Von der »Printed Matter« zur »Mantarine«

Ein Segelboot aus dem 3D-Drucker, Teil 1

Der 3D-Druck hat sich ja inzwischen als ernst zu nehmende, additive Bautechnik im Modellbau etabliert. Möglich wurde dies durch die Billigdrucker aus China, die die Einstiegshürde für die 3D-Drucktechnik stark herabgesetzt haben. Wenn auch die 3D-Druckerei noch weit davon entfernt ist, eine wirkliche Plug'n Play-Technologie zu sein, so eignet sie sich mit etwas Zeitaufwand doch inzwischen, um wettbewerbsfähige RC-Segelboote oder auch Flugmodelle zumindest als Prototyp zu bauen.

Demzufolge finden sich im Internet immer häufiger Berichte über 3D-gedruckte Modelle. Die IRSA (International Radio Sailing Association) hat mit der Nano-Klasse sogar schon einen Versuch unternommen, eine eigene Klasse für gedruckte RC-Segelboote ins Leben zu rufen. Dieser Versuch scheint zwar weitgehend im Sande zu verlaufen, aber in etablierten Klassen tauchen inzwischen immer öfter gedruckte Boote auf. Es wurde also höchste Zeit, sich einmal etwas genauer mit dem Thema auseinanderzusetzen.

Die Druckverfahren

Im 3D-Druck gibt es verschiedenen Verfahren, die zwar alle irgendwie ähnlich sind, sich im Detail aber doch erheblich unterscheiden. So gibt es Druckverfahren, bei denen eine Pulverschicht aufgetragen und mit einem gedruckten Bindemittel (Klebstoff) verfestigt wird. Mit diesem Verfahren lassen sich unterschiedliche Materialien zu 3D Strukturen verarbeiten. Sogar der Druck von Metallen wird damit möglich, wenn man, anstatt ein Bindemittel zu drucken, das Pulver mit einem Laser- oder Elektronenstrahl aufschmilzt. Dieses recht teure Verfahren wird heute z. B. in der Schmuckherstellung verwendet.

Statt eine pulverförmige Substanz durch Verkleben oder Aufschmelzen zu verfestigen, lassen sich nach einem vergleichbaren Prinzip flüssige Fotopolymere durch UV-Bestrahlung härten (Stereolithografie). Dieses Prinzip dürfte (fast)

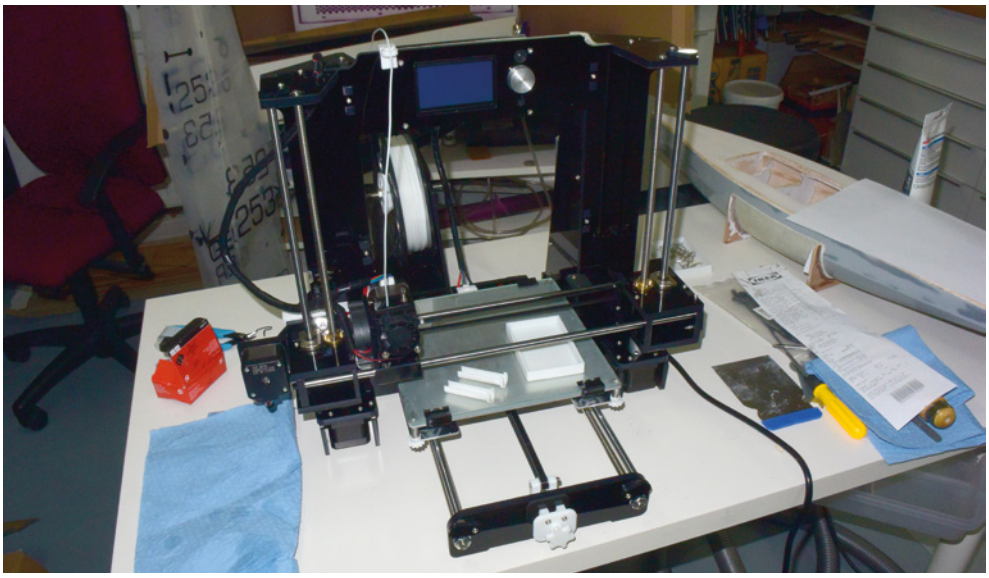


Abb.1: Die ersten Gehversuche auf dem ANET A6 – ein klassischer „Heizbettschubser" nach dem Prusa-/Mendel-Prinzip

Abb.2: Ein Mittelschiff entsteht. Die Druckzeit für so ein Teil liegt bei etwa sechs Stunden

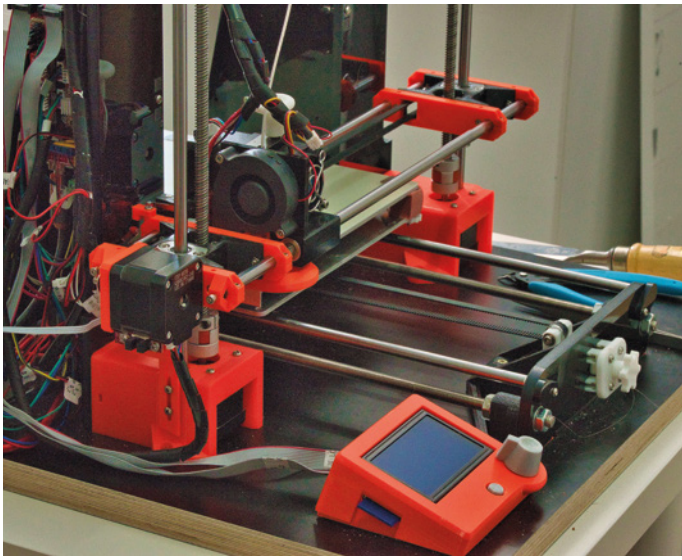


Abb.3: Mein modifizierter A6, den ich zum Druck von „Printed Matter" eingesetzt habe. Alle roten und weißen Teile sind im Laufe der Zeit selbst gedruckt worden und haben die Originalteile ersetzt

jedem vom Zahnarzt her bekannt sein. UV-gehärtete Kunststofffüllungen haben dort das früher gern eingesetzte Amalgam bereits weitgehend verdrängt. Aufgrund der benötigten Materialmengen und der begrenzten Lebensdauer der verwendeten Chemikalien ist auch dieses Verfahren für den Hobbybereich nur bedingt geeignet. Außerdem sind die (erschwinglichen) Drucker in ihrem Bauraum stark eingeschränkt. Dafür kann man mit diesem Verfahren aber eine hohe Oberflächengüte erzielen.

Das im Hobbybereich am weitesten verbreitete Verfahren ist das sog. Fused Deposition Modeling (FDM), zu Deutsch: die Schmelzbeschichtung. Dabei wird ein Kunststofffaden im Druckkopf aufgeschmolzen und schichtweise aufgetragen. Dieses Verfahren, das im Prinzip nicht anders als eine numerisch gesteuerte Heißklebepistole funktioniert, ist das derzeit preisgünstigste Verfahren.

Die Drucker

Für 3D-Drucker kann man beliebig viel Geld ausgeben, abhängig von dem möglichen Bauraum, den Qualitätsansprüchen und der (mangelnden) Bereitschaft, vieles oder gar alles selbst zu machen. Die ersten Überlegungen sind daher dem Druckertyp zu widmen, von denen drei Grundtypen hier Erwähnung finden sollen.

Da gibt es zunächst die einfachen kartesischen Drucker nach dem Prusa/Mende-Prinzip (Abb.1), die gern abfällig als „Heizbettschubser" tituliert werden. Das sind Portaldrucker, deren Y-Achse über einen Zahnriemen die Druckplattform (meist beheizbar, daher Heizbett) vor und zurück bewegt. Die X-Achse bewegt über einen Zahnriemen den eigentlichen Druckkopf hin und her und wird selbst über Trapezgewindespindel in der Höhe (Z-Achse) eingestellt. Bei diesen Druckern muss relativ viel Masse beschleunigt werden und es bedarf einigen Aufwands, um so einen Drucker mechanisch ausreichend stabil zu bekommen. Durch die Trägheitskräfte neigen diese Drucker

Abb.4: Der erste Rumpf nimmt Gestalt an

gerade bei höheren Geschwindigkeiten zum Nachschwingen bei Richtungswechseln. Überdies können schlanke, hohe Bauteile wie Bootsrümpfe durch die Bewegung in Y-Richtung selbst noch ins Schwingen geraten.

Beim sog. CoreXY-Prinzip wird das Heizbett über die Z-Achse nur in der Höhe verfahren. X- und Y-Achse laufen wie bei einem klassischen Stiftplotter in einer Ebene und bewegen nur den Druckkopf. Damit müssen nur erheblich kleinere Massen beschleunigt werden. Da das Heizbett mit dem Druckobjekt ausschließlich in der Vertikalen bewegt wird, kann das Druckobjekt auch viel höher ausfallen als bei einem Mendel-Drucker, ohne ins Schwingen zu geraten.

Gleiches gilt für die Drucker nach dem Kossel-Rostock-Prinzip (Delta-Drucker). Hier wird das Druckbett überhaupt nicht bewegt. Der Druckkopf hängt aber an drei beweglichen Stangen, deren Ansatzpunkte am Rahmen ebenfalls in der Höhe verstellt werden. Dadurch kann der Druckkopf jeden Punkt eines zylinderförmigen Druckvolumens erreichen. Dieses Verfahren ist sehr elegant und eigentlich perfekt für Bootsrümpfe geeignet, erfordert aber einen erhöhten Aufwand beim Einjustieren des Druckers. Außerdem ist wegen der aufwändigeren geometrischen Berechnungen der Einsatz eines leistungsstarken (32-Bit-) Controller-Boards empfehlenswert.

Materialien

Für das FDM-Verfahren gibt es am Markt eine Reihe von Materialien, die alle unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Um es vorweg zu nehmen, ein für den Hobby-Bootsbau wirklich ideales Material ist meines Wissens noch nicht dabei.

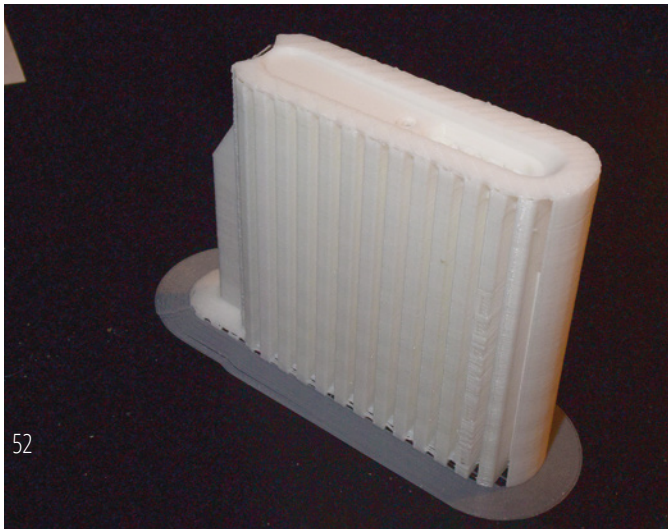
Der Klassiker unter den FDM-Materialien ist sicher das PLA (Polylactid Acid; Polymilchsäure). Das ist das typische „Anfängermaterial" – leicht zu drucken und recht hart. Es hat aber auch einige gravierende Nachteile. Es ist in der Regel ziemlich spröde und hat eine nur geringe Temperaturbeständigkeit. Insbesondere dunkle PLA-Teile sollte man nicht längere Zeit in der Sonne liegen lassen. Das kann zu Verformungen führen. Außerdem ist PLA schwer nachzubearbeiten. Die Drucktemperatur liegt um die 200 Grad. Eine Heizbetttemperatur von etwa 65 Grad wird empfohlen, um eine bessere Haftung auf dem Druckbett zu gewährleisten und das sogenannte Warping, das Aufwölben der Kanten eines Bauteils, zu minimieren. Die Bandbreite der Eigenschaften von PLA ist sehr hoch, da die wenigsten Filamenthersteller reines PLA liefern. Nicht nur zum Einfärben, sondern auch zum Optimieren der Druckeigenschaften werden andere Substanzen zugesetzt, die sich gravierend auf die Materialparameter auswirken können. Zum Kleben wird Dichlormethan oder Sekundenkleber empfohlen.

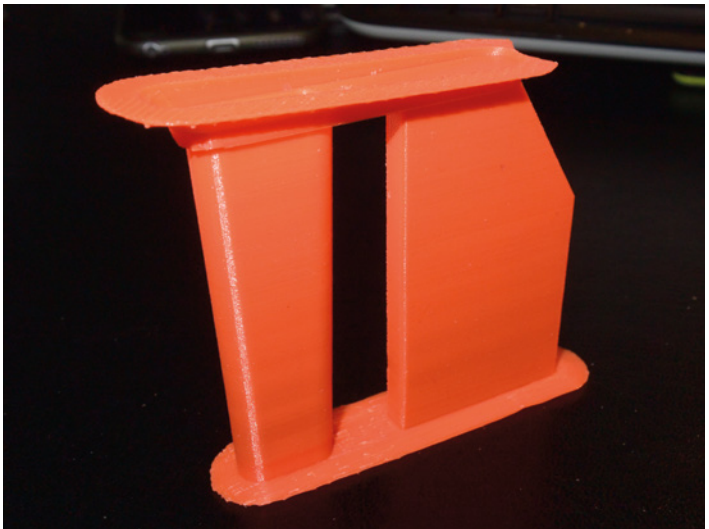
Seit einiger Zeit sind modifizierte PLA-Formulierungen unter Bezeichnungen wie PLAplus im Handel, die fantastische Eigenschaften wie größere Schlagzähigkeit, höhere Glasübergangstemperaturen oder eine gewisse Härtbarkeit aufweisen sollen. Allerdings gibt es hierunter einige Materialien, deren Datenblätter eher Marketingcharakter haben. Erste Tests sind in meiner Kellerwerft bereits erfolgversprechend gelaufen, Erfahrungen mit kompletten Bootsrümpfen aus PLAplus habe ich jedoch noch nicht.

Ein weiterer Klassiker ist das ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer), ein dem Schiffsmodellbauer meist vertrautes Material. ABS braucht eine hohe Heizbetttemperatur von über 100 Grad, um sich nicht schon auf dem Druckbett zu verziehen. Die Drucktemperatur liegt um die 220 Grad. Eine Einhäusung des Druckers ist zumindest bei größeren Druckteilen erforderlich, um ein Verziehen in druckbettferneren Bereichen zu verhindern. ABS ist bekanntermaßen gut zu kleben und leicht zu bearbeiten, stinkt dafür aber beim Drucken.

PETG (glykol-modifiziertes Polyethylenterephthalat) wird eine höhere thermische und mechanische Belastbarkeit bei gleichzeitig größerer Flexibilität und Schlagzähigkeit nachgesagt. Außerdem nimmt es so gut wie kein Wasser auf. Dafür benötigt es eine höhere Drucktemperatur von bis zu ca. 230 Grad und sollte auf einem geheizten Druckbett ge-

Abb.5: Der Schwertkasten vor (links) und nach (rechts) Entfernen der Supportstrukturen





druckt werden. Einige Anbieter empfehlen für größere Bauteile auch einen geschlossenen Bauraum. Im Gegensatz zu ABS stinkt es beim Drucken nicht. Ganz unproblematisch ist PETG aber nicht. Es neigt stark zur Fadenbildung (Stringing) und im Dünnwanddruck zum Beulen. Trotzdem gilt PETG als das ideale Material für technische Bauteile. Ein Kleben funktioniert einwandfrei mit Ethylacetat (das ist ein Lösungsmittel, das auch in Nagellackentfernern verwendet wird), Sekundenkleber oder mit Polyester. Aufgrund der Beulproblematik hat sich das normale PETG aber als unbrauchbar für den Rumpfbau erwiesen. Tests mit Glas- oder Carbonfaser-verstärktem PETG habe ich selbst noch nicht durchführen können.

Greentec und Greentec-Pro sind Lignin-basierte Biokunststofffilamente eines österreichischen Herstellers, die in der 3D-Druckszene allgemein hochgelobt werden. Greentec gilt als das bessere ABS: höher belastbar, einfacher zu verarbeiten, leidet aber wohl auch unter einer eingeschränkten Wärmeformbeständigkeit. Inzwischen gibt es eine Carbon-gefüllte Variante, die gegenüber dem ungefüllten Material nochmals deutlich verbesserte Eigenschaften haben soll. Insbesondere ist das Carbon-verstärkte Material nach Herstellerangaben deutlich leichter als normales Greentec, was es für die Verwendung als Bootsrumpf prädestinieren würde.

Nylon (Polyamid, PA) ist ein hochbelastbarer Kunststoff, der schwer zu verarbeiten ist. Billigdrucker erreichen in der Regel nicht die für einen guten Druck benötigten Temperaturen, da die Materialien des Druckkopf-Hotends häufig nicht für Temperaturen oberhalb von 250 Grad ausgelegt sind. Außerdem ist Nylon stark hygroskopisch. Das Filament muss also extrem trocken gelagert oder aber regelmäßig im Backofen getrocknet werden. Kleben soll mit Polyester und einigen Sekundenklebern möglich sein. Da die Polyamide eine ganze Materialgruppe umfassen, ist Nylon nicht gleich Nylon. Ein genauer Blick ins Datenblatt ist bei Beschäftigung mit diesem Kunststoff unabdingbar.

Einige Hersteller bieten die vorstehend genannten Materialien auch mit Carbon- oder Glasfasern gefüllt an. Das ändert die grundsätzlichen Materialeigenschaften zunächst nur wenig. Die Faserfüllung macht die gedruckten Teile nur steifer, dafür aber auch wieder spröder. Gleichzeitig werden die Kunststoffe durch die Faserbeimischung abrasiv. Eine normale Messingdüse ist nach ca. 1 kg Material so weit ausgeschliffen, dass sie ersetzt werden muss.

Daneben gibt es noch weitere Materialien wie TPU (Thermoplastic Polyurethane: flexibel, z. B. für Verschlussdeckel und Bumper), ASA (verwandt mit ABS) und Polycarbonat (PC: das CD-Grundmaterial, braucht sehr hohe Drucktemperaturen), HIPS (High Impact Polystrene) und PVA (Polyvinylalcohol, bekannt als Formentrennmittel aus der GFK-Verarbeitung), die bis auf das TPU im hobbymäßigen 3D-Druck eine eher untergeordnete Rolle spielen. HIPS und PVA sind dabei Kunststoffe, die gern als Stützstrukturen eingesetzt werden. PVA ist mit Wasser auswaschbar, HIPS erfordert das dem Terpentin verwandte Limonen als Lösungsmittel.

Ja, und nun …

… stand ich da mit einem gefährlichen Halbwissen. Wie geht man das Thema also an?

Für einen Test des Verfahrens – und mehr sollte es eigentlich erst einmal nicht sein – war schon einmal naturgemäß eine gewisse Budgetbeschränkung gegeben. Das Limit hatte ich mir bei etwa 300€ gesetzt. Beim Bauraum war die Höhe maßgebend, denn ein gängiger Standard liegt bei ca. 20×20×20 cm. Das ist natürlich viel zu wenig für eine RG65 oder gar eine IOM. Man muss den Rumpf bei einem solchen Drucker in vier Segmente aufteilen. 250 mm wären schon schön, um etwas Reserve zu haben, größer darf es gerne werden, kleiner als 200 mm aber auf keinen Fall. Und dann war da noch die Frage: Bausatz oder Fertiggerät? Hier kann der Preisunterschied zwischen DIY-Kit und getestetem Fertiggerät mal eben schnell den Faktor 10 bis 20 ausmachen. Letztlich muss man sich dann auch noch darüber im Klaren sein, ob man ein relativ teures europäisches Gerät oder ein billiges China-Teil haben will.

Aufgrund der Budgetbeschränkung schied ein Fertiggerät eigentlich von vorneherein fast komplett aus. Europäische Fertiggeräte (Prusa, Ultimaker etc.) bewegten sich mindestens um den Faktor 3 über meinem Limit. Es gibt zwar auch ein paar weitgehend vormontierte

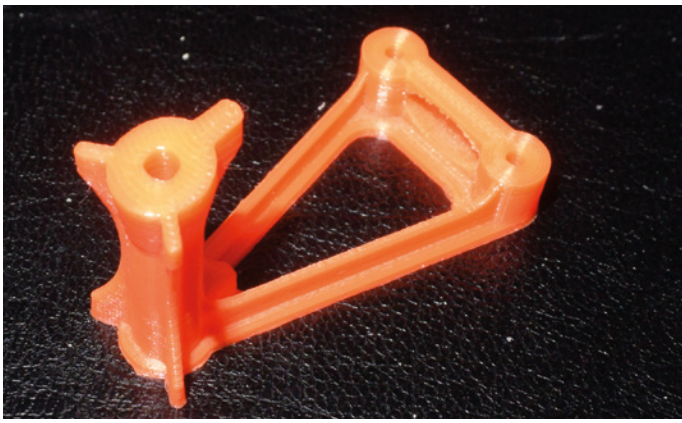


Abb.6: Der hintere Teil der Ruderhalterung mit dem Ruderkoker

Geräte aus China, die sogar ein beachtliches Bauvolumen aufwiesen, aber die schnitten damals (Ende 2017) in den Kritiken meist nicht so richtig gut ab. Was also tun? Kit kaufen und das gesparte Geld in Form von Lehrgeld dann doch irgendwie zahlen? Oder in den sauren Apfel beißen und was ganz oder teilweise Fertiges kaufen? So ein „almost ready to run-" Chinagerät lag ja noch fast in Budget-Reichweite…

Im Endeffekt entschied ich mich für den Einstieg für einen Anet A6 aus China, den ich damals in einem Supersonderangebot für nur etwas über 150 € erstehen konnte. Bei so einem Preis konnte man eigentlich nicht viel falsch machen.

Ich will den werten Leser jetzt nicht mit Aufbauhinweisen und Verbesserungsvorschlägen langweilen. Hier soll es ja um Segelboote gehen. Wer sich für Details zum Drucker interessiert, wird im Internet fündig. Für diejenigen, die sich speziell für meine Erfahrungen interessieren, sei ein Besuch meines Blogs auf https://p-sails.blogspot.com empfohlen. Hier sei deshalb nur so viel gesagt: Für qualitativ ausreichende Drucke muss einiges an Nacharbeit und Modifikationen in den Drucker gesteckt und viel Lehrgeld bezahlt werden. Dann kann man aber schon ganz anständige Ergebnisse aus diesem einfachen Drucker herausholen.

»Printed Matter«

Meine aktuellen Bauprojekte hatten über die Zeit viel Drive verloren. Graupner lieferte *die MicroMagic* wieder, so dass nur noch wenig Anreiz bestand, einen eigenen MM-Klon aufzulegen. Mein 5h5er-Projekt (siehe Schiffspropeller 1/2016) erfordert doch erheblich mehr Zeit, als ich im Augenblick aufbringen kann. Aber

▲▼ **Abb. 7: Der Blick in das hintere Rumpfsegment mit montiertem Servo. Der vordere Teil der Servohalterung sitzt tiefer als der hintere Teil, weil sonst das Rudergestänge nicht vom Deck klarläuft**

es gibt ja noch die *RG65*. Die Szene hat zwar stark unter dem Versuch der IRSA gelitten, eine eigene 65-cm-Klasse zu etablieren, aber es gibt sie noch, die konstruktions- und bauverrückten *RG65*-Fans. Andreas Hoffmann hatte kurz bevor ich meinen Drucker erwarb sein Erfolgsmodell *Manta 2017* vorgestellt. Philipp Eilebrecht hat dieses Boot für den 3D-Druck aufbereitet und die notwendigen Dateien bei Thingiverse zur Verfügung gestellt (https://www.thingiverse.com/thing:2572866). Damit waren die idealen Voraussetzungen gegeben, ein RG65-Druckprojekt zu starten. Das Projekt „Printed Matter" (zu Deutsch „Drucksache") war geboren. Also Dateien heruntergeladen (Super Arbeit, Philipp), GCODE per Slicer erzeugt, in den Drucker geladen und schon geht's los – denkt man jedenfalls, denn das klingt soweit alles ganz einfach. Aber, weit gefehlt. Als Anfänger tappt man spätestens an dieser Stelle in so ziemlich jede Falle, die einem vom 3D-Druck gestellt werden kann. Und das sind nicht wenige!

Am Anfang

Kaum das der Drucker einigermaßen lief und ich ungefähr wusste, wo es langgeht, habe ich mich also an den ersten Druckteilen für die *Manta* probiert. Ich hatte eine Rolle weißes PLA von DasFilament drin und fing an zu spielen.

Schnell waren die ersten Rumpfsegmente gedruckt (Abb.2). Das sah für den Anfang auch alles ganz anständig aus. Aber, wie mein erster Chef immer zu sagen pflegte: „wenn es gleich geht, liegt das Übel tiefer..." Die Oberfläche der Teile war doch ganz schön rau und die Wandung war mit 0,8 mm viel zu dick. Damit war die ganze Angelegenheit ziemlich schwer und ein Zusammenstecken der Teile war nur mit viel Nacharbeit möglich. Da war also ein Finetuning der Druckparameter angesagt. Nach vielen Stunden Lesen in diversen 3D-Druck-Foren bekam ich wenigstens eine leise Ahnung, an welchen Stellschrauben man drehen muss, und so peu a peu wurde die Druckqualität besser. Die Oberflächen wurden glatter und die Wandstärken bewegten sich auch in die richtige Richtung. Zwischendurch verlangte dann immer wieder der Drucker liebevolle Zuwendung. Mechanisch hatte ich ihn schon lange stabilisiert und mehrfach nachjustiert, elektronisch musste ich nach dem Tod einer Lüfterendstufe das Mainboard tauschen und habe bei dieser Gelegenheit auch gleich die Firmware aktualisiert, was sich spürbar auf Druckqualität und Benutzerfreundlichkeit ausgewirkt hat. Die mitgelieferte Firmware ist – vorsichtig ausgedrückt – etwas „outdated". Das Netzteil – ohnehin nicht mit vielen Leistungsreserven gesegnet – machte auch irgendwann schlapp. Im Endeffekt war dann auch noch ein Austausch der Linearführungen und –lager nötig. Der chinesische Hersteller hatte es mit den geforderten Toleranzen nicht so genau genommen. Klingt jetzt alles schlimm, ist auch nervig, aber man lernt das gute Stück in allen Details kennen. Das ist später durchaus von Vorteil. Die Abb.3 gibt einen kleinen Eindruck von den Modifikationen, die im Laufe der Zeit nötig wurden.

Die ersten Teile lagen also auf dem Tisch und schon kam das nächste Problem hoch. Wie jetzt kleben? Im Netz findet man viele Hinweise von Epoxid und Plastikkleber über Sekundenkleber bis Dichlormethan und Tetrahydrofuran, die aber irgendwie alle nicht wirklich hilfreich waren. Ich musste nämlich lernen, dass PLA offenbar noch lange nicht gleich PLA ist. Die wenigsten Hersteller liefern reines PLA. Es werden unterschiedlichste Substanzen zugemischt. Das fängt bei Farbpigmenten an und hört bei Zusätzen wie ABS wahrscheinlich noch lange nicht auf. Irgendwann fand ich dann auch einen Hinweis im Netz, dass so etwas gemacht wird, um die Filamente besser verarbeitbar und langzeitstabiler zu machen. Das war die erste große Lehre für mich. Was bei einem Material funktioniert, muss bei dem zweiten noch lange nicht gehen. Bei mir hielten beispielsweise Verklebungen mit Epoxid überhaupt nicht - ein gar nicht so kräftiger Schlag (Runterfallen reichte) und alles fiel wieder auseinander. Das häufig empfohlene UHU Allplast und andere Plastikkleber wollten nicht viel besser, und mit dem (funktionierenden) Sekundenkleber sah ich keine Chance, bei der sehr engen Passung die Teile sauber innerhalb der offenen Zeit zusammenzustecken. Dichlormethan oder Tetrahydrofuran wollte ich in der Werkstatt eigentlich vermeiden. Irgendwann probierte ich mal dann aber auch einmal andere Lösemittel aus und siehe da, das, was bei PLA gar nicht funktionieren dürfte, klebte perfekt – Azeton. Offenbar steckt in dem PLA von DasFilament ein gehöriger Anteil eines anderen, Azeton-löslichen Kunststoffs.

Das Problem des Verklebens der Rumpfteile war also gelöst. Azeton tropfenweise mit einem Pinsel in die Klebefugen zwischen den Rumpfsegmenten zu träufeln, ist ja nun wirklich kein Problem. Mühsamer war es dann aber, den Kielkasten, die Verstärkungen und Servohalterungen einzukleben. Philipps Idee, den Kielkasten formschlüssig in passende Gegenstücke in Rumpfboden und Deck einrasten zu lassen, ist zwar gut, aber die leicht geschwungene Unterseite ist halt sehr rau, da es sich in der Luft so schwer druckt. Hier war einiges an Nacharbeit angesagt. Auch die Verstärkung im Vorschiff musste angepasst werden. Wenn man das aber sauber hinbekommt, kann man Sekundenkleber in die Spalten laufen lassen und man bekommt eine gute Verklebung. Oder man nimmt einen lösemittelhaltigen Acrylatkleber wie Acrifix 192. Das hat bei mir auch gut funktioniert.

»Mantarine«

Irgendwann wusste ich dann, wie es geht, aber der weiße Rumpf war unter anderem wegen einiger Fehler, die ich beim Zusammenbau gemacht hatte, nur noch als Versuchsmuster zu gebrauchen: Das

Abb. 8: Der Rumpf ist fertig verklebt

weiße PLA neigte sich außerdem dem Ende zu. Vom gleichen Hersteller (Das-Filament) hatte ich aber auch noch neon-orangefarbenes PLA da. Also war ein Farbwechsel angesagt.

Durch den Farbwechsel wurde aus der schlichten, weißen „Drucksache" ein knalliges Designobjekt und ich beschloss, das Projekt umzutaufen. In Anlehnung an den Bootstyp *Manta* und passend zu der orangeroten Farbe des Filaments entstand im launigen Gerangel mit meiner Frau der neue Name *Mantarine*.

Zunächst war aber noch etwas Probieren erforderlich, um die richtige Wandstärke für den Rumpf hinzubekommen. Mit den Erfahrungen des ersten Rumpfes traf der zweite Anlauf zwar nicht gleich ins Schwarze, war mit 0,6 mm aber bereits nahe dran. Im nächsten Versuch passte dann alles zusammen. 0,55 mm Wandstärke bei 108 g (ohne Einbauteile und vor dem Ausschneiden der Öffnungen) sind zwar nicht federleicht, aber durchaus konkurrenzfähig. Dieser 0,55er-Rumpf sollte dann eigentlich die Basis für den Prototypen werden. Dummerweise fegte ich die vorderen beiden, bereits verklebten Segmente durch eine Unachtsamkeit von der Werkbank. Dabei splitterte unmittelbar hinter dem Bugspant ein Stück der Bordwand heraus. Es macht fast den Eindruck, als ob bei dieser Wandstärke für das verwendete PLA ein kritischer Wert erreicht ist. Dumm gelaufen, denn die Oberflächenqualität war nach einigen Upgrades des Druckers deutlich besser geworden.

Ungenauigkeiten

Bei so dünnwandigen Drucken gibt es an einigen Stellen aber auch bei PLA immer wieder mal die Tendenz zum Verziehen. Die Trennstelle zwischen den beiden vorderen Segmenten hatte beispielsweise eine deutlich ertastbare Delle in den geraden Teilen der Bordwand, und hinter der Decksöffnung wölbte sich der Rand des Segments hartnäckig etwas nach außen. Diese Effekte sind eindeutig thermischer Natur und stark vom verwendeten PLA abhängig, denn die zugrunde liegenden Daten sind in Ordnung. Es zeigte sich auch ganz schnell, dass man bei der Drucktemperatur eher an das obere Limit gehen muss, um eine sichere Layerhaftung zu erreichen. Nichts wäre ärgerlicher, als wenn nach einem Buff auf dem Wasser die Layer auseinander reißen.

Mühsam ist es, die Öffnungen im Deck auszuschneiden. Manche machen das mit einem Lötkolben, aber da habe ich mir sofort ein Segment versaut. Ich habe es dann mit einem scharfen Messer gemacht. Das ist zwar auch nicht risikolos, aber eventuelle Beschädigungen lassen sich leichter reparieren.

Als nächstes Druckobjekt kam der Schwertkasten an die Reihe (Abb.5). Er sieht gedruckt erst einmal aus wie ein Heizkörper. Der breite, umlaufende Kleberand oben erfordert eine Menge Supportstrukturen, die nach dem Druck entfernt werden. Dabei geht zwar ziemlich viel Material in die Tonne, aber man kann schlecht in die Luft drucken. Auch auf der Unterseite sind Supportstrukturen notwendig, denn diese ist der Rumpfkontur angepasst. Hier wäre eine zweiteilige Konstruktion besser gewesen, bei der man die Schmiege für den Rumpfboden auf dem Kopf stehend hätte drucken können. Parallel dazu war bei Andy die Konstruktion für einen neuen Ruderservohalter für ein Derkum HVS 228 BB MG entstanden. Die ursprüngliche Version von Philipp ließ sich etwas schwer drucken und hätte freihändig in den Rumpf geklebt werden müssen. Der neue Halter wird dagegen zusammen mit dem Ruderkoker einfach in Position geclipst und mit Sekundenkleber verklebt. Allerdings muss der Halter aus zwei Teilen zusammengebaut und mit zwei Kohlestäben zur Rumpfwand hin abgestützt werden (Abb. 6 bis 7).

Wie bereits angedeutet, habe ich im Endeffekt den Rumpf mit 0,6 mm Wandstärke ausgebaut. Die Oberflächenqualität ließ zwar noch zu wünschen übrig, aber etwas Spachteln und Schleifen schufen hier Abhilfe. Gespachtelt habe ich den Rumpf mit transparentem Mipa-Polyesterspachtel, der zumindest ausreichend gut auf diesem PLA haftet. Lackiert wurde mit Dupli-Klarlack aus der Sprühdose. Natürlich brachte das zusätzliches Gewicht auf die Waage, aber 127 g fertig lackiert mit allen Verstärkungen, Kielkasten, Deckelring und Servohalterungen liegen (hoffentlich) noch im akzeptablen Bereich. Bei einem besseren Druck braucht man, wie die Erfahrungen zeigen, keine Spachtel- und Lackierorgien. Optisch ist das zwar nicht sehr ansprechend, aber die Oberflächenrauigkeit des Drucks wirkt sich nicht negativ auf die erreichten Geschwindigkeiten aus. Den komplettierten Rumpf sieht man auf der Abb.8.

Ausblick

In der nächsten Ausgabe der ModellWerft setzen wir den Bau der *Mantarine* aus dem 3D-Drucker fort.