

DO IT YOURSELF

CNC-SCHNEIDEN VON STYROPOR UND ANDEREN SCHAUMMATERIAL - TEIL 1

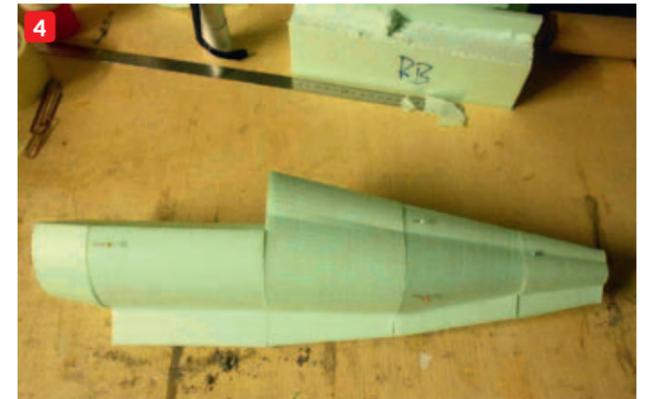
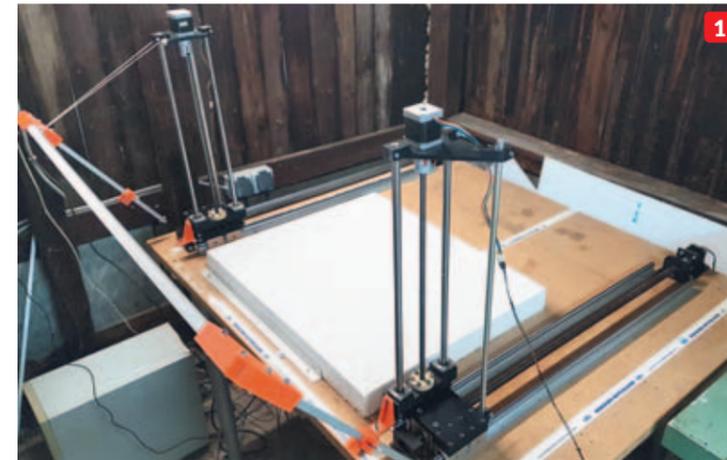
Text und Fotos:
Thomas Koriath

Um Flugmodelle zu bauen, gibt es die verschiedensten Methoden und Materialien. Teile aus einem Styroporblock zu schneiden, galt lange Jahre als weit verbreitete Technik, geriet dann aber ins Hintertreffen. Thomas Koriath zeigt, wie einfach CNC-Schneiden heutzutage ist, gibt Tipps sowie Tricks zum Thema und stellt seine präzise arbeitende CNC-Schneidanlage vor, die man selber nachbauen kann. Im ersten Teil geht es um die Grundlagen.



In den 1980er-Jahren habe ich mit meinem Vater zum ersten Mal mit Styropor im Modellbau gearbeitet und das Material mit dem heißen Draht von Hand geschnitten. Der Schwachpunkt war damals eindeutig das Vater-Sohn-Gespann, dass die Aufgabe hatte, den heißen Draht irgendwie synchron durch den Schaum zu bewegen. Die Ergebnisse waren brauchbar, der Ausschuss teilweise erheblich.

Nachdem das Hobby bei mir lange Jahre ruhte, wollte ich wieder Modelle mit der gelernten Methode bauen. Da damals schon das synchrone Schneiden Probleme bereitete, durchforschte ich das Netz nach einer Lösung für dieses Problem. Es galt eine Möglichkeit zu finden, die für eine absolut gleichmäßige Führung des Schneidebogens sorgt. Die präziseste Lösung dafür ist das rechnerunterstützte Schneiden des Schaums. Damit war



Die Eigenbau-CNC-Schneidanlage ist rechnergesteuert und arbeitet höchst präzise – jeder kann sie selber nachbauen und Rumpfe, Flächen, Teile damit schneiden (1). Aus selbst geschnittenen Styroporteilen entstand die Henschel HS-123. Über sie wurde in Modell AVIATOR 03/2018 ausführlich berichtet (2). Selbst geschnittene Teile für die HS-123. Zum Modell gibt es auch einen Downloadplan unter www.model-aviator.de (3). Die Segmentbauweise ermöglicht auch den Bau komplizierterer Rumpfe wie hier bei der Me-163B (4)

der Entschluss geboren, eine CNC Maschine für das Schneiden von Schaummaterial zu entwickeln, zu bauen und einzusetzen.

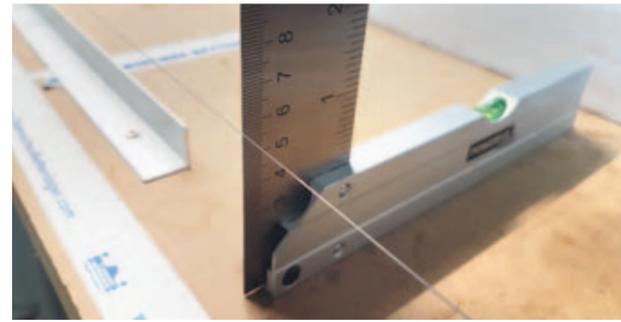
Wer eine CNC Maschine entwickeln will, muss sich ein wenig mit der Theorie des Fertigungsverfahrens beschäftigen. Es galt als erstes herauszufinden, wie der Schnittvorgang abläuft und welche Anforderungen er an die Maschine stellt.

Schneiden heißt schmelzen

Beim Schneiden von Hand, aber auch bei einigen maschinellen Lösungen, kommt es immer wieder vor, dass der Draht in der Mitte des zu schneidenden Kerns in einem Bogen naheht. Dadurch kommt es zu Verfälschungen des Profils. Wer sich im Internet auf die Suche zu diesem Problem begibt, findet meistens die Antwort, dass die mechanische Vorspannung des heißen Drahts erhöht werden muss. Das ist schlichtweg falsch.

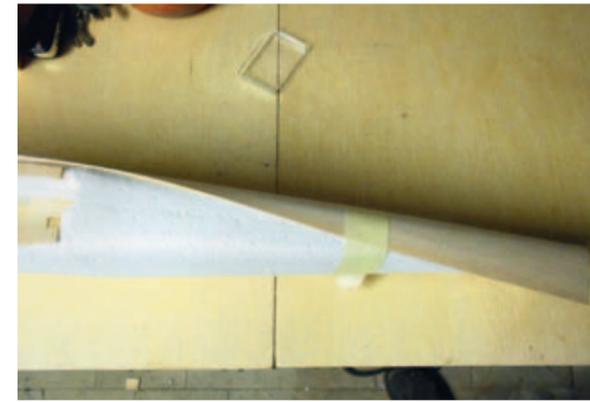
Bei einem Schnittvorgang trennt ein Werkzeug in direkten Kontakt das Halbzeug durch Aufbringen einer dafür ausreichenden Kraft. Dies findet zum Beispiel beim Sägen, Fräsen oder auch Schneiden mit einem Messer statt. Wird diese Bearbeitung mit einer Maschine durchgeführt, muss die Mechanik in der Lage sein, diese Kräfte aufzunehmen, ohne sich zu verformen. Daher müssen beispielsweise CNC Fräsen, die in der Lage sind, Metall zu bearbeiten, recht massiv ausfallen.

Beim Styroporschneiden findet der Trennvorgang allein durch die Hitze des Werkzeugs statt: dem Draht. Das gewünschte Teil wird aus dem Rohblock heraus geschmolzen. Das funktioniert nur, wenn dieser Vorgang über die gesamte Länge unseres Werkzeugs gleichmäßig stattfindet. Der Draht soll dabei nicht in Kontakt mit dem Material kommen, es handelt sich um ein kontaktloses Schmelzen. Macht er das doch, kühlt er an der Kontaktstelle aus, wird gebremst und eilt nach. Der oben er-



Höhenkalibrierung des Schneiddrahts mit Winkel, um exakte und reproduzierbare Schnittergebnisse zu erzielen

Mit Hilfe des Schneiddrahts lassen sich beispielsweise auch Rumpfteile exakt aushöhlen und/oder Versteifungen sowie Kanäle einarbeiten



Festigkeit erhalten Styroporerteile durch Beplanken mit Holz oder beispielsweise GFK-Auflage. Auf jeden Fall werden somit klasse Modelle möglich

Im Kern besteht die Kingcobra aus Styropor. Außen ist sie vollflächig mit Balsa beplankt



wähnte Bogen entsteht, der Draht folgt im Bogen nicht mehr der gewünschten Kontur und es kommt im Resultat zu Fehlern beim Schnitt. Eine Erhöhung der Drahtspannung hilft da nicht. Die richtige Lösung lautet, bei gleicher Temperatur des Drahts langsamer und absolut gleichmäßig zu schneiden. Der heiße Draht darf nicht in Kontakt mit dem Material treten. Beim Schneiden von Hand ist dafür ein erhebliches Maß an Übung erforderlich.

Kontaktlos Schneiden

Wie funktioniert das kontaktlose Schneiden? Jeder von uns wird schon mal die Hand langsam an eine Kerze oder andere Hitzequelle herangeführt haben. Dabei stellt man fest, dass die Temperatur mit geringeren Abstand immer größer wird. Physikalisch gesehen unterliegt die Wärmestrahlung des Drahts dem Abstandsgesetz. Durch die

steigende Entfernung zur Quelle und der radialen Ausbreitung der Strahlung nimmt die Energiedichte ab. Das gleiche Verhalten zeigt auch unsere Hitzequelle Draht. Wird dieser mit der für das Material genau richtigen Geschwindigkeit durch das temperaturempfindliche Schaummaterial bewegt, wird dieses in einem bestimmten Abstand geschmolzen, ohne dass der Draht in Kontakt steht. Es tritt also keine Kraft durch den Schneidvorgang auf, den die Mechanik der Maschine aufnehmen muss. Dieser Abstand wird als Kerf bezeichnet und bei einer CNC-Maschine durch die Steuerungssoftware kompensiert.

Der Kerf ergibt sich aus den Parametern Temperatur und Vorschub. Diese Kombination muss experimentell ermittelt werden. Das hört sich komplizierter an als es ist. Mit diversen Testschnitten wird bei

fest eingestelltem Vorschub die Temperatur beziehungsweise Bestromung des Drahts ermittelt, bei denen sich der Testblock beim Schneidvorgang gerade nicht mehr bewegt. Sobald die passende Kombination gefunden ist, wird der Abbrand ermittelt und der Schnittsoftware mitgeteilt. Die Software berechnet intern die erforderlichen Korrekturwerte, um das gewünschte Maß zu erhalten. Bei korrekter Handhabung lassen sich so Genauigkeiten im Zehntelbereich mit der Maschine erzielen. Für das Fertigungsverfahren Heißdrahtschneiden ist das extrem präzise. Und idealerweise haben wir damit auch die Parameter für das kontaktlose Schneiden ermittelt.

Herausforderung Tragfläche

Dieses Verfahren findet seine Grenze bei einem Längenverhältnis von 2:1 von Außenprofil zu Innenprofil. Bei einem rechteckigen Grundriss eines Tragflächensegments sind die Geschwindigkeiten an der Außen- und Innenrippe aufgrund der identischen Länge gleich. Sie weisen ein Verhältnis von 1:1 auf. Es werden aber auch geschränkte Tragflächen gebaut, die zum Beispiel bei Seglern extrem ausfallen können. Bei einem Verhältnis von 2:1 muss der Draht an der Außenrippe mit der doppelten

»NUR DIE MECHANISCHE VORSPANNUNG DES HEISSEN DRAHTS ZU ERHÖHEN, IST DER FALSCHER WEG«

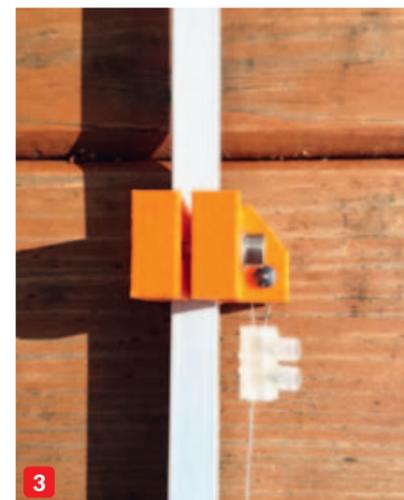
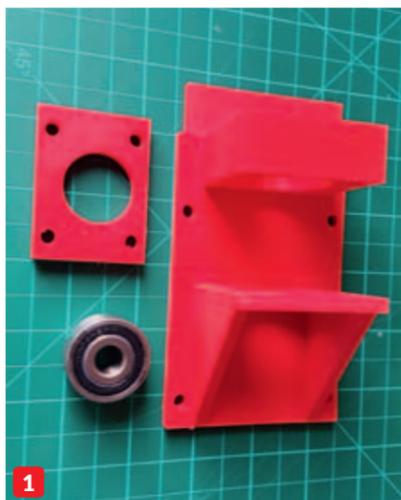
Thomas Koriath

Geschwindigkeit zur Innenrippe geführt werden. Maßgeblich für die notwendige Hitze des Drahts ist damit die Geschwindigkeit an der Außenrippe. Durch die halbierte Geschwindigkeit an der Innenrippe ist der Kerf hier aufgrund der längeren Einwirkzeit wesentlich größer und muss durch die Steuerungssoftware kompensiert werden. Bis zu diesem Verhältnis ist dies kein Problem.

Sobald die Geschwindigkeit des Drahts an der Außenrippe durch höhere Verhältnisse noch kleiner wird, ist der Hitzeeintrag über die Zeit in das zu schneidende Material zu groß. Die Hitze sammelt sich an diesen Punkt im Material an und verbrennt dieses. Die Lösung für dieses Problem ist einfach: Verhältnisse größer als 2:1 werden vermieden, indem eine solche Tragfläche in mehrere Segmente aufgeteilt wird. Eine Styropor-Fläche erhält ihre Festigkeit durch die Beplankung und eventuelle Holme, das Styropor selber trägt fast nichts zur Stabilität bei. Auch das Zusammenkleben der einzelnen Segmente und das anschließende Beplanken bereitet keinerlei Probleme. Das Programm GMFC berechnet den Schnitt der einzelnen Segmente so, dass die einzelnen Betten, in denen gepresst wird, perfekt die gleiche Höhe haben.

Leitende Erkenntnisse

Wichtig bei diesen Erkenntnissen ist: Durch den kontaktlosen Schneidvorgang treten keinerlei Kräfte auf, die durch die



Zahlreiche Elemente der Schneidanlage sind mit einem 3D-Drucker erstellt worden. Die erforderlichen STL-Dateien sind Teil der Download-Dokumentation (1). Exakte Schrittmotoren ermöglichen das Führen des Schneidbogens (2). Zum Schneiden kommt ein Widerstandsdraht zum Einsatz. Auch hier stammt die Halterung aus einem 3D-Druck-Teil (3)

Mechanik der Maschine aufgenommen werden müssen. Damit muss der Antrieb unserer Maschine nur in der Lage sein, das Eigengewicht zu bewegen. Insgesamt muss die Mechanik so dimensioniert sein, dass sie das Eigengewicht ohne Verformungen aushält.

Die eingesetzte Steuerungssoftware für die Maschine muss in der Lage sein, den Kerf passend zur Geschwindigkeit und Temperatur des Drahtes zu berechnen. Diese Korrekturwerte müssen bei der Ansteuerung der Maschine berücksichtigt werden, um ein perfektes Ergebnis zu erhalten.

Schneidprozess

Im Grunde genommen unterscheidet sich das Schneiden mit einer Maschine nicht vom Schneiden mit der Hand. Bei Letzterem wird der Draht über zwei Schablonen geführt, also in eine X- (Länge) und eine Y-Richtung (Höhe). So wird der Schaum durch den heißen Draht in gerader Linie zwischen den beiden Teilen getrennt und wir erhalten das gewünschte Schaumteil. Da immer zwei Schablonen benutzt werden, sind zwei geführte Bewegungen in X- und in Y-Richtung erforderlich. Bei der CNC Lösung werden die Schablonen durch Daten, mit denen die Maschinenantriebe entsprechend angesteuert werden, ersetzt. Der heiße Draht wird über jeweils eine Lagerung auf der linken und rechten Seite des Halbzeugs in X- und Y Richtung geführt. Die Steuerungssoftware der Maschine berechnet die notwendigen Bewegungen aufgrund der Maschinengeometrie und steuert die Motoren jeder Achse an.

Es hat sich eingebürgert, den Schnitt von Tragflächensegmenten von der Endleiste aus in der Orientierung von rechts nach links durchzuführen. Im klassischen kartesischen Koordinatensystem wäre das die negative X-Achse, die Werte sind in X Richtung aber durchweg positive Werte.

Der heiße Draht

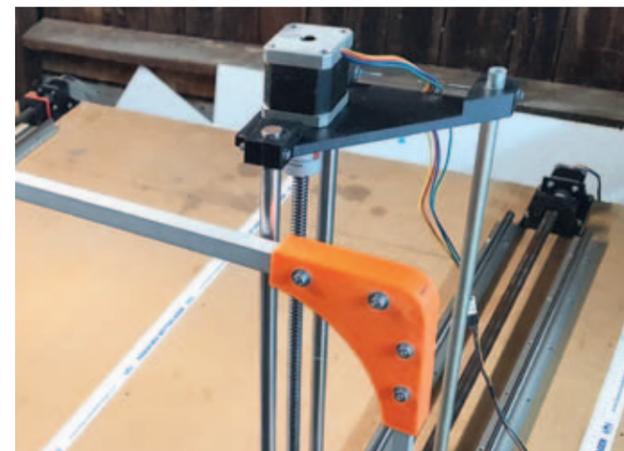
Das Werkzeug der Maschine ist der heiße Draht. Er ist nichts anderes als ein Widerstand, über den die angelegte Betriebsspannung abfällt und dabei die Verlustleistung in Form von Hitze abgibt. Das kontaktlose Schneiden mit der Maschine erfordert eine absolut gleichmäßige Temperatur. Der Widerstand des Drahts ergibt sich aus seinem Leit-

wert, dem Durchmesser und der Länge zwischen den Kontaktstellen, an dem die Betriebsspannung angelegt wird.

Durch das ohmsche Gesetz $U = R \times I$ ergibt sich der maximale Strom $I = U/R$ der durch den Leiter maximal fließen kann. Die elektrische Leistung berechnet sich nach $W = U \times I$. Wird die Formel für die Spannung U in die Formel für die Leistung W eingesetzt ergibt sich die Leistung zu $W = R \times I^2$. Diese grundlegenden Formeln der Elektrotechnik haben weitreichende Auswirkungen auf die Spannungsversorgung des Drahts:

- Ändert sich aufgrund der Kontaktierung die Länge des bestromten Drahts, ändert sich sein Widerstand (swert)
- Der Widerstand bestimmt gleichzeitig den Strom, der im Leiter fließen kann
- Die Leistung ist direkt abhängig durch den Widerstand und quadratisch abhängig vom Strom

Die Formeln zeigen, dass eine Widerstandsänderung des heißen Drahts beim Schneiden zu Änderungen des Widerstands (!) und damit des Stroms führen. Fatalerweise geht der Strom im Quadrat in die Rechnung ein. Die Widerstandsänderung des Drahts führt damit zu inakzeptablen Schwankungen der benötigten, exakt eingestellten Drahttemperatur. Die Kontaktierung des Drahts muss also zwingend zwischen zwei festen Punkten erfolgen und darf sich beim Schneiden nicht verändern. Auch sollte der Draht nach dem Schneiden nicht entspannt werden, um immer den gleichen Wi-



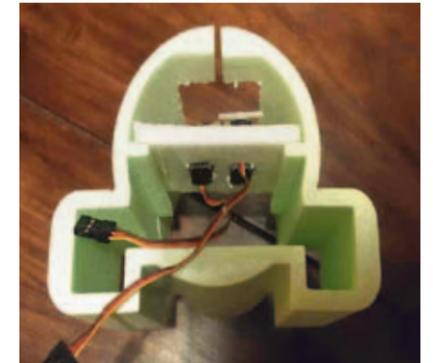
Die CNC-Schneidemaschine ist so aufgebaut, dass sie den Bogen auf zwei Seiten in X- und Y-Richtung führen kann

DOWNLOADPLAN

Die in dieser Serie beschriebene CNC-Schneidemaschine kann jeder selber bauen. Die dazu erforderliche Bauanleitung, Daten zum 3D-Drucken benötigter Bauteile und wertvolle Einstellungstipps hat Modell AVIATOR-Autor Thomas Koriath in einer umfangreichen Dokumentation zusammengefasst. Wir stellen diese für private Zwecke kostenlos zum Download unter www.modell-aviator.de zur Verfügung.



Vor allem runde Rümpfe, wie hier die Transall, sind prädestiniert, aus Styroporblöcken geschnitten zu werden (1) Wie komplex sich Rümpfe rechnergestützt schneiden lassen, wird an diesem Querschnitt einer Transall sichtbar (2)



derstand des Drahts und damit reproduzierbare Schnittergebnisse auch nach Wochen oder Jahren gewährleisten zu können.

Ohne Schwankungen

Wie aus den Betrachtungen zum Schneidemechanismus ersichtlich, muss das Werkzeug Draht einfach nur gerade sein. Eine hohe mechanische Vorspannung ist nicht erforderlich. Die einfachste technische Lösung für dieses Problem ist ein klassischer Schneidbogen mit festen Kontaktstellen, der durch die Mechanik der Maschine bewegt wird.

Die Spannungsversorgung des Drahts durch das Netzteil muss auch ohne große Schwankungen erfolgen. Die theoretische Klemmspannung einer Spannungsquelle bricht unter Belastung immer ein. Diesem Aspekt wird durch den Einsatz eines überdimensionierten Schaltnetzteils Rechnung getragen, um negativen Auswirkungen dieses Verhaltens entgegen zu wirken.

Arten von CNC Schneidemaschinen

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Modelle für CNC-Styroporschneidemaschinen. Bei Maschinen nach dem Prinzip von Hans Seybold wird die Bewegung des Drahts über Seilwinden erzeugt. Die Seilwindenmechanik wird an der Decke der Werk-

statt montiert. Die Generierung der Schnittdaten ist meiner Meinung nach recht komplex, die Maschinen funktionieren gut und sind auch verbreitet. Von Vorteil ist der relativ geringe Platzbedarf, die Mechanik lässt sich schnell wegräumen und nimmt keinen permanenten Platz in der Werkstatt ein.

Die zweite Möglichkeit sind Portalschneidemaschinen mit zwei auf einem Arbeitstisch montierten X-Achsen, auf denen jeweils ein Linearwagen mit einem Portal bewegt wird. Die Portale ermöglichen die jeweilige Höhensteuerung, also die Y-Richtung. Alle Achsen sind durch Schrittmotoren unabhängig voneinander bewegbar - der Antrieb der Achsen erfolgt durch geeignete Spindeln. Von Vorteil dieses Typs ist die einfachere Generierung der Schnittdaten und die größere mechanische Stabilität. Die meisten gängigen Steuerungsprogramme arbeiten mit diesem Maschinentyp. Nachteilig ist der Platzbedarf, man kann die Maschine nicht schnell wegräumen.

Meine Lösung sieht so aus, dass ich mich für eine CNC-Schneidemaschine mit zwei fest installierten Portalen entschieden habe. Die Konstruktion dieser Maschine, die auf den bisher geschilderten Erkenntnissen basiert, wird in der kommenden Ausgabe **Modell AVIATOR** detailliert beschrieben. <