

Elektrische Güterzuglokomotive EG 506  
in 1:20 als Standmodell

# Möglichkeiten des 3D-Druckens im Modellbau

Wie kann man im handwerklichen Stil ein ansprechendes Modell bauen? Wer nicht über ausserordentliche handwerkliche Fähigkeiten verfügt und auch keine Fräs- und Drehmaschinen hat oder bedienen kann, dem sei die neue 3D-Drucktechnik empfohlen. Diese Technik beginnt sich heute einem breiten Publikum von Designern und Modellbauern zu öffnen mit Preisen, die nicht mehr nur von den professionellen Anwendern bezahlbar sind.



Bild 1 Das unfertige Modell einer EG 506 aus dem Jahre 1920 im Massstab 1:20.

Von Markus Brückner

**B**eim Aufräumen im Haus meines Grossvaters entdeckte ich einen Modellzug im unüblichen Massstab 1:20. Mein Onkel muss die drei Güterwagen und die halbfertige Lok zirka 1920 in Berlin als später Teenager gebaut haben. Der Zug war so schön, dass ich beschloss, nach meiner Pensionierung die Wagen zu renovieren und die Lok fertig zu bauen. Die Farbe der Wagen hat in den 90 Jahren stark gelitten und blätterte ab. Die Lok war aus Holz gebaut und in einem Rohzustand, den man nicht als hübsch bezeichnen konnte. Die Räder waren aus Blei gegossen.

Zuerst wusste ich nicht, was für eine Lok es war und wie Dach und Bügel des Originals ungefähr ausgesehen haben müssten. Auf einer Reise mit unserem 12-jährigen Sohn mit dem Thema «Eisenbahnen» besuchten wir im Jahre 1996 Märklin in Göppingen, das Eisenbahnmuseum in Nürnberg und das Technische Museum in München.

Nirgends bin ich in den Ausstellungen auf ein Modell oder Bild gestossen, das meinem Fund auf dem Estrich des grossväterlichen Hauses geglichen hätte. Erst im Museumsshop des Technischen Museums wurde ich dann fündig. In «Deutsche Eisenbahnfahrzeuge von 1838 bis heute» fand ich einen Plan mit Massangaben, datiert 1910.

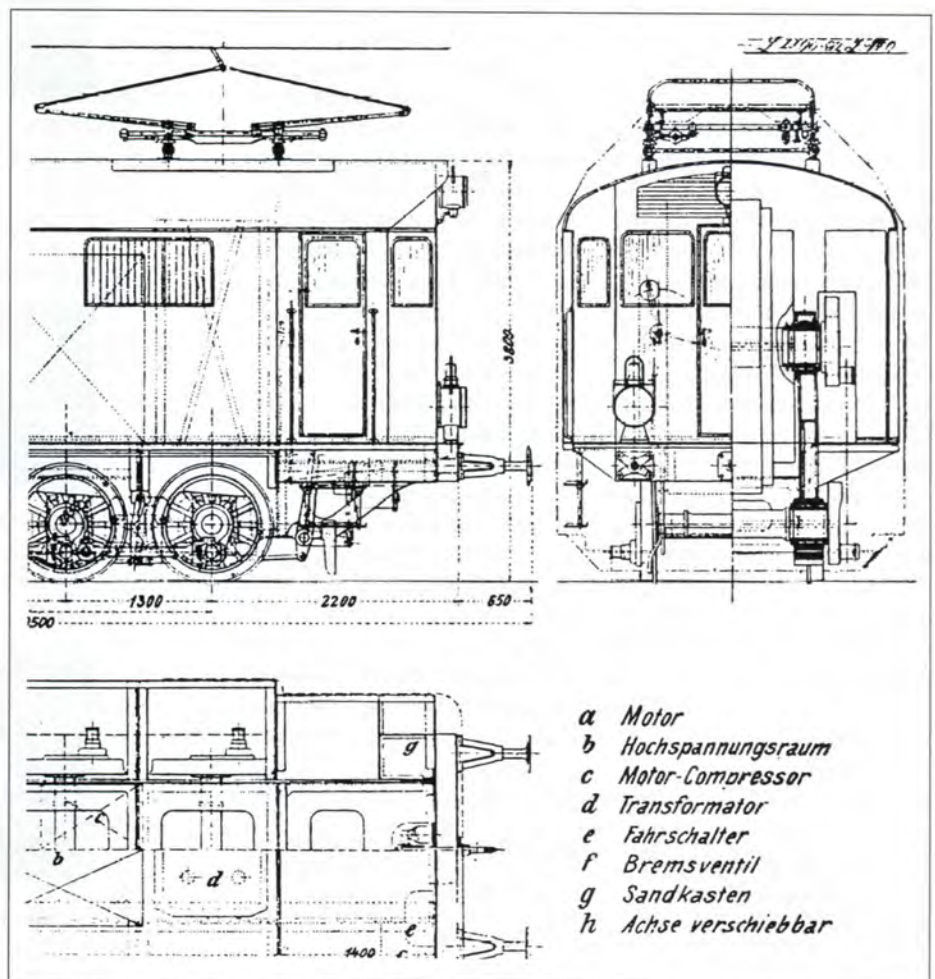


Bild 2 Plan der Lok mit Zentralmotor und Antrieb über eine Steilstange.



Im Sommer 2010 fand ich über eine Eisenbahn-Homepage Kontakt zu einem Kenner der Materie in Berlin. So bin ich zu einem Archivfoto und weiteren Angaben über die Geschichte der Lok gekommen. Logischerweise war das Archivfoto schwarz-weiß und ich weiss heute noch nicht, wie ich die Lok hätte bemalen sollen.

### Geschichte der Lok

Das Vorbild meiner Lok wurde von der KPEV (Königlich Preussische Eisenbahn-Verwaltung) am 21. August 1909 für die Versuchsstrecke Dessau - Bitterfeld in Auftrag gegeben. Um Erfahrungen mit Elektroantrieben zu sammeln, wurden fünf Maschinen mit den Nummern 10204 bis 10208 bei verschiedenen Fabriken in Auftrag gegeben. Später zeichnete man die Maschinen in EG 502 bis EG 506 um (EG = Elektrische Güterzuglokomotive). Es ist also ein Exemplar aus einer Prototypserie, die in der elektrischen Ausrüstung sehr unterschiedlich gebaut wurden. Man wollte zum Beispiel die Geschwindigkeitssteuerung des Elektromotors über Schützen-Stufenschalter, Drehtransformator oder über die Verdrehung der Kollektoren (Repulsionsmotor) testen. Es gibt kein Zahnrad in der Kraftübertragung vom Motor bis zum Rad. Der Zentralmotor füllte die ganze Höhe des Wagenkastens aus. Es ist genau der Entwicklungsschritt von der Dampflok zur E-Lok, Antrieb elektrisch mit einer Kraftübertragung aus dem Dampfzeitalter.

### Was ist ein 3D-Drucker?

Mit Plan, Geschichte und Foto konnte ich nun die Renovation in Angriff nehmen. Noch war mir nicht klar, wie ich die Lok im Holzbaustil fertiggablen könnte. An diesem Punkt hat mir vor zwei Jahren ein Artikel in der Sonntagszeitung einen anderen Weg zur Realisierung aufgezeigt. Der Artikel vermittelte einen Überblick über 3D-Drucker und die Möglichkeiten, die sich damit dem Hobby-Modellbauer eröffnen. Aufgrund jener Übersicht habe ich mich für diese Technik mit Shapeways als Lieferanten entschlossen.

Was ist ein 3D-Drucker? In punkto Funktionsprinzip sind sich die meisten 3D-Druckverfahren recht ähnlich. Zunächst wird eine dünne Schicht des sinterbaren Pulvers auf eine Trägerplatte aufgebracht. Dort, wo eine feste Struktur entstehen soll, wird der Werkstoff - zum Beispiel durch Aufschmelzen per Laser - verfestigt. Dann wird die Arbeitsplattform um 1/10 Millimeter abgesenkt und die Reservoirs des sinterbaren Pulvers gleichzeitig um ganz wenig angehoben. Der Schieber verteilt wieder sinterbares Pulver über die Bauplattform und der Laser «verfestigt» das Pulver ▷

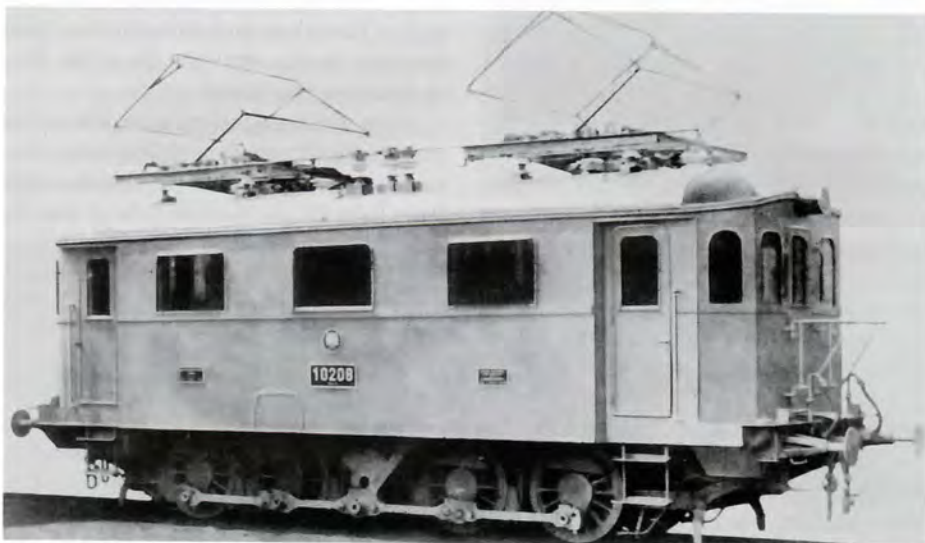


Bild 3 Archivfoto der Lok 10208/EG 506.

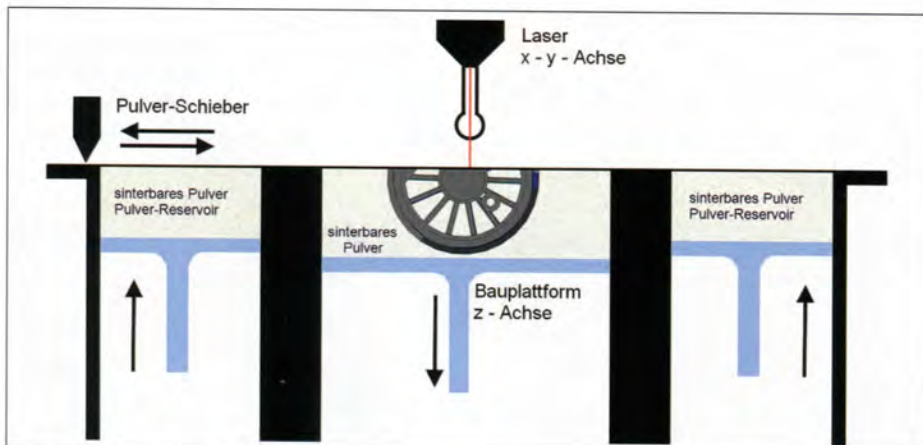
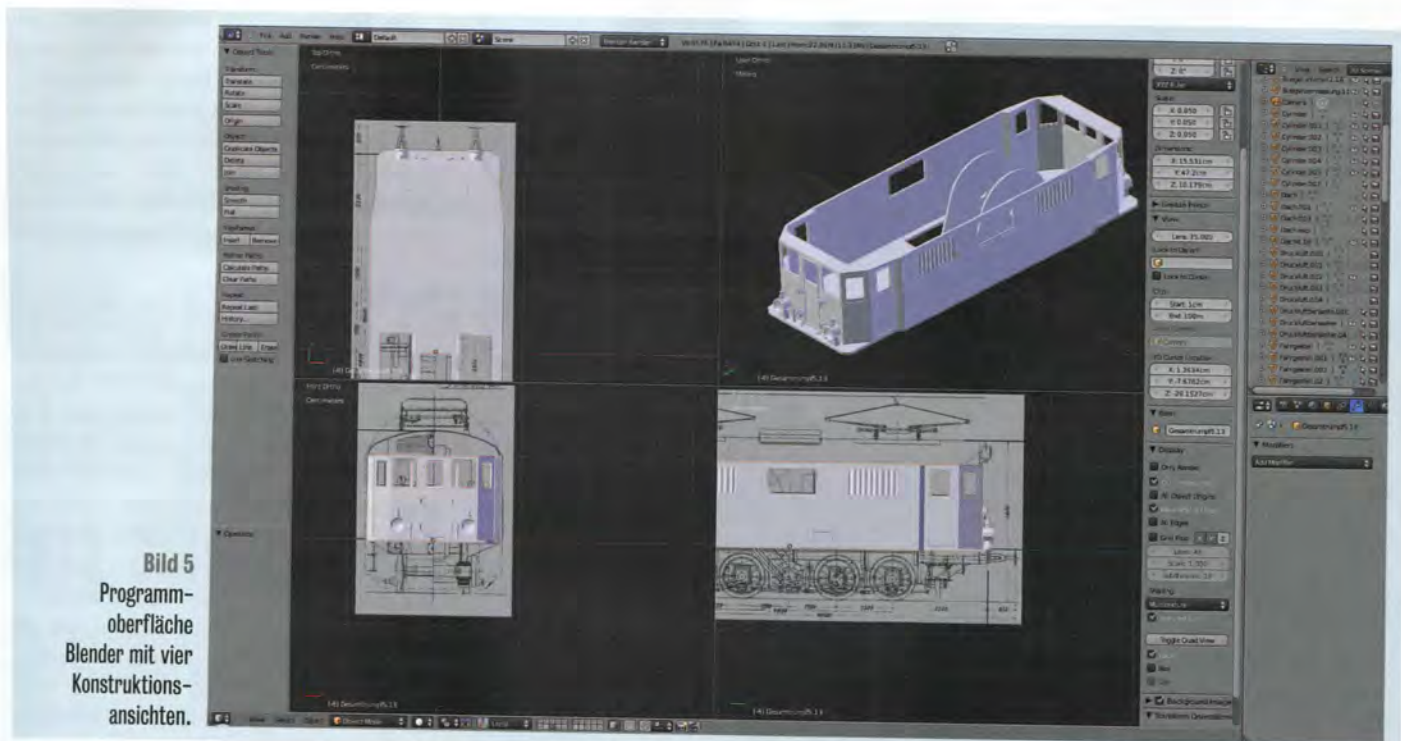


Bild 4 Funktionsprinzip eines 3D-Druckers.



**Bild 5**  
Programm-  
oberfläche  
Blender mit vier  
Konstruktions-  
ansichten.

dort, wo am Objekt Material sein soll. Durch die Erhitzung, bei anderen Verfahren Verklebung, bindet die neue Schicht sich mit der darunterliegenden. Und so geht das Schicht für Schicht weiter. Die Schichtstruktur sieht man dem fertigen Teil an. Siehe dazu **Bild 10**.

Der Laser bedient die Achsen x und y wie bei einem Laserdrucker, die Verschiebung der Bauplattform ergibt die z-Achse und so kommen wir zum Begriff 3D-Drucker für 3-dimensionales Drucken. Bedingung ist, dass es keine Einschlüsse gibt, sodass man das nicht verfestigte Sinterpulver nach Fertigstellung der Form ausschütten und später wieder verwenden kann.

### Konstruktion der Teile für den 3D-Druck

Voraussetzung für einen 3D-Druck ist, dass ich Gehäuseteile vollständig in drei Dimensionen konstruiert im STL-Format als File dem Drucker übergeben kann. Ich musste mich also zuerst einmal auf ein Konstruktionsprogramm festlegen und die Bedienung erlernen. Mein Schwiegersohn half mir bei der Evaluation und ich bin bei der Freeware Blender gelandet. Blender wird häufiger für Puppen-Animationen als für

statische Mechanikkonstruktionen verwendet. Richtig eingestellt kann man aber alles in Millimeter und Zentimeter skalieren und Masse auf den Tausendstel-Millimeter genau festlegen. Im Folgenden kann ich nicht eine Einführung in die Konstruktion mit Blender geben. Aber einige Hinweise zur Arbeit mit dem Programm sollen das Vorgehen veranschaulichen. Es sei vorausgeschickt, dass man sich die vielen Tastaturkürzel zur Bedienung der Software aneignen muss, bevor man produktiv arbeiten kann. Aber einmal daran gewöhnt, wird man erkennen, dass alles sehr zweckmässig gemacht ist.

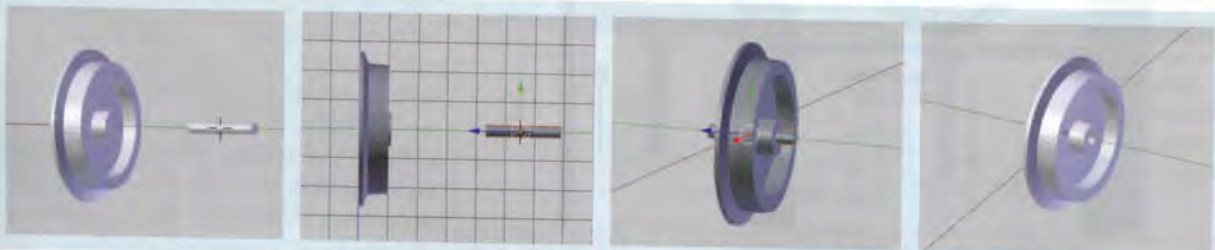
Für produktives Arbeiten sollte man eine vollständige Tastatur (10er-Block) haben und über eine Maus mit linker und rechter Taste mit einem Drehrad in der Mitte verfügen. Das Drehrad muss als dritte Taste auch gedrückt werden können.

Mit Blender kann man ein Teil aus vorgefertigten Formen zusammensetzen. Man muss wissen, dass jede Form digital nur aus Vier- und Dreiecken bestehen kann. «Rund» gibt es nicht. Ein Rad muss als Vieleck mit so vielen Ecken gemacht werden, dass der Eindruck von «rund» entsteht.

Zur Konstruktion habe ich Auf-, Seiten- und Grundriss als Scan im png-Format auf die Grösse des Modelles skaliert im Programm hinterlegt. So konnte ich über weite Strecken die Konstruktion über dem Plan einfach «nachzeichnen».

Beim Gehäusekasten habe ich zuerst eine «papierdünne» Seitenhälfte entworfen, das heisst Flächen mit Wandstärke null. Dann habe ich die Nischen geformt und die Fensteröffnungen angebracht. Mit einer sogenannten Modifier-Funktion habe ich dann in einem weiteren Schritt dem Teil die durchgehende Wandstärke von drei Millimeter gegeben. Weitere Details wie Lampen, Druckschläuche, Lok-Nummer habe ich auf einem separaten Layer einzeln erstellt und nachher auf die Halbschale «aufgeklebt». Die Software hat eine Modifier-Funktion, mit der Teile additiv oder subtraktiv verschmelzen werden können. Aufkleben heisst in diesem Falle also additiv verschmelzen.

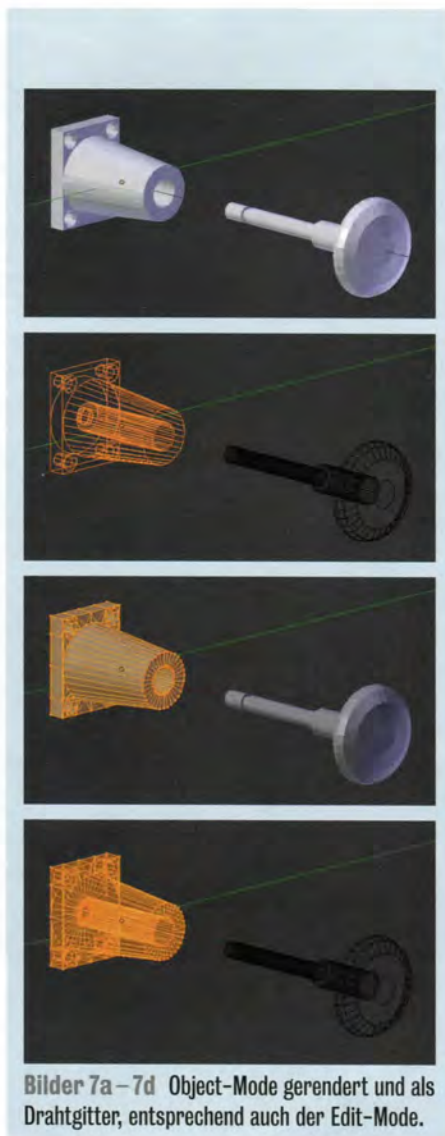
Nach Ausbau der Halbschale des Gehäuses habe ich diese kopiert und um 180° gedreht. Dann habe ich die beiden Teile punktweise verbunden und so das komplette Gehäuse wie in **Bild 5** erhalten.



**Bilder 6a – 6d**  
Entstehung einer  
Bohrung für  
die Achse durch  
ein volles Rad.

Am Wagenrad sei beispielsweise gezeigt, wie man ein Achsloch konstruieren kann: **Bild 6a** zeigt das Rad und ein Zylinderstück mit dem Durchmesser der vorgesehenen Achse. **Bild 6b** zeigt, die Ausrichtung von Rad und Achsstück. Am blauen Pfeil kann man nun das Zylinderstück exakt horizontal nach links bewegen, bis die Achse im Rad steckt (**Bild 6c**). Nach Anwendung der subtraktiven Verschmelzung entsteht in einem Schritt ein Rad mit Achsloch (**Bild 6d**).

Um die Beschreibung des Konstruktionsvorganges abzuschliessen, sollen noch die wichtigsten Ansichten des Programmes an zwei Teilen gezeigt werden. Es gibt einen Object-Mode zum Handling von ganzen Teilen und den Edit-Mode zur formgebenden Bearbeitung eines Einzelteiles. **Bild 7a** zeigt Puffer und Puffergehäuse im Object-Mode gerendert. **Bild 7b** die gleichen Teile in der Wireframe- oder Drahtgitter-Darstellung. Im Drahtgitter sind nur Kanten sichtbar. Polygongrenzlinien sind ausgeblendet, solange die Flächen auf der gleichen Ebene liegen. Das macht die Ansicht gegenüber der entsprechenden Darstellung im Edit-Mode (**Bild 7d**) besser verständlich. **Bild 7c** zeigt den Edit-Mode in gerendeter Darstellung. In dieser Darstellung bewegt man sich die meiste Zeit. Zu Kontrollzwecken und zur speziellen Markierung von Punkten oder Linien benötigt man manchmal auch die Drahtgitter-Darstellung im Edit-Modus (**Bild 7d**).



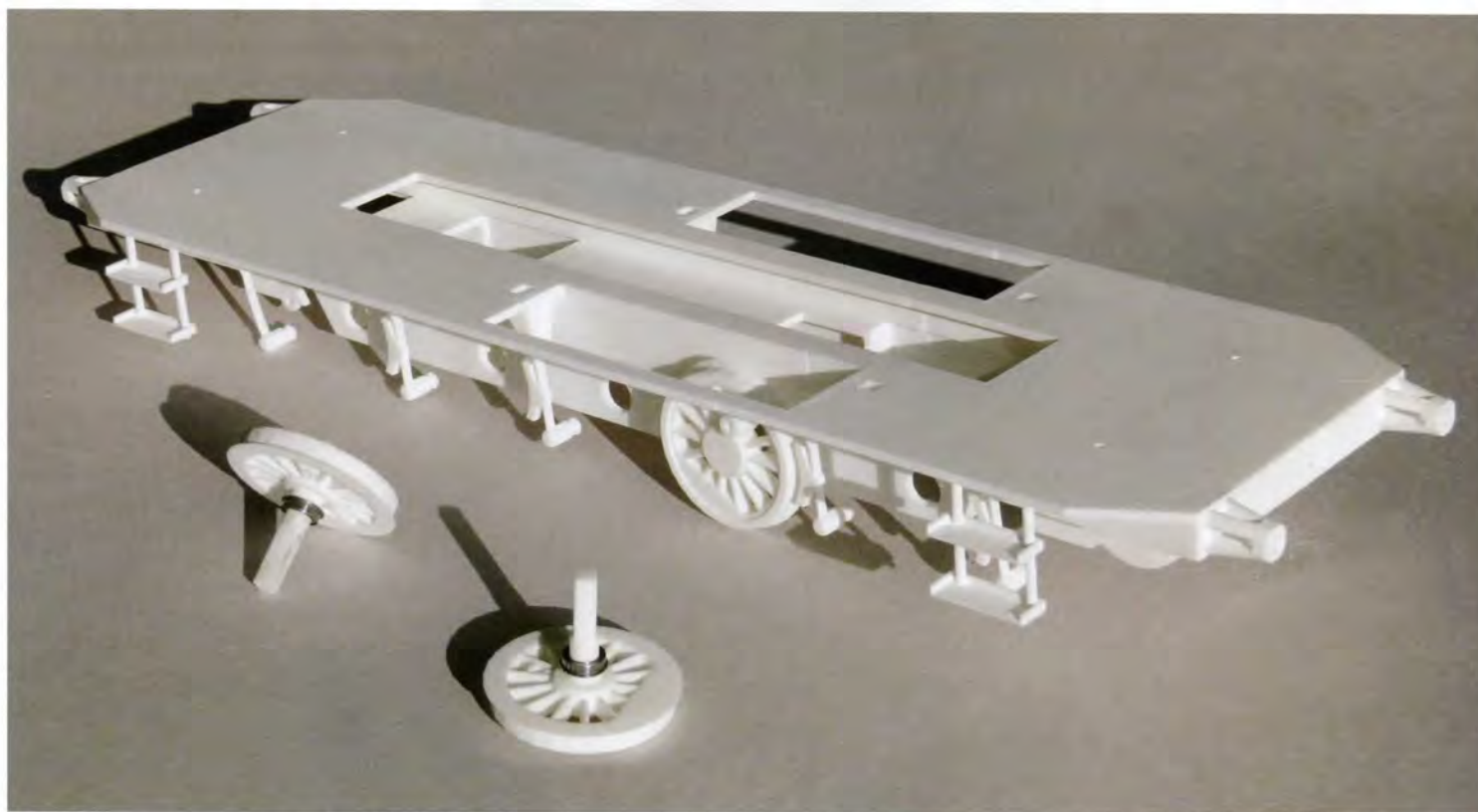
**Bilder 7a – 7d** Object-Mode gerendert und als Drahtgitter, entsprechend auch der Edit-Mode.

### Konstruktionskontrolle und Checks

Es ist dringend zu empfehlen, alle Teile der Gesamtkonstruktion auf einem separaten Layer zusammenzubauen. Also die Räder kopieren und alle am richtigen Ort einsetzen, rechts und links. Dann kontrolliert man, ob wirklich nirgends Teile miteinander kollidieren. Ich musste mit Nacharbeit das Fahrgestell nachbessern, weil die vorderen und hinteren Räder die Bremsaufhängung touchierten. Die seriöse Konstruktionskontrolle hätte mich weniger Zeit gekostet als die Nacharbeit!

Für die Produktion der Teile muss man die Blender-Konstruktion im STL-Format exportieren. Bei diesem Vorgang werden allfällige Viereckflächen von Blender automatisch in Dreiecke umgerechnet. Das führt dazu, dass das gleiche Teil zurück nach Blender importiert nicht mehr gleich anschaulich daherkommt wie die Originalkonstruktion. Damit nun die Teile produzierbar sind, müssen sie gewissen Vorschriften des Produzenten entsprechen. Die Teile müssen zum Beispiel «fehlerfrei» sein. Was heisst das?

Ein 3D-Drucker tastet in Gedanken die digitale Aussenhülle des Teiles scheibenweise ab und aktiviert den Laser, sobald er ins Innere kommt und deaktiviert den Laser sobald er wieder ausserhalb des Teiles ist. Wenn nun irgendwo die Teilekonstruktion eine Öffnung in der Aussenhaut hätte, und sei sie auch noch so klein oder sei es auch ein Schlitz, der unendlich schmal >



**Bild 8** Fahrgestell und zwei Räder mit aufgesetztem Kugellager.



**Bild 9** Rad in Stainless Steel (rostfreier Stahl).

ist, dann wird das Teil für den Drucker unendlich gross. Das Teil muss also 100 Prozent «wasserdicht» (engl. watertight) sein. Um das zu checken, gibt es bei Blender unter Select im Edit-Mode ein Menü «Non Manifold». Wenn dann irgendwo hervorgehobene Kanten oder Punkte in der Drahtgitter-Darstellung zu sehen sind, dann muss man dort nacharbeiten, bis alles fehlerfrei ist. Auch doppelte Punkte müssen zuvor entfernt werden (Remove Doubles) oder verlorene Punkte und Kanten (Loose Verts/Edges).

Nun gibt es noch weitere Anforderungen. Das Koordinatensystem muss so gelegt sein, dass kein einziger Koordinatenwert negativ wird. Ferner verlangt Shapeways Skalierung des STL-Files in Millimeter und Blender gibt in Zentimeter aus. Um diese Operationen durchzuführen und auch um

einen letzten Test auf Wasserdichtheit zu machen, hat Shapeways das Tool AccuTrans für 20 kanadische Dollar empfohlen.

Ist auch in AccuTrans alles bestens, skaliert und richtig im Koordinatensystem positioniert, dann ist es Zeit um das STL-File mit einem Upload dem Hersteller zu übergeben. Meine Erfahrung war, dass so getestete und aufbereitete Teilekonstruktionen vom Hersteller auf Anhieb akzeptiert und produziert werden konnten.

### Materialien und Grenzen der Machbarkeit

Bei der Bestellung kann man nun verschiedene Materialien und Oberflächenausführungen wählen. Ich habe für mein grosses Modell die billigste Variante mit relativ rauher Oberfläche gewählt. Für Modelle 1:87 sollte man den Aufpreis für glatte Oberflächen nicht scheuen. Fahr-



**Bild 11** Zu filigrane, freistehende Teile (Handlauf, Lampengriff) können missraten.

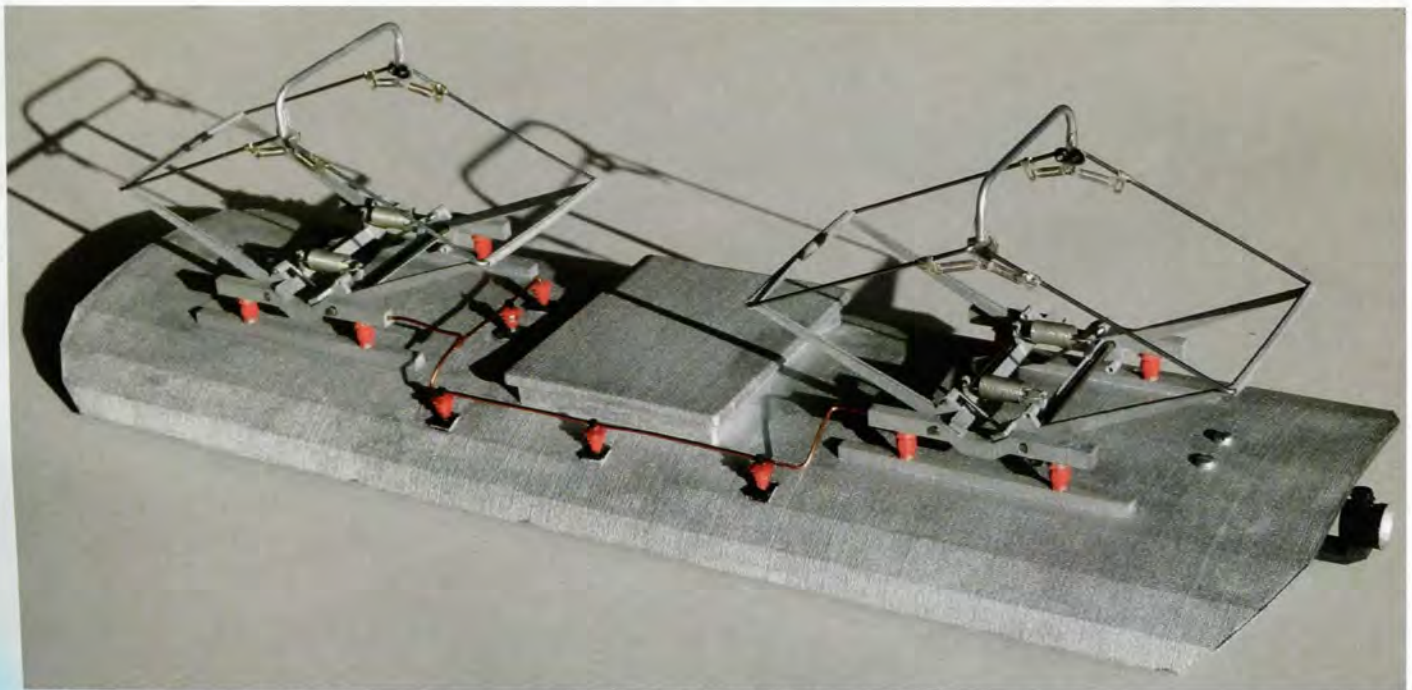
gestell und Räder meines 40 Zentimeter langen Modelles habe ich in White, Strong & Flexible bestellt.

Die Puffer habe ich in Stainless Steel bestellt. Als Beispiel habe ich auch ein Rad in diesem Material «drucken» lassen (Bild 9). Das Resultat hat mich umgeworfen, abgesehen davon, dass ich den Anfängerfehler gemacht hatte und das Rad mit einem 28-eckigen Polygon ausgelegt hatte. Damit ein Rad mit Durchmesser vier Zentimeter rund läuft, sollte man von einem Polygon mit 64 bis 128 Ecken ausgehen.

Stainless Steel ist für den Bastler ein unbearbeitbares Material. Es ist extrem hart. Wenn man ein Rad als Beispiel an Achse oder Triebstangenlager anpassen muss, dann muss man es so auslegen, dass Anpassungen an den Gegenstücken stattfinden können. Stainless Steel lässt sich nur mit Diamantwerkzeugen und sehr hoher Drehzahl bearbeiten.

Damit die Teile möglichst verzugsfrei herauskommen, sollte man grössere Materialansammlungen vermeiden. Beim Dach habe ich den Dachkasten in der Mitte innen mit Material ausgefüllt gelassen. Dies hat im Resultat das Dach vorne und hinten nach oben verzogen. Mit einer Innenverstärkung habe ich dem entgegengewirkt, aber besser wäre gewesen, zum vornherein den Kasten mit gleicher Wandstärke ausgehöhlt zu konstruieren.

Der 3D-Druck von Shapeways stellt auch gewisse Bedingungen an die Wandstärke. So musste ich für meine Modellgrösse (Länge 40 Zentimeter) drei Millimeter Wanddicke vorsehen. Bei kleineren Modellen kann man bis auf einen Mil- ▷



**Bild 10** Auch der Mechanismus für die symmetrische Bewegung der Bügelschenkel ist mit 3D-gedruckten Teilen realisiert.



Bild 12 Die fertige Lok EG 506 / 10208.

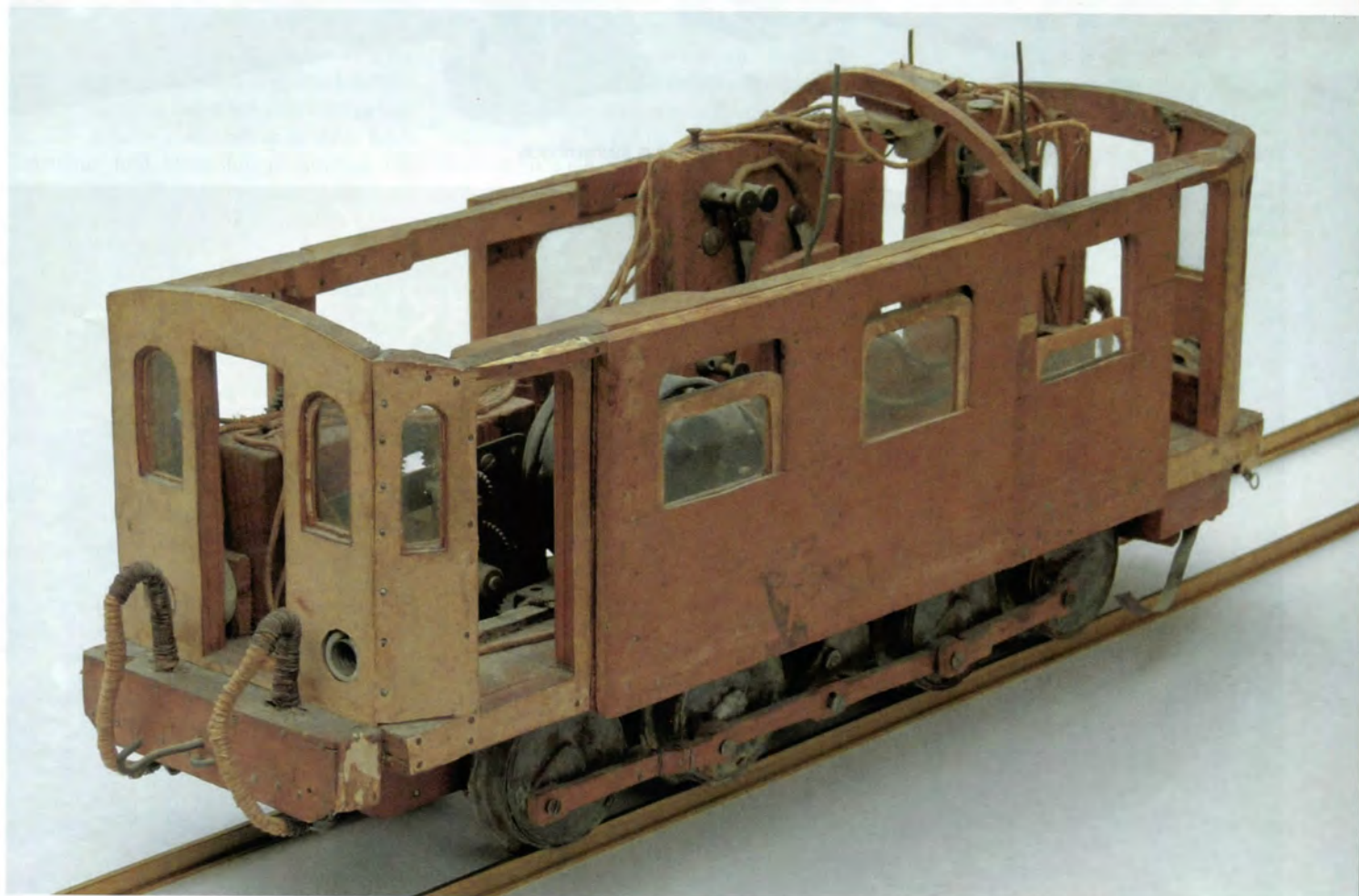


Bild 13 Das Vorbild von 1920 mit Bedienhebeln für Fahrt, Licht und Fahrtrichtung.



Bild 14 Renovierter Wagen Baujahr 1920. Vorne Originalräder und ein Puffer aus Büchsenblech.



Bild 15 Güterzug der Königlich Preussischen Eisenbahn-Verwaltung.



**Bild 16** Der Autor mit seinem Modell.

limeter zurückgehen. Da der Preis eines Teils im Wesentlichen vom eingeschlossenen Materialvolumen abhängt, steigt der Preis der Teile mit der dritten Potenz der linearen Ausdehnung. Was heisst das? Das Fahrgestell in **Bild 9** kostete mich € 337,03. Hätte ich das Modell im Massstab 1:32 bauen wollen, dann hätte mich die Lokomotive grob geschätzt nur etwa 82 Euro gekostet. Die genaue Kalkulation enthält noch Einrichte- und Fixkosten je Auftrag, die nicht vom Volumen des verbrauchten Materials abhängig sind. Das ist in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.

Dünne Handläufe mit Durchmesser ein Millimeter sind zum Teil nicht gelungen, ebenso die Lampenbügel. Shapeways hat mir dafür einen Rabatt gegeben. Ich musste die Handläufe aus Federstahl nachbessern und habe dafür nachträglich Löcher gebohrt. Teile wie die Druckluftanschlüsse, die dünn sind und frei vorstehen, habe ich mit einem Innenloch konstruiert und die Anschlüsse dann mit einem Federstahl inwendig verstärkt. Typenschilder und Loknummern benötigen eine Relieftiefe von mehr als 0,5 Millimeter, damit sie gut sichtbar hervorstehen.

## Lieferantennachweis

3D-Druck Shapeways	<a href="http://www.shapeways.com">www.shapeways.com</a>
Blender Konstruktionssoftware	<a href="http://www.blender.org">www.blender.org</a>
AccuTrans, Programm zum Skalieren der STL-Files	<a href="http://www.micromouse.ca">www.micromouse.ca</a>
Federn (Puffer, Bügel), Gutekunst Deutschland	<a href="http://www.federnshop.com">www.federnshop.com</a>
Benzingsicherungen Quicklock, Sicherungsscheiben, Stierlin	<a href="https://dabag.bwise.ch/stierlin">https://dabag.bwise.ch/stierlin</a>
Messingprofile, Kugellager, Acrylglas, Federstahl, Conrad	<a href="http://www.conrad.ch">www.conrad.ch</a>
Kontakt zum Autor Markus Brückner	<a href="mailto:mabrueckner@echos.ch">mabrueckner@echos.ch</a>

In der Ansicht der Lok auf **Bild 12** ist zu erkennen, wie der Zierstreifen in der Mitte nach oben gewölbt ist. Die andere Lokseite ist korrekt. Diesen Verzug musste ich bei der Dachkante von Hand abschleifen, damit das Dach gerade aufgelegt werden konnte. Dies zeigt, dass das Verfahren nicht unbedingt als hochpräzise bezeichnet werden darf. Die Masstoleranzen bei einer Modelllänge von 40 Zentimeter können nach Herstellerangaben über ein Millimeter sein.

### Die Renovation der Güterzugswagen

**Bild 14** zeigt die ursprünglichen Räder und Puffer des kleinen Güterwagens, die neuen Teile aus Kunststoff und die gefederten Puffer aus Stainless Steel. Der handwerkliche Stil der Wagen hat mich dazu gelehrt, die Intoleranzen beim Gehäuse der Lok zu akzeptieren. Ich habe auch die Zughaken an der Lok mit Schraubhaken aus dem Baumarkt und nicht mit naturgetreuen Nachbildungen realisiert um so einen zu grossen Stilbruch zwischen Wagen und Lok zu vermeiden. Die Farbschäden am Wagen und weitere kleine Details wurden nachgebessert.

### Vor- und Nachteile des Verfahrens

Der grosse Vorteil des Verfahrens liegt in der Möglichkeit mit Schraubstock, Feinbohrschleifer (Dremel, Proxxon, Hitachi) und üblichen Handwerkzeugen bereits für den Modellbau gewappnet zu sein. Nachteilig ist, dass man sich in eine Konstruktionssoftware einarbeiten muss. Aber wenn man einmal Fuss gefasst hat mit dieser Technik, macht es riesig Spass. Es ist auch möglich, gleich kleinere Serien damit zu bauen. Sind die Modelle in der Ausdehnung nicht zu gross, dann ist die Sache auch preislich bezahlbar und die erwähnten Toleranzprobleme fallen nicht ins Gewicht. Die Präzision kann sich nicht mit den professionell gefertigten Modellen messen. Aber man kann Modelle realisieren, die einem niemand für noch so teures Geld machen würde.

Aufpassen muss man bei den Transportkosten von Shapeways. Eine Sendung mit Zoll und Anlieferung kostet gute 50 Franken. Es lohnt sich, die Teilebestellungen zusammenzulegen, sonst kostet der Transport plötzlich mehr als die Teile. ○

## Fesselnde Bahnlandschaften

«Oft sind Bahnhöfe und Gleisfelder nicht schön, aber faszinierend sind sie immer», sagt Susanne Kiesewetter. Auch als Frau finde sie es spannend, diese Orte stets neu aufzusuchen, gesteht die 1978 in Dresden geborene Kunstmalerin. Nach dem Besuch mehrerer Kunsthochschulen studierte sie Architektur. Diese Wissenschaft hat viel mit Raumgestaltung, mit Perspektiven, mit Linien und Formen zu tun, was sich in den Gemälden Susanne Kiesewetters widerspiegelt. «Masten, Leitungen und Züge führen den Blick in die Tiefe, gliedern die grosse Himmelsfläche oder bieten Blickfänge und Farbpunkte in der Landschaft», erläutert die Künstlerin, die 2007 «mehr zufällig» ein erstes Gleislandschafts-Motiv auf die Leinwand bannte und dabei die grosse Zahl an Bildsujets im Umkreis der Eisenbahn entdeckte.

«Die Lichtstimmungen, die Geräusche, die riesigen Maschinen, die grossen Hallen, die Schienenstränge bis zum Horizont, die ständige Bewegung, die Wartenden – das alles erzeugt eine ganz spezifische Atmosphäre», weiss Susanne Kiesewetter. Diese vibrierende Welt, «die jeder kennt



Eindrücke von der Welt der Eisenbahn «in die Sprache von Pinsel und Spachtel» umgesetzt – Susanne Kiesewetters Ölgemälde «In zwei Richtungen, Ostkreuz».

und die doch selten bewusst wahrgenommen wird», fängt die Malerin in ihren Gemälden ein. Dabei zielt sie nicht auf verklärende Bahnromantik, sondern bezieht sowohl «Wind, Wetter und Dreck, die nun mal zur Eisenbahn gehören» in ihr Schaffen ein, wie auch die ganze Bahntechnik vom Signal bis zur Weiche, ohne die kein Zug funktionieren würde. «Ich befasse mich in meiner Malerei damit, was die Welt von Bahnhof und Zug mit uns macht», so Susanne Kiesewetter. Wer als Reisender, Wartender, Neugieriger und Bahnfreund nach Antworten sucht, wird in den vielschichtigen Bahnimpressionen unserer Kunstmalerin fündig.

Ihre Internetseite: [www.susanne-kiesewetter.de](http://www.susanne-kiesewetter.de)