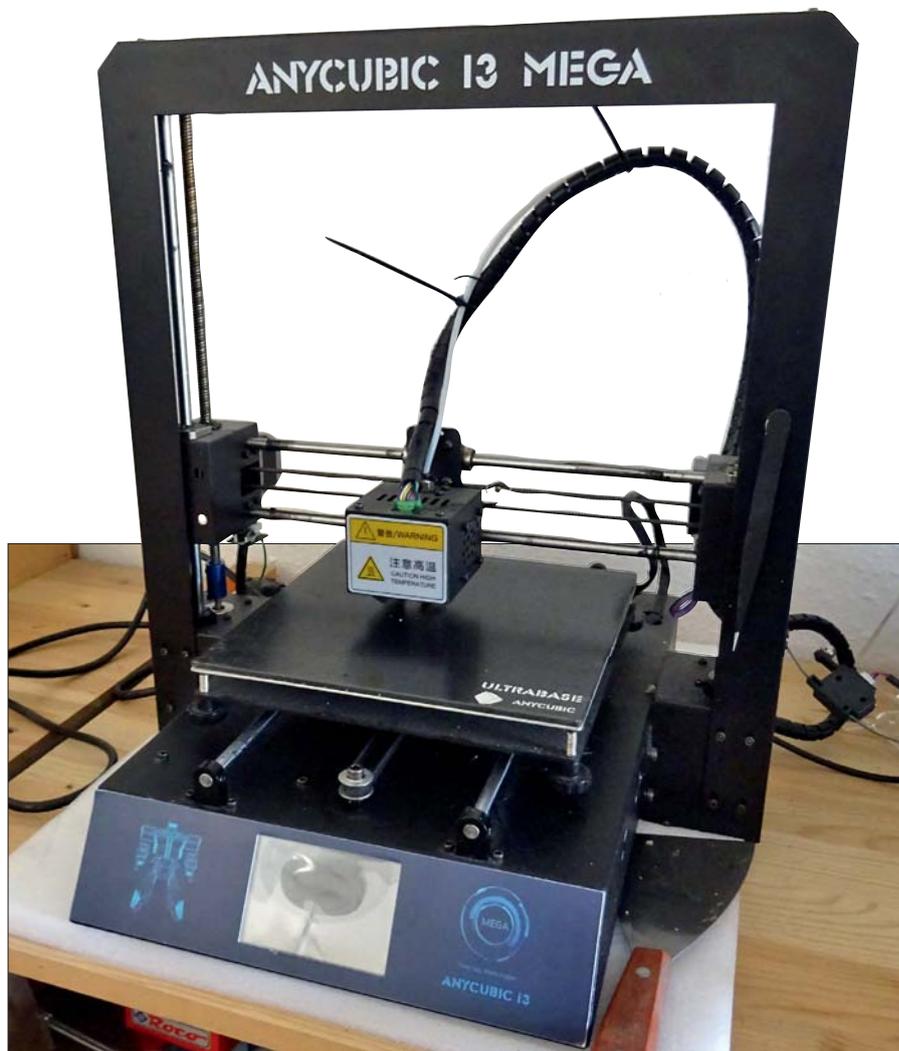
**52** Die Nachbildung eines Personenwagens im Modell ist eine durchaus anspruchsvolle Aufgabe. Mit dem 3D-Drucker kann daraus auch eine kleine Serie werden – und dank der CAD-Konstruktion lassen sich zudem kleine Bauartunterschiede berücksichtigen.



**60** Voraussetzung für den gelungenen Druck eines Modells ist die durchdachte Konstruktion am Computer. Mit etwas Überlegung ist dies aber nicht schwer – Schritt für Schritt konnte so der Beiwagen nach einem Vorbild der Jagsttalbahn entstehen.

*Das zunehmende Angebot an günstigen 3D-Druckern für ein gutes Hobbybudget macht diese Geräte für viele Bastler und Modellbauer interessant. Die verschiedenen 3D-Druckverfahren erschweren die Wahl bei der Anschaffung. Eine Übersicht bringt Licht in die Welt des 3D-Drucks.*

Ich dachte, die NASA hätte den 3D-Druck nach dem Unfall mit Apollo 13 bereits 1970 erfunden, um zukünftig bei Bedarf Ersatzteile im Raumschiff drucken zu können – aber weit gefehlt. Erst 1981 erfand der Amerikaner Charles W. Hull die Stereolithographie, die im Jahr 1983 erstmals praktisch erprobt wurde. Die Technik ist also noch vergleichsweise jung. Wenn man bedenkt, dass die erste Software für 3D-Konstruktionen erst 1985 auf den Markt kam – zu einer Zeit, als der PC noch ein kleines Vermögen gekostet hat und alles andere als einfach zu bedienen war – wird klar, warum sich der 3D-Druck erst später durchsetzte.



Individuelle Herstellung von Teilen für den Modellbau

## 3D-Druck – was ist das?

Dennoch war schon 1988 mit dem Stereolithografie-Drucker SLA-1 der erste 3D-Drucker käuflich zu erwerben, groß wie ein Kühlschrank und für den Preis eines Eigenheims. 1987 wurde das Lasersintern von Carl Deckard an der Universität Texas veröffentlicht.

Ebenfalls aus Amerika stammt mit dem „Fused Layer Modeling“ – dem Patent der Eheleute Crump – eben jenes Verfahren mit der größten Verbreitung im Hobbybereich. Es wurde 1991 erstmals als Fused Layer Modeling Drucker verkauft. Zur Jahrtausendwende wurde das Polyjet-Verfahren eingeführt.

Um 2010 boten Hersteller die ersten Fused Layer Modeling Drucker für den Heimbedarf an. Seit dieser Zeit drängen immer mehr Hersteller mit immer neuen 3D-Druckern auf den Markt und es setzt sich, zumindest bei den FDM- und DLP-Druckern, ein gewisser Stan-

dard durch. Parallel dazu fallen durch gleiche Teile und Serienfertigung die Preise, sodass sich heute der Preis eines durchaus brauchbaren 3D-Druckers in der Größenordnung einer guten H0-Lok bewegt. Nebenbei bemerkt schickte die NASA erst 2014 einen 3D-Drucker in den Weltraum, um dort Teile für eine Weltraumstation herzustellen.

Allen Druckern ist ihre Funktionsweise gemein. Ein CAD-Volumenmodell wird mit einem „Slicer“ genannten Programm in einzelne Schichten zerlegt. Sie werden nacheinander gedruckt und dabei die einzelnen Lagen übereinander gelegt. Bei diesem additiven Fertigungsverfahren wird also nur das Material verarbeitet, das für das Modell benötigt wird – was die Drucker wirtschaftlich macht. Die Körper werden aus mehreren Schichten flüssigen oder festen Materials mit thermischen oder

chemischen Prozessen ausgehärtet und miteinander verbunden. Außer dem Drucker selber werden keine weiteren speziellen Werkzeuge, wie zum Beispiel Formen, benötigt.

Wegen des zeitaufwendigen Fertigungsprozesses sind die Stückzahlen eher gering. Für große Serien ist das Spritzgussverfahren schneller und wirtschaftlicher. Sollen hingegen nur kleine Stückzahlen oder gar Einzelstücke angefertigt werden, ist der 3D-Druck das ideale Verfahren. Das auch aus dem Grund, dass sich Teile mit einer großen geometrischen Komplexität herstellen lassen.

Generell lassen sich drei grundsätzliche Verfahren unterscheiden:

1. Das Material wird extrudiert und härtet im Anschluss durch Abkühlen oder chemische Prozesse (z.B. FDM-, Schokoladen-, Betondrucker etc.).

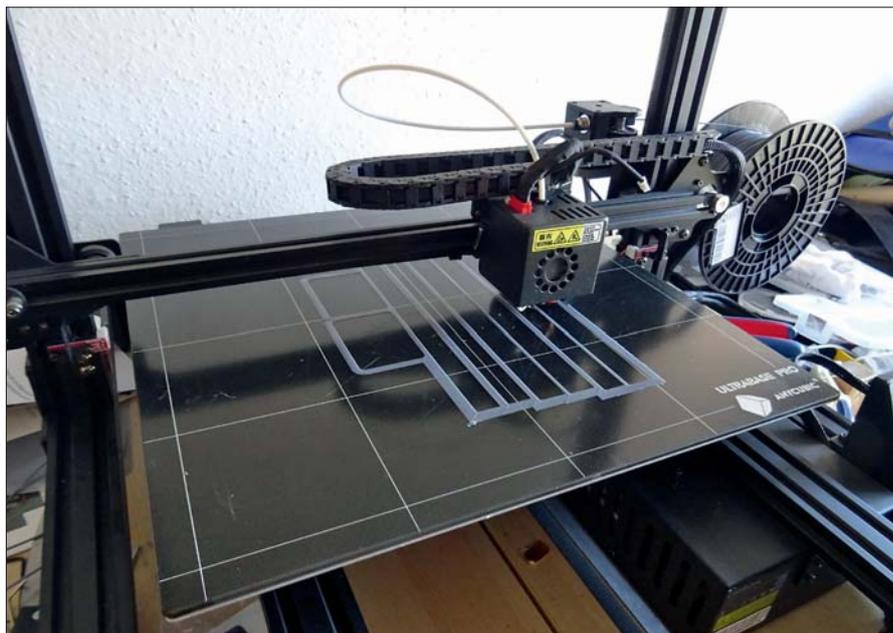
2. Ein flüssiges Photopolymer wird durch Licht ausgehärtet (z.B. DLP, Polyjet, Stereolithografie).
3. Ein Materialpulver wird selektiv durch Hitze oder chemischen Prozess gebunden (z.B. SLS-Lasersintern, Colorjet, HP Jet Fusion, Metall-3D-Druck).

Drucker für die ersten beiden Verfahren liegen in einem Preissegment, das sie für Hobbyanwendungen interessant macht.

## FDM- und DLP-Drucker

Lange Zeit waren die FDM-Drucker die einzigen für Hobbyisten bezahlbaren Drucker. Folglich haben viele, wie auch ich, mit einem FDM-Drucker begonnen. Die günstigste Lösung ist der Bausatz eines Anet A8, der bei Ebay schon ab € 75,- zu bekommen ist.

Der Anet A8 ist ein idealer Einstieg für alle, die jede Schraube ihres Druckers kennenlernen wollen. Es sind viele mehr oder weniger sinnvolle Upgrades erhältlich, sodass man sich seinen individuellen Drucker zusammenbauen kann. Dem günstigen Preis steht ein zeitintensiver Zusammenbau gegenüber. Am Ende hat man jedoch einen sehr individuellen Drucker. Lei-



Mit dem FDM-3D-Drucker „Creality CR10S“ können auch größere Dinge wie Gehäuse für Kleingeräte gedruckt werden. Das dauert dann schon mal mehr als zehn Stunden.

der muss man sich bei jedem Problem seine eigene Lösung suchen, was gerade am Anfang schwierig sein kann.

Mit dem Drucker Creality Ender 2 für etwa € 130,- wird ein komfortabler Bausatz angeboten, bei dem außer der Montage kein weiteres Upgrade benötigt wird, um gute Ergebnisse zu

erzielen. Die Montage ist in zwei, drei Stunden erledigt. Einmal eingestellt ist die Druckqualität erstaunlich gut. Einzige heizbare Bauplatte fehlt, wenn man daran gewöhnt ist.

Da sind die „fast fertig“ montierten Drucker im Vorteil. Mein Favorit ist der Anycubic I3 Mega. Hier muss nur

## 3D-Druckverfahren

In diesem Heft beschäftigen wir uns ausschließlich mit den beiden 3D-Druckverfahren DLP (Direct Light Processing) und FDM (Fused Deposition Modeling). Beiden Verfahren sind die derzeit führenden im Hobbybereich. Darüber hinaus gibt es eine Reihe weiterer Technologien, die unter dem Begriff „3D-Druck“ zusammengefasst sind. Allerdings basieren einige dieser Technologien auf demselben Grundprinzip. Nachfolgend habe ich die derzeit wichtigsten zusammengestellt. Die folgende Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Grundsätzlich kann man alle 3D-Druckverfahren auf drei verschiedene Grundprinzipien zurückführen: Die Extrusion von Materialien, Aushärten von Photopolymeren und pulverbasierten 3D-Druck. Darüber hinaus gibt es auch noch weitere Entwicklungen, die derzeit noch keine so große Bedeutung haben.

### Das FDM-Verfahren

Das hier mit Abstand bekannteste Verfahren ist der Filament-3D-Druck FDM (Fused Deposition Modeling) oder auch FFF (Fused Filament Fabrication). Hierbei wird der Kunststoff als Draht zugeführt, in einer Düse aufgeschmolzen und aufgebracht. Nach dem Auftrag kühlt der Kunststoff ab und erstarrt. Übliche Materialien sind PLA, ABS und verschiedene andere Polymere.

## Aushärten von Photopolymeren

Bei diesem Verfahren werden photosensitive Kunstharze mit einer Lichtquelle – UV-Licht mit 405 nm Wellenlänge oder Laser – ausgehärtet. Das bekannteste und älteste Verfahren ist SLA (Stereolithografie) und das im Hobbybereich verbreitetste Verfahren DLP, („Digital Light Processing“ oder „Direct Light Processing“). Etwas anders arbeitet das Polyjetverfahren oder Multijet-Modeling. Hier werden kleinste Tropfen des Harzes auf eine Plattform aufgetragen und anschließend mit einem am Druckkopf befestigten UV-Laser ausgehärtet.

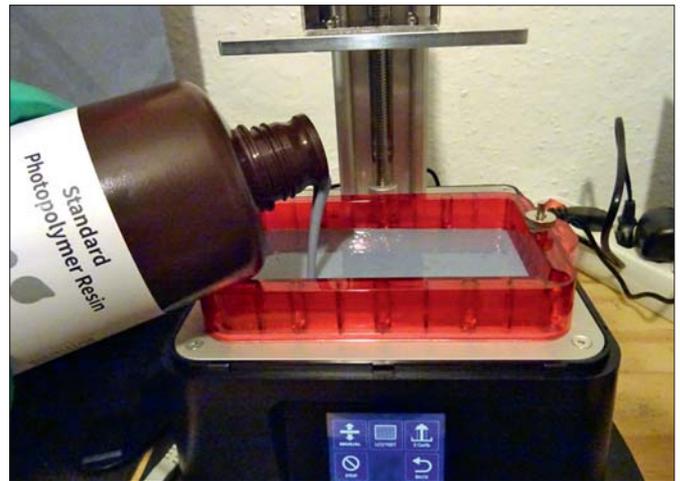
### Pulverbasierter 3D-Druck

Das pulverbasierte Verfahren unterscheidet sich in drei Untervarianten:

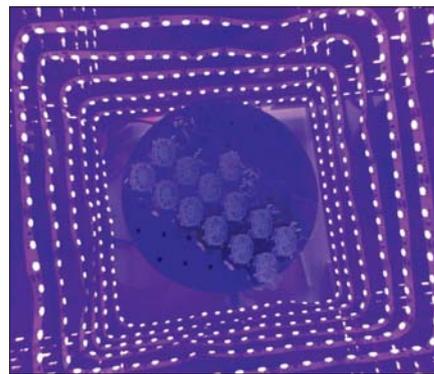
- Colorjet-3D-Druck, bei dem ein Polymergipspulver mit zum Teil eingefärbten Klebstoffen schichtweise chemisch ausgehärtet wird.
- SLS (Selektives Lasersintern), hier wird pulverförmiges Material wie Nylon, Elastomere, Alumide oder Polyamide mit einem Laser selektiv geschmolzen.
- SLM (Selective Laser Melting [Selektives Laserschmelzen]), dieses Verfahren ist ähnlich dem SLS, jedoch wird hier der Schmelzpunkt des Materials überschritten. Mit dem SLM-Verfahren lassen sich Metalle als Rohstoff für den 3D-Druck nutzbar machen.



DLP-Drucker Creality LD-002R. Über das Display werden seine Funktionen gesteuert und auch das Objekt auf der SD-Karte ausgewählt.



Resin wird in die Wanne des Druckers gegeben.



Projekte aus dem DLP-Drucker müssen zum Abschluss mit UV-Licht nachgehärtet werden, hier mit in ein Behältnis geklebten entsprechenden LED-Streifen.

die vormontierte Druckbrücke mit vier Schrauben an das vormontierte Druckbett geschraubt werden und drei farblich und mechanisch kodierte Stecker zusammengesteckt werden. Wenn man bummelt, ist das in 30 Minuten erledigt. Wichtig ist es, das Druckbett für eine saubere Basis auszurichten. Dafür ist dieser Drucker bereits ab etwa € 250 zu haben.

Daneben gibt es mittlerweile viele weitere sehr ähnliche Modelle, die sich im Wesentlichen nur in kleineren Details unterscheiden – und natürlich in der Größe. Mein derzeit größter Drucker hat ein Bauvolumen von 40 x 40 x 45 cm, benötigt natürlich viel Platz in der Werkstatt und kostet auch entsprechend.

Das recht günstig zu bekommende Filament und die praktisch nicht eingeschränkte Größe der Druckmodelle sind Vorteile des FDM-Druckers. So bleiben auch große Modelle preiswert. Beim Material hat man zudem eine große Auswahl an verschiedenen Thermoplasten. Zu Beginn ist PLA zu empfehlen, da dieses Material in der Anwendung sehr unkritisch ist.

Wichtig für alle FDM-Drucker ist gutes Filament und absolute Sauberkeit. Hausstaub setzt sich gerne auf den Filamentrollen ab und wird so im-

mer wieder in das Hotend eingezogen. Hausstaub schmilzt natürlich nicht und verstopft mit der Zeit die Druckdüse. Ein wenig Papier von der Küchenrolle zum Abdecken und eine Klammer schaffen hier wirksam Besserung.

Generell kann man die Schichtstärken frei wählen; sinnvoll ist eine Schichtstärke von 25-80 % vom Düsendurchmesser. Bei einer Standardgröße von 0,4 mm ergeben sich so Schichten von 0,1-0,35 mm. Kleine Düsen ermöglichen natürlich auch dünnere Schichten, stellen aber auch höhere Anforderungen an das Filament, die Sauberkeit und die Nivellierung (leveln) der Bauplattform. Auch verlängert sich die Zeit, die für ein Druckmodell benötigt wird. Umgekehrt kann man mit größeren Düsen dickere Schichten verarbeiten und so auch große Modelle in relativ kurzer Zeit drucken. Dies geht dann natürlich zu Lasten der Oberflächenbeschaffenheit.

Dieser an sich geschlossenen Welt machte der DLP-Druck Konkurrenz. Beim DLP-Verfahren wird ein lichtempfindliches Harz von einer Lichtquelle mit 405 nm Wellenlänge ausgehärtet. Hierfür hat sich der Begriff „UV-Licht“ eingebürgert, das eigentlich erst im nicht sichtbaren Bereich von 380 nm beginnt. Hier werde ich mich

an den allgemeinen Sprachgebrauch halten und auch von UV-Licht und Harz schreiben, obwohl es das nicht ist.

Bei allen DLP-Druckern wird ein LCD-Display zwischen dem Wannengboden, einer FEP-Folie und der eigentlichen Lichtquelle, einem LED-Array, montiert, die das Licht entweder blockiert oder eben an das Harz durchlässt. Die Größe dieses Displays gibt also die maximale Ausdehnung der zu druckenden Modelle in X- und Y-Richtung vor. Die Druckfläche liegt bei allen DLP-Druckern bei 115 x 65 mm. Unterschiede sind im Preis und in 2K- oder 4K-Ausführung zu finden. 2K-Displays haben eine Auflösung von 64 x 64 µm, 4K-Displays von 47 x 47 µm.

Es gibt RGB-Displays, also modifizierte Farb-LCDs, oder monochrome, also Schwarzweiß-Displays. Die monochromen Displays filtern deutlich weniger vom LED-Licht heraus, sodass hier die Belichtungszeiten je Schicht im Vergleich zu den farbigen Displays viel kürzer sind, zwei Sekunden je Schicht im Vergleich zu sieben Sekunden je Schicht machen sich bei großen Druckern sehr deutlich bemerkbar. Preislich liegen die DLP-Drucker bei € 250 bis 500. Übliche Schichtstärken liegen im Bereich von 10-30 µm, also ungefähr der Hälfte der FDM-Drucker.

Generell ist beim DLP-Druck deutlich mehr Nacharbeit als beim FDM-Druck nötig. Die Drucke hängen am Ende mit einer Schicht ausgehärtetem Harz an der Bauplatzform. Die Bauteile müssen je nach Harztyp mit Alkohol oder in Wasser abgewaschen und die danach noch klebrige Oberfläche unter einer UV-Lichtquelle für ein paar Minuten nachgehärtet werden. Hierfür reicht ein 5m-UV-LED-Streifen mit 405 nm Wellenlänge, der spiralförmig in einen Edelstahltopf geklebt wird, aus.

Belohnt wird man für diesen Aufwand mit einer sehr feinen Oberflächenstruktur, die ohne weitere Nacharbeit lackiert werden kann. Die in Harz gedruckten Modelle sind spröder als die der FDM-Drucker. Hier ist im Bereich der Harze noch Luft nach oben. Harze mit elastischen Eigenschaften sind vereinzelt verfügbar.

## Welcher Drucker darf's sein

Beide Verfahren haben ihre Berechtigung. Ich nutze meine FDM-Drucker überwiegend zur Herstellung von Funktionsteilen, die DLP-Drucker für Fahrzeuge, Gestaltungsmaterial und Figuren. Generell vorbestimmt ist das nicht, denn ein gut eingestellter FDM-Drucker mit feiner Düse und guten Linearschienen ist durchaus in der Lage, die Druckqualität der DLP-Drucker zu erreichen.

Die Entwicklung der 3D-Drucker für den Hobbybereich ist gewiss noch längst nicht zu Ende. Viele Entwicklungen in der Industrie haben auch das Potenzial, ihren Weg in die Hobbyanwendung zu finden. Speziell die Pulverdrucker bieten viel Möglichkeiten, ebenso das SLA-Verfahren, dem Vorläufer des DLP-Drucks. Das sollte jedoch niemanden davon abhalten, sich aktuell mit der faszinierenden Welt des 3D-Drucks zu beschäftigen.

## Woher kommen die Daten für den 3D-Drucker?

Damit der Drucker Modelle erzeugen kann, benötigt er einen sogenannten G-Code. Der G-Code ist eine reine Maschinensprache, deren Befehle Schrittmotoren, Heizelemente und Lüfter steuern. Um dieses Detail müssen wir uns nicht kümmern, denn den Code erzeugt ein Programm namens „Slicer“.

Damit der Slicer den G-Code für den Drucker erzeugen kann, benötigt er zum einen die Daten des Druckers wie

Größe des Druckraums, Düsendurchmesser, verwendetes Material und die gewünschte Schichtdicke. Natürlich wird noch der Datensatz des Volumensmodells des zu druckenden Gegenstandes in einem standardisierten Datenformat wie STL benötigt.

STL steht für „Standard Triangulation Language“ und beschreibt die Oberfläche von dreidimensionalen Körpern mithilfe von darüber gelegten Dreiecken. Je kleiner diese Dreiecke sind, desto genauer wird die Oberfläche dargestellt und umso größer ist die Datei. Ähnliche Formate sind OFF (Object File Format), PLY (Polygon File Format) oder OBJ von Wavefront Technologies. Das STL-Format stellt jedoch praktisch den Industriestandard dar. In jedem 3D-basierten Zeichen- oder CAD-Programm kann das konstruierte Modell im STL- oder einem ähnlichen Format gespeichert werden.

## Projekte aus dem Internet

Einige Internet-Plattformen bieten den Austausch von 3D-Projekten im STL-Dateiformat an (z.B. [www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com)). Hier werden STL-Dateien von verschiedenen Modellen, Werkzeugen und auch Figuren kostenlos angeboten. Es steht jedem frei, dem jeweiligen Konstrukteur eine Spende nach eigenem Ermessen zukommen zu lassen – nötig ist es nicht.

Natürlich gibt es auch viele andere Plattformen. Bei einigen muss man sich nur anmelden, andere bieten die Daten ihrer Projekte zum Teil nur zum Kauf an. Bei der Suche nach Details wie Fahrzeugen und Figuren zur Gestaltung wird man dort fündig. Sie lassen sich meist kostenlos herunterladen, im Slicer auf den gewünschten Maßstab skalieren und ausdrucken.



Das Resin-Modell muss von der Basisplatte getrennt und versäubert werden.



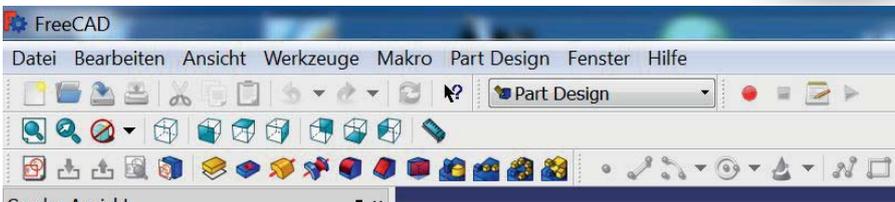
Die aus Resin gedruckten Bauteile werden mit Alkohol oder Wasser gewaschen, je nach Material.



Je nach Resin lassen sich die Modelle auch mit Spiritus reinigen.

In den vielen schwarzen, lichtdichten Flaschen sind unterschiedliche UV-Resin-Sorten von diversen Herstellern in verschiedenen Farben enthalten. Die Resin-Sorten lassen sich mit allen DLP-Druckern verarbeiten.





Ohne CAD-Konstruktion kein individueller 3D-Druck

# Konstruieren mit FreeCAD

*Basis für eigene Modellbauprojekte ist die Konstruktion mit einem CAD-Programm. FreeCAD ist dazu aus verschiedenen Gründen gut geeignet, wie dieses Kapitel im Zusammenhang mit der Konstruktion eines Schmalspurwaggons zeigt.*

Mit der Verbreitung der 3D-Drucker im Modellbau stellt sich unweigerlich die Frage, woher kommen die Daten für den Drucker? Einige Projekte lassen sich heute schon auf verschiedenen Plattformen im Internet finden. Als Beispiel möchte ich hier Thingiverse (<https://www.thingiverse.com/>) anführen. Die Wahrscheinlichkeit, dass dort das Lieblingsfahrzeug von irgendwem als Datensatz hochgeladen wird, ist allerdings eher klein. Vermutlich ist es zielführender, das eigene Wunschprojekt zu konstruieren und eine druckbare Datei zu erstellen.

Nun klingt „3D-CAD“ schon irgendwie nach Maschinenbaustudium und höheren Semestern. Gut, dass es auch für Anfänger durchaus nachvollziehbare CAD-Programme gibt, die anschau-

lich erklärt werden. Hier möchte ich mich aus dem recht umfangreichen Angebot an 3D Zeichenprogrammen auf FreeCAD konzentrieren, das mir als wirklich sehr gut geeignet erscheint und auch leicht zu erlernen ist.

Die Gründe für FreeCAD sind schnell aufgelistet:

- es ist „freeware“, also für den privaten Gebrauch kostenlos,
- es gibt eine große Community, auch auf Deutsch,
- es gibt Tutorials (Anleitungen) auf Youtube in Deutsch,
- es ist recht einfach zu erlernen,
- man braucht keinen speziellen Rechner (Grafikkarte, Arbeitsspeicher ...),
- es läuft auf Windows (ab Win 7), Linux und Apple Mac (ab OS 10.11),
- ... wenn man einen Rechner sein

Eigen nennt, entstehen beim Entwickeln eines Projekts keine Kosten.

Grund genug, sich mit der Materie zu beschäftigen, denn die Vorstellung, sein eigenes Lieblingsmodell zu konstruieren und dann beliebig oft zu drucken, ist schon sehr verlockend.

## Das Programm FreeCAD

Nun will ich hier nicht groß zeigen, wie man Freeware herunterlädt und installiert. Wer damit Probleme hat, bekommt auf YouTube für (fast) jedes Problem eine oder mehrere passende Lösungsansätze. Das Gleiche gilt für das Erlernen des Programms. Von den dort angebotenen Tutorials habe ich mir die ersten beiden von „BPLRFE“ vollständig angesehen und am PC nachvollzogen.

Das hat bisher gereicht, meine Konstruktionen zu erstellen. Die weiteren Tutorials ergeben meiner Meinung nach erst Sinn, wenn man sich eine kleine Basis im Umgang mit dem Programm erarbeitet hat. Vieles andere