

Leichter Einstieg

- Rahmen und Gestelle aus fertigen Profilen
- Diese Werkzeuge brauchen Sie wirklich
- So geht's: Metall solide verbinden
- Individuelle Teile vom Dienstleister



studiovin / Shutterstock.com

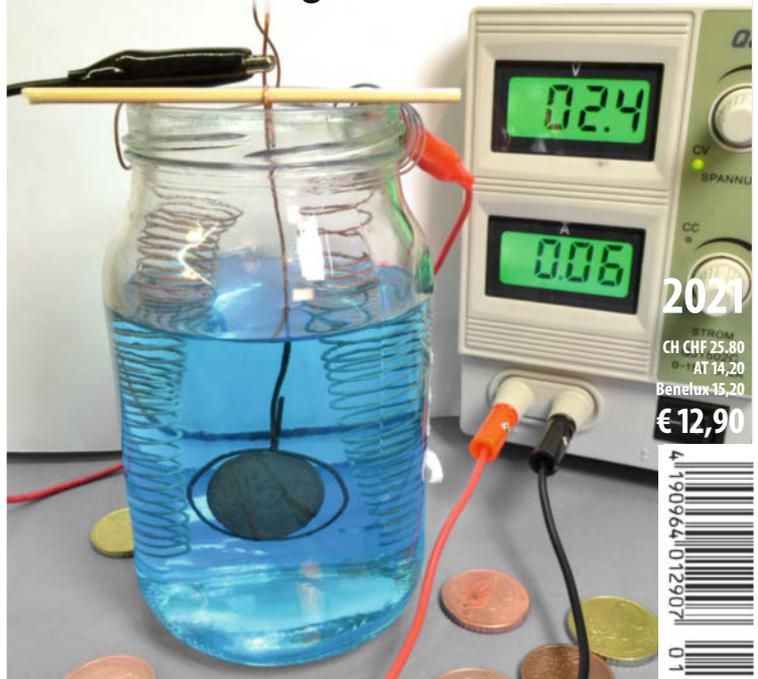
Handwerk

- Präzise körnen und bohren
- Richtig sägen und feilen
- Gewinde selber schneiden



Workshops

- Metall treiben
- Biegen mit der Maschine
- Aluminium gießen
- Oberflächen galvanisieren



2021
 CH CHF 25.80
 - AT 14,20
 Benelux 15,20
 € 12,90



Make: Entertainment ► Show

29. 11. 2021

19:00-21:00 Uhr

live auf  YouTube und 

Cyber Monday: Sichere dir spezielle Make-Angebote während der Live-Show

Mega Unterhaltung und Live-Kontakt mit der Make-Redaktion

Das darfst du auf keinen Fall verpassen!

Wir halten dich auf dem Laufenden:

maker-faire.de

SEI
KOSTENLOS
DABEI!



AngeloBlak / Shutterstock.com

Zukunftspläne (mit)schmieden

Vor genau einem Jahr brachten wir unser Make-Sonderheft *Loslegen mit Holz* heraus – das war für uns ein echtes Experiment, weil wir ja sonst eher elektroniklastig sind. Erfreulicherweise kam es aber so gut an, dass viele gleich den Wunsch äußerten, das nächste Sonderheft solle ganz ähnlich werden, sich aber um die Arbeit mit Metall drehen. Das haben wir gerne aufgenommen und dieser Wunsch geht mit diesem Heft in Erfüllung.

Vor einem Jahr zeichnete sich allerdings noch etwas – eher unerwartetes – ab. Im Editorial hatte ich damals geschrieben: „Weder ich noch jemand anderes aus der Make-Redaktion oder unserem Autorenstamm steckt so tief im Thema drin, um Ihnen [...] angemessen zu zeigen, wie man am besten mit Holz arbeitet.“ Böse Fehleinschätzung, da hätte ich besser mal wirklich unseren kompletten Autorenstamm vorher gefragt, denn es meldeten sich hinterher doch einige, die zum Holzheft das eine oder andere hätten beisteuern können – und wollen.

Aus diesem Fehler haben wir gelernt und im Vorfeld dieses Hefts wirklich alle* angemailt, die schon mal etwas für die *Make* oder den Vorgänger *c't Hacks* geschrieben haben. Die Resonanz war überwältigend – und wir waren auch überrascht, wie viele unserer Autoren eine einschlägige Ausbildung in Sachen Metall (bis hin zum Meisterbrief) absolviert oder Nachwuchs-Fachkräfte in der Metallbearbeitung ausgebildet haben.

Sagen Sie uns Ihre Meinung!
mail@make-magazin.de

Nicht nur in dieser Hinsicht war die Arbeit an diesem Heft auch für die Make-Redaktion sehr lehrreich; wir wissen jetzt auch alle persönlich mehr über Metallverarbeitung als vorher. Deshalb möchten wir uns an dieser Stelle noch mal ganz herzlich bedanken bei allen, die Vorschläge für dieses Heft geschickt haben, und ganz besonders bei allen, die am Ende als Autoren zu dieser Ausgabe beigetragen haben. Das eine oder andere Manuskript zum Thema Metall steht sogar noch aus, wir werden das Thema aber auch in den weiteren regulären Make-Ausgaben behandeln.

Apropos weitere Ausgabe: Nächstes Jahr um diese Zeit steht wieder ein Make-Sonderheft an. Ein Thema steht derzeit noch nicht fest, aber wir würden gerne Ihre Meinungen und Wünsche dazu hören. Also, was soll 2022 die Reihe von *Holz* und *Metall* fortsetzen? *Loslegen mit Stein*, mit Kunststoff oder lieber mit Chemie? Sollen wir lieber was zu Mechanik oder zu Food-Hacks machen? Oder ganz was anderes? Wir freuen uns über Ihre Rückmeldung und Ihre Ideen – und auch immer über Manuskriptvorschläge.

Und jetzt: Viel Spaß beim *Loslegen mit Metall!*

Peter König

Peter König

* fast alle: Ein paar Mail-Adressen aus unserer Autoredatenbank funktionierten leider nicht mehr.

Inhalt

Handwerk

Ein wenig Übung ist schon nötig, wenn Ihr Projekt makellos gelingen soll. Es müssen ja nicht gleich anstrengende Lehrjahre in einem Handwerksbetrieb sein, aber ohne grundlegende Fertigkeiten wie Sägen, Feilen, Ankörnen und Bohren kommen Sie beim widerspenstigen Werkstoff Metall nicht allzu weit.

- 30** Sägen und Feilen
- 38** Bohren in Metall
- 44** Gewinde schneiden



Yuliya D'yakova / Shutterstock.com

Leichter Einstieg

Natürlich sind vielen Makern Werkstoffe wie Kunststoff oder Holz sympathischer, doch eigentlich gibt es keine Ausrede, sich auch mit der Bearbeitung von Metallen auseinanderzusetzen. Praxisgerechte Profile, kleinere Alu- und Stahlbleche nebst den nötigen Werkzeugen finden sich garantiert auch im Baumarkt in Ihrer Nähe.

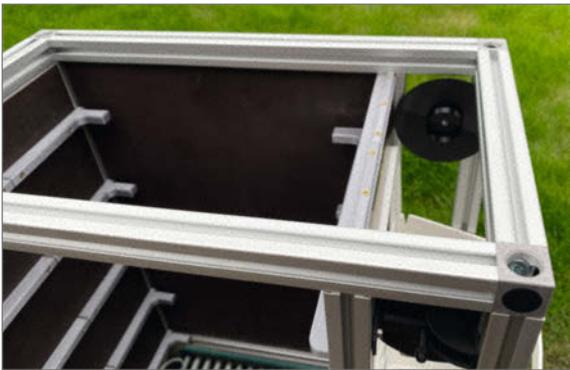
- 10** Metallbaukasten aus dem Baumarkt
- 16** Verbinden von Metallelementen
- 52** Kleine Trickkiste

- 3** Editorial
- 6** Know-how: Metalle für Maker
- 10** **Übersicht: Metallbaukasten aus dem Baumarkt**
- 16** **Know-how: Verbinden von Metallelementen**
- 23** Lieblingswerkzeug: Spitzbohrer als Zentrierhilfe
- 24** Know-how: Metalle kleben – aber richtig!
- 28** Tipps & Tricks: Kintsugi-Reparatur
- 30** **Know-how: Sägen und Feilen**
- 38** **Workshop: Bohren in Metall**
- 44** **Workshop: Gewinde schneiden in Metall**
- 52** Know-how: Kleine Trickkiste
- 60** Make Projects: Stahl-Challenge – Die Gewinner
- 62** Community-Projekte: Der Ein-Wurst-Grill
- 64** Community-Projekte: Der Brassberry
- 66** **Workshop: Treiben – Metalle formen mit Hammer und Punzen**
- 72** Workshop: Metall ganz oberflächlich
- 78** **Projekt: Galvanisieren auf Maker-Art**
- 84** **Know-how: Leichter bauen mit Profilen**

Projekte

Frisch ans Werk: Mit den Grundlagen aus diesem Heft bauen Sie einen praktischen Werkstattwagen aus Systemprofilen oder ein Tandem aus Gebraucht-Fahrrädern. Unser Brillengestell aus Federstahl zum Recyceln vorhandener Gläser fordert zudem Ihre feinmotorischen Fähigkeiten heraus.

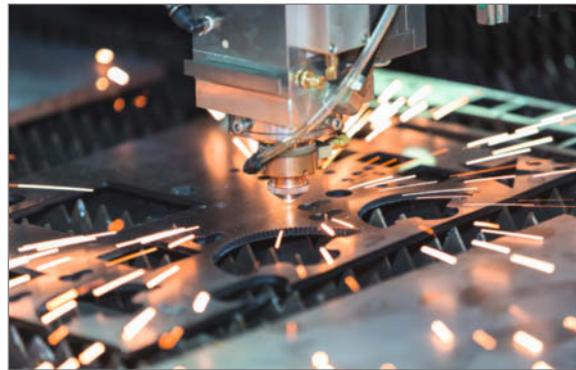
- 84** Leichter bauen mit Profilen
- 92** Brille aus Federstahl
- 108** Upcycling: Tandem im Eigenbau



(Wie) vom Profi

Wenn die Ansprüche wachsen und es der Platz im Bastelkeller erlaubt, darf es auch eine etwas größere Maschine sein – etwa eine Vorrichtung zum exakten Biegen von Blechen, eine Drehbank oder gar eine Fräsmaschine. Aufwendige Arbeiten kann man aber durchaus preiswert auch als Auftrag an einen Dienstleister vergeben.

- 130** Blech biegen wie die Profis
- 142** Drehmaschinen und Fräsen
- 152** Bleche und Platten per CNC-Auftrag



Aumm Graphixphoto/Shutterstock

- 90** Lieblingswerkzeug: Schaber
- 92** Projekt: Brille aus Federstahl
- 98** Know-how: Praxis mit der Flex
- 104** Know-how: Einstieg ins Schweißen
- 108** Projekt: Upcycling – Tandem im Eigenbau
- 116** Lieblingswerkzeug: Flexibles Arbeitslicht
- 118** **Workshop: Heavy Metal light – Aluminium selbst gießen**
- 128** Lieblingswerkzeug: Cuttermesser mit Abbrechklinge
- 130** **Workshop: Blech biegen wie die Profis**
- 136** Know-how: 3D-Druck mit Metall
- 142** Know-how: Metall und Drehmaschine
- 148** Know-how: Metalle fräsen
- 152** **Know-how: Bleche und Platten per CNC-Auftrag**
- 158** Mehr zum Thema: Bücher, YouTube und Web
- 162** Impressum, Nachgefragt

Themen von der Titelseite sind rot gesetzt.

Workshops

Blechbearbeitung ist nicht Bohren und Feilen allein: Spezielle Teile treibt man besser mit Hammer und Punzen in die richtige Form. Dem mutigen Maker zeigen wir außerdem, wie man fast beliebig geformte Teile aus Aluminium selbst gießen kann – wenn es darauf ankommt, sind die um ein Vielfaches stabiler als der beste 3D-Druck.



FreeProd33/Shutterstock.com

- 66** Metalle formen mit Hammer und Punzen
- 78** Galvanisieren auf Maker-Art
- 118** Heavy Metal light – Aluminium selbst gießen

Metalle für Maker

Ein kurzer Überblick über die technischen Werkstoffe, die Ihnen im Verlauf des Heftes noch öfter begegnen werden, und ihre Eigenschaften.

von Achim Bertram



Angeschliffener Erzbrocken aus dem Rammelsberg bei Goslar am Harz. Hier wurden über 1000 Jahre nahezu ununterbrochenen Bergbaus bis 1988 Buntmetallerze abgebaut. Der Brocken enthält unter anderem Kupferkies, Bleiglanz, Zinkblende und Schwespat.

Ein Kennzeichen von Metallen ist, dass sie stets negativ geladene Elektronen abgeben und so positiv geladene Ionen bilden. Durch die elektrostatischen Kräfte zwischen den Metall-Ionen und den freien Elektronen sind Metalle gute Leiter für elektrischen Strom. Außerdem ergibt sich aus dieser Bindung auch ein besonderes Gefüge. Im festen Zustand sind Metalle Kristalle – die Metall-Ionen sind dicht gepackt und geometrisch gleichmäßig angeordnet. Verflüssigt verlieren sie diesen kristallinen Aufbau und werden zu amorphen Stoffen, deren Atome noch aneinander gebunden, aber dabei ungeordnet sind. Wie die Kristallgitter jeweils angeordnet sind, ist für die weiteren Stoffeigenschaften von Bedeutung: Dichte, Schmelztemperatur, Festigkeit, Streckgrenze, Bruchdehnung und Härte, um nur die wichtigsten zu nennen.

Einige Metalle wie Aluminium, Kupfer oder Zink werden oft in ihrer reinen Form, meist 99,5 Prozent Reinheit, verwendet. Um jedoch bestimmte Eigenschaften zu verbessern oder neue Eigenschaften zu bekommen, werden manche Metalle mit anderen Metallen oder Nichtmetallen vermischt. Diese Legierungen sind in der Regel Verbindungen auf kristalliner Ebene: Die Atome des beigefügten Stoffes lagern sich in den Zwischenräumen des Kristallgitters an oder ersetzen einzelne Metallatome. Legierungen von Metallen mit anderen Metallen sind zum Beispiel Messing, das aus Kupfer und Zink besteht, Bronze – aus Kupfer und Zinn – und mit Kupfer und Magnesium zu Duraluminium verändertes Aluminium.

Bekanntester Vertreter der Nichtmetallelegierungen ist der Stahl, in dem Eisen und Kohlenstoff stecken. Obwohl Stahl an sich schon eine Legierung ist, spricht man hier von unlegiertem Stahl. Erst wenn weitere Metalle zulegiert werden, zwischen eins und fünf Prozent Legierungselemente, bekommt man niedriglegierten Stahl. Bei mehr als fünf Prozent Beimischung ist von hochlegiertem Stahl die Rede. Legierte Stähle haben unterschiedliche Eigenschaften und werden zur weiteren Optimierung oft noch einer Wärmebehandlung unterzogen. Einen Einblick in den Härteprozess geben wir in der Trickkiste ab Seite 52.

Unlegierte Stähle werden meist als Baustähle für den Maschinen- oder Stahlbau in Form von Profilen, Blechen und ähnlichem hergestellt. Neben den Baustählen sind noch die unlegierten Qualitätsstähle mit besonderem Reinheitsgrad, also wenig Phosphor- und Schwefelgehalt, und die unlegierten Edelstähle zu erwähnen, welche einen noch geringeren Gehalt an nichtmetallischen Bestandteilen aufweisen.

Edelstahl wird umgangssprachlich oft mit *rostfreiem Stahl* gleichgesetzt. Das ist irreführend und falsch, denn auch Edelstähle können rosten. Rostfreier Stahl ist mit mindestens 12 Prozent Chrom und weiteren Stoffen wie

Kurzinfo

- » Aufbau und Eigenschaften von Metallen
- » Hilfreiche Werkstoffkennwerte
- » Metalle und Legierungen für Maker

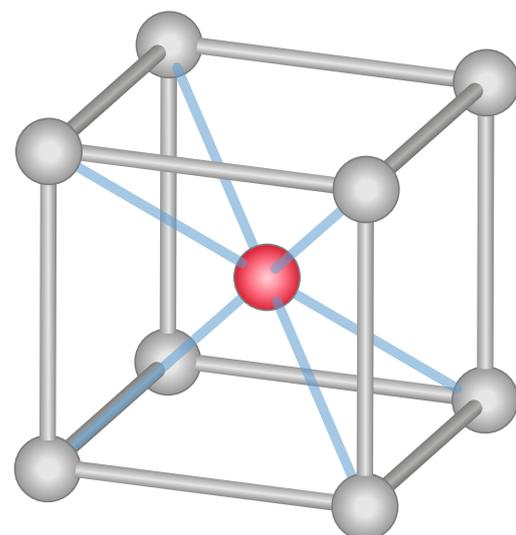
Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/x35w

Nickel, Mangan und Molybdän hochlegiert. Durch die Reaktion des Chroms mit dem Sauerstoff der Luft entsteht Chromoxid. Es bildet eine dünne, aber dichte und stabile Schutzschicht auf der Oberfläche, die Passivschicht. Sie verhindert, dass Sauerstoff mit Eisen reagiert und Rost bildet. Wenn die Oberfläche beschädigt wird, entsteht an den freigelegten Stellen direkt eine neue Passivschicht. Trotzdem spricht man richtiger von rostträgem Stahl, da durch den Einfluss von Feuchtigkeit, Säuren und Salz schließlich doch Rost entstehen kann. So löst sich selbst rostfreier Stahl in 34%iger Salzsäure mit der Zeit völlig auf.

Qual der Wahl

Um für einen bestimmten Zweck den passenden Werkstoff auswählen zu können, sollte man die unterschiedlichen Eigenschaften kennen. Dieser Artikel zeigt im Überblick, welche Metalle und Legierungen für die Anwendung durch den Heimwerker geeignet sind. Insbesondere schauen wir auf die sogenannten *Halbzeuge* wie Profile, Stangen, Rohre und Platten oder Bleche. Neben den Stoffeigenschaften sollte man bei der Entscheidungsfindung noch die geplante Weiterverarbeitung kennen: Sollen etwa große Teile gebogen oder mittels Eckverbindern aneinander gefügt werden?

Im ersteren Fall benötigen wir einen Stoff, der mechanisch gut verformbar ist, sprich eine



Kubische Kristallstruktur mit einem eingelagerten Fremdatom

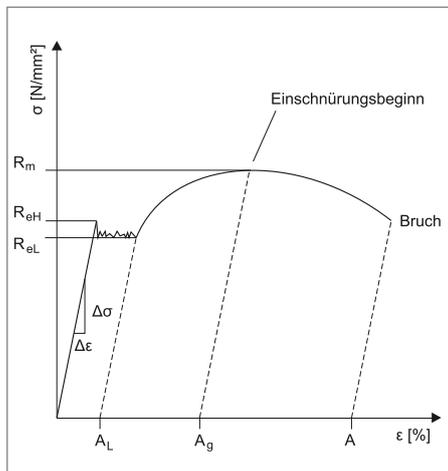
gute Dehnbarkeit aufweist. Die spezifischen Eigenschaften und Fachbegriffe hierzu sind die Streckgrenze, Dehngrenze, die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung. Die *Streckgrenze* R_e bezeichnet den Wert, ab dem bei Belastung die bleibende Verformung beginnt. Sie kann ausgeprägt, also sehr abrupt und eindeutig messbar, oder gleitend und damit schlecht bestimmbar sein. Bei Werkstoffen ohne ausgeprägte Streckgrenze wird daher als Ersatz die *0,2%-Dehngrenze* $R_{p,0.2}$ genutzt, die an-

Metall-Eigenschaften

Stoff	Symbol	Dichte ρ (kg/dm ³)	Schmelztemperatur Θ (°C)	Wärmeleitfähigkeit λ (W/(m·K))
Reine Metalle				
Aluminium	Al	2,7	660	204
Blei	Pb	11,34	328	35
Eisen	Fe	7,86	1538	81
Kupfer	Cu	8,92	1085	384
Magnesium	Mg	1,74	650	172
Zink	Zn	7,14	420	113
Zinn	Sn	7,3	232	66
Legierungen				
Messing		8,4	920	120
Stahl unlegiert		7,85	~1500	~50

Ausgesuchte Werkstoffkennwerte

Stoff/ Legierung	Bezeichnung	Handels- name	Zugfestig- keit R _m (MPa)	Streck- grenze Re (MPa)	Bruch- dehnung A (%)
Aluminium	Al99,5		40 – 80	20 – 40	~25
Alu-Legie- rung	AlCuMg1	Dural	380 – 400	240 – 270	10 – 12
Kupfer	E-Cu99,9		200 – 250	40 – 80	>40
Kupfer (kalt- verformt)			<350	<320	<5
Zink		Titanzink	130 – 170	100 – 110	35 – 40
Messing	CuZn37	Ms63	290 – 340	200 – 240	43 – 50
unlegierter Baustahl	S235JR	(St37-2)	360 – 440	235	~26
Automaten- stahl	9S20k		~360	~220	~25
Tiefziehblech	DC-01	(St1203)	270 – 410	140 – 280	~28
nichtrost- ender Stahl	X5CrNi18-10	V2A	510 – 750	190 – 230	35 – 45
Federstahl	38Si7		1080 – 1370	~1030	~6



Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit ausgeprägter Streckgrenze

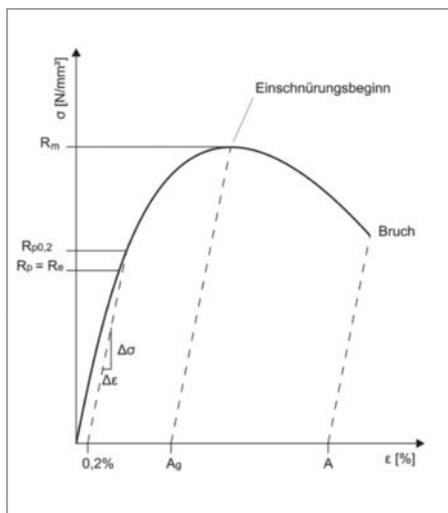


Diagramme: freiesin in der Wikipedia auf Deutsch (CC BY-SA 3.0)

Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit kontinuierlichem Fließbeginn und eingetragener 0,2%-Dehngrenze

gibt, ab welcher Belastung die bleibende Dehnung 0,2 Prozent beträgt.

Die maximale mechanische Zugspannung, die ein Werkstoff aushalten kann, bevor er nach Querschnittseinschnürung bricht, ist die **Zugfestigkeit R_m**. Mit der **Bruchdehnung** bezeichnen wir schließlich die Verformungsfähigkeit im plastischen Bereich bis zum Bruch. Bis auf die Bruchdehnung, die in Prozent gerechnet wird, werden die Werte Megapascal (MPa) oder auch N/mm² angegeben. Ein Megapascal entspricht dabei einem Newton pro Quadratmillimeter. Ausgesuchte Eigenschaften und Stoffwerte sind in den Tabellen zusammengefasst.

Die angegebenen Kennwerte sind Richtwerte und beziehen sich auf Bleche und dünnwandige Profile. Bezeichnungen wie *X5CrNi18-10* für nichtrostenden Stahl geben Aufschluss über die genaue Zusammensetzung der Werkstoffe: Die Ziffern kennzeichnen die Reinheit eines Elements in Prozent bzw.

die jeweiligen Legierungsanteile in Prozent. Außerdem sind die umgangssprachlichen Bezeichnungen oder Handelsnamen der Hersteller angegeben. So ist etwa nichtrostender Stahl auch als *Cromargan*, *Nirosta* oder *V2A* (Versuchsschmelze-2-Austenit) bekannt. Auf anschauliche Weise werden diese Kennwerte durch Spannungs-Dehnungs-Diagramme dargestellt. Wer sich mit Metallen eingehender beschäftigt, wird sie häufiger sehen. Sie zeigen, wie ein Werkstoff auf Zug reagiert, mit der Dehnung ϵ auf der X- und der Spannung σ auf der Y-Achse aufgetragen. Hier ist das Verhalten eines „harten“ und eines „weichen“ Stoffes im Vergleich zu sehen.

Bei steigender Spannung ändert sich die Länge einer Probe proportional zur eingebrachten Kraft bis zur Streckgrenze R_e . Das ist der elastische Bereich. Bei weiter steigender Spannung beginnt das Material sich bleibend zu verformen. Das ist der plastische Bereich. Bei Überschreitung der Zugfestigkeit R_m erfolgt nach Einschnürung des Querschnitts der Bruch. Die in der Abbildung gezeigte ausgeprägte Streckgrenze ist typisch für unlegierten Baustahl wie z.B. S235JR. Auch manche Aluminium- und Kupferlegierungen zeigen ähnliches Verhalten, nur ist der elastische Bereich dann weniger steil und der plastische Bereich niedriger. Da die Streckgrenze bei vielen Werkstoffen nicht deutlich erkannt wird, verwendet man stattdessen die 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$. Die bleibende Verformung beträgt 0,2 Prozent der Ausgangslänge der Probe. Nach dem Überlastungsbruch hat sich die Probe um den Wert A% bleibend verlängert. Das Verhalten in der Abbildung ist etwa typisch für Tiefziehstähle.

Arbeitstechniken

Die Bearbeitung durch Sägen oder Scherschneiden und Feilen mit Heimwerkermitteln, die wir im weiteren Verlauf des Heftes vorstel-



Aus verschweißten Profilen lassen sich einfache schicke Möbel bauen.

Bild: Moritz Metz

len, ist relativ einfach. Mittlerweile gibt es sogar bezahlbare Plasma-Schmelzschneidgeräte für den Heimwerker. Aber Achtung! Beim Plasmaschneiden werden feinste Partikel freigesetzt, die je nach Werkstoffzusammensetzung toxisch bis krebserregend sein können. Beim Arbeiten mit Chrom-Nickel-Stahl entstehen etwa krebserregende Chrom(VI)-Verbindungen. Weitere Arbeitsschritte sind Bohren und Gewindeschneiden, Biegen, Abkanten oder Kragenziehen.

Um Blechteile und Profile zusammenzufügen, können sie zunächst verschraubt werden. Schraubverbindungen können leicht wieder gelöst werden. Beachten sollte man dabei, dass es bei unterschiedlichen Werkstoffen zur Kontaktkorrosion kommen kann, wenn etwa verzinkte Stahlbleche mit Edelstahlschrauben verbunden werden. Ferner gibt es „unlösbare“ Fügetechniken wie Nieten, Lötten und Kleben. Sie sind nur durch Zerstörung der Fügemitel wieder lösbar.

Soll gelötet werden, sind Schmelzpunkt und Wärmeleitfähigkeit der Werkstoffe zu beachten. Beim Lötten von dünnem Zinkblech (0,7mm dick) ist bei zu viel Wärme schnell ein Loch gebrannt. Bei größeren Kupferblechen muss hingegen viel Wärme zugeführt werden, da Kupfer die Wärme schnell weiterleitet. Hier verhält sich Weißblech besonders gutmütig. Die Oberfläche nimmt das Lot gut an und der Stahl leitet die Wärme nur langsam ab. Man muss der Lötstelle jedoch Zeit zum erschütterungsfreien Erstarren geben. Ebenso gut lassen sich Messingteile lötten. Lötverbindungen untereinander und mit anderen Metallen sind problemlos möglich.

Ausführung

Bis jetzt habe ich meist Bleche erwähnt. Spezielle Ausführungen von Blechen sind *Lochbleche* als Basis für Montagen und *variable Aufbauten* und *Streckmetall* als Lüftungsgitter oder Schutzabdeckung beweglicher Teile. Die Stoffeigenschaften gelten für Profile, Stangen und Rohre natürlich genauso. Allerdings werden diese Teile kaum spanlos umgeformt, sondern in der Regel von der Stange abgelängt und durch Feilen und Bohren weiter bearbeitet.

Werkstoffe wie Zinn, Blei, Zink, Aluminium oder Magnesium und ihre Legierungen werden bei industrieller Fertigung als Massenartikel oft durch Gießen verarbeitet, als Druckguss, Schleuderguss, aber auch Schwerkraftguss. Der relativ niedrige Schmelzpunkt dieser Metalle sollte jedoch nicht dazu verleiten, diese Techniken im Bastelkeller zu praktizieren. Der Umgang mit hohen Temperaturen im Allgemeinen und flüssigen Metallen im Besonderen erfordert spezielle Fachkenntnisse und höchste Anforderungen an die Arbeitssicherheit. Darüber hinaus können die dabei entstehenden Metaldämpfe giftig oder gar krebserregend sein. (Eine Ausnahme machen wir für den Aluminiumguss ab Seite 118).

erregend sein. (Eine Ausnahme machen wir für den Aluminiumguss ab Seite 118).

Bezugsquellen

Erhältlich ist Halbzeug natürlich im Einzel- und Onlinehandel. Darüberhinaus sind örtliche

Handwerksbetriebe wie Dachdeckereien, der Fassadenbauer, aber auch Wertstoffhöfe oft hilfreich. Bleche und Profile in Heimwerkergröße und -menge fallen dort als Reste zur Wiederverwertung an. Mit etwas Glück kann man so das gesuchte Stück zum Schrottpreis erwerben. —hch

Klassische Werkstoffe

Aluminium

Wenn gebogen werden soll, ist Aluminiumblech aus Reinaluminium (Al99,5) die erste Wahl. Die Bleche werden in verschiedenen Dicken und Formaten, sowohl unbearbeitet mit einer natürlichen Oxidhaut, als auch farbig eloxiert in Baumärkten angeboten. Für die spanabhebende Bearbeitung, etwa durch Bohren, Sägen oder Feilen ist der Werkstoff jedoch eher schlecht geeignet, da er bei Wärmeentwicklung weich und „schmierig“ wird.

Duraluminium

Sind viele Bohrungen oder gar Schlitze und Aussparungen anzubringen, sollte stattdessen eine Aluminium-Legierung wie *Dural* (AlCuMg) zur Anwendung kommen. Dieses Material ist aufgrund der höheren Festigkeit und geringeren Dehnbarkeit wiederum schlechter zu biegen. In diesem Fall fertigt man mehrere Einzelteile und fügt sie mit geeigneten Mitteln zusammen.

Baustahl

Ein Werkstoff, der sowohl ausreichend dehnbar als auch gut spanend bearbeitbar ist, ist Stahlblech. Für unsere Zwecke sind das unlegierte, kaltgewalzte Feinbleche unter 3mm Dicke. Durch das Kaltwalzen wird eine zunderfreie Oberfläche und bessere Umformbarkeit bei höherer Festigkeit erreicht. Stahlbleche gibt es naturbelassen (leicht geölt) oder verzinkt als Weißblech sowie verzinkt, verkupfert, vernickelt, lackiert, emailliert oder mit Kunststoff oder Pulver beschichtet. Damit wird seiner Neigung zur Korrosion entgegengewirkt. Durch das Legieren mit geringen Mengen Blei oder Schwefel wird der sogenannte Automatenstahl auf besonders gute Zerspanbarkeit optimiert.

Messing

Beinahe ebenso gut bearbeitbar ist Messingblech wie etwa CuZn37, also Kupfer

mit 37 Prozent Zink legiert. Aufgrund seines hohen Preises wird Messingblech eher selten für große Flächen verwendet. Es eignet sich aber für kleinere Bauteile wie Befestigungswinkel oder ähnliches. Messing bedarf keines besonderen Korrosionsschutzes und lässt sich sehr gut lötten. Neben Aluminium und Stahl ist auch Messing in vielerlei Form als Profil oder Rohr erhältlich.

Die Exoten

Der Vollständigkeit halber sollen noch Kupferblech und Zinkblech kurz betrachtet werden. Sie lassen sich gut biegen und lötten, aber schlecht bohren – besonders Kupfer – und sind eher auf Spezialgebieten der Bastelkunst wie dem technischen Modellbau anzutreffen. Durch Kaltumformung lassen sich für Kupferbleche höhere Werte für Zugfestigkeit und Streckgrenze erreichen – durch Glühen können die Ausgangswerte wiederhergestellt werden.

Zink ist in reiner Form spröde und brüchig und wird wegen seines niedrigen Schmelzpunktes von 420 Grad Celsius als Druckguss (ZnAlCu1) verarbeitet – etwa für Spielzeug. Neben seiner Bedeutung als Legierungsbestandteil in Messing kommt es beim Verzinken von Stahl und mit geringen Mengen von Titan und Kupfer legiert als Baumaterial an Dächern und Fassaden zum Einsatz.

Mit Zinn und Blei verhält es sich ähnlich. Zinn ist kein Werkstoff im Sinne von Halbzeug, sondern Bestandteil vieler Legierungen wie Bronze. Er wird zum Beschichten, dem Verzinnen, verwendet und ist Hauptbestandteil von Weichloten wie zum Beispiel dem bekannten Lötendraht Sn63Pb37. Aus Gesundheits- und Umweltschutzgründen sollten bleihaltige und cadmiumhaltige Lote aber nur noch in Ausnahmefällen verwendet werden. Sie werden ersetzt durch Alternativen wie das bleifreie Lot Sn99Ag0,3Cu0,7.

Metallbaukasten aus dem Baumarkt

Kleine Rahmenkonstruktionen aus Metall sind in der Elektronik oft sehr hilfreich, wenn es zum Beispiel um die Montage von Platinen geht. Doch nicht jeder hat das oftmals teure und sperrige Werkzeug zur professionellen Metallbearbeitung im Hobbykeller parat. Hier ist ein Weg, wie es einfacher geht.

von Kurt Diedrich



Mit dem Märklin-Metallbaukasten aus meiner Kindheit gelangen mir die schönsten und größten Brücken und Türme mit dem Einsatz von stabilen, gelochten Winkelschienen und Blechplatten. Ein Metallbaukasten ist jedoch teuer und heutzutage schwer zu beschaffen, und zur Konstruktion von Elementen, die für immer in einem Gehäuse verschwinden, ganz einfach zu schade. Doch kein Problem: Das in Baumärkten vorhandene Angebot an Montage-Elementen aus Alu und Stahl wurde inzwischen so vielfältig erweitert, dass es viele Teile eines Metallbaukastens problemlos ersetzen kann. Auch die Preise sind meines Erachtens relativ moderat. Universell verwendbare Aluschienen, -leisten, -rohre und -platten werden meist in Längen von einem und außer Platten auch in zwei Metern angeboten. Nur die in den Baukasten-Teilen vorhandenen Löcher muss man an den Verbindungspunkten natürlich selbst bohren. Dabei werden aber keine allzu großen handwerklichen Anforderungen gestellt.

Mithilfe des Kurzinfo-Links finden Sie die Online-Adressen zu den Metallprofil-Angeboten der gängigen Baumärkte. Dort können Sie checken, ob in der Filiale in Ihrer Nähe das gewünschte Teil vorrätig ist, bevor Sie sich eventuell umsonst auf den Weg machen.

Beispiel: Montageplattform

Neben der in meinem Gehäuse-Artikel (siehe Make 5/21) bereits ausführlich beschriebenen Verwendung als schmale, lange Frontplatte verwende ich Alu-Schienen häufig auch zum Bau von Rahmen mit einer Alu-Deckplatte, um darauf mehrere Platinen horizontal und nebeneinander zu montieren. Diese Art der Montage hat sich beim Bau meiner selbst entwickelten Synthesizer bestens bewährt, da die Platinen auch während des Betriebs zwecks Abgleich und eventueller Fehlersuche gut zugänglich sind. Die fertig montierte Einheit lässt sich bequem transportieren oder in ein vorgefertigtes Holzgehäuse einbauen – so wie früher zum Beispiel das Chassis eines alten Röhrenradios.

Sägen

Schneiden Sie die Alu-Profile mit einer Metallsäge und einem Schraubstock passend. Zeichnen Sie die Sägelinie mit einem Bleistift und einem Lineal mit rechtem Winkel vor, denn auf das Augenmaß ist auch bei rechten Winkeln kein Verlass. Beachten Sie auch, dass die Aluleiste durch Schnittverlust etwa einen Millimeter kürzer werden kann, wenn man die Säge auf der falschen Seite der gezeichneten Linie oder mitten auf der Linie ansetzt. Hier machen Übung, Erfahrung und Fingerspitzengefühl den Meister. Feilen Sie die Sägekanten anschließend mit einer breiten, flachen Metallfeile glatt.

Kurzinfo

- » Bearbeitungsmöglichkeiten fertiger Metallprofile
- » Tipps zum Bau von Platinen-Halterahmen
- » Zierrahmen mit Lüftungsgitter

Mehr zum Thema

- » Kurt Diedrich, DIY-Gehäuse schnell gebaut, Make 5/21, S. 112
- » Heinz Behling, Gewinde einfach nieten, Make 3/20, S. 114
- » Kurt Diedrich, Analoger Synthesizer nach Mini-Moog-Vorbild, Make 5/17, S. 88

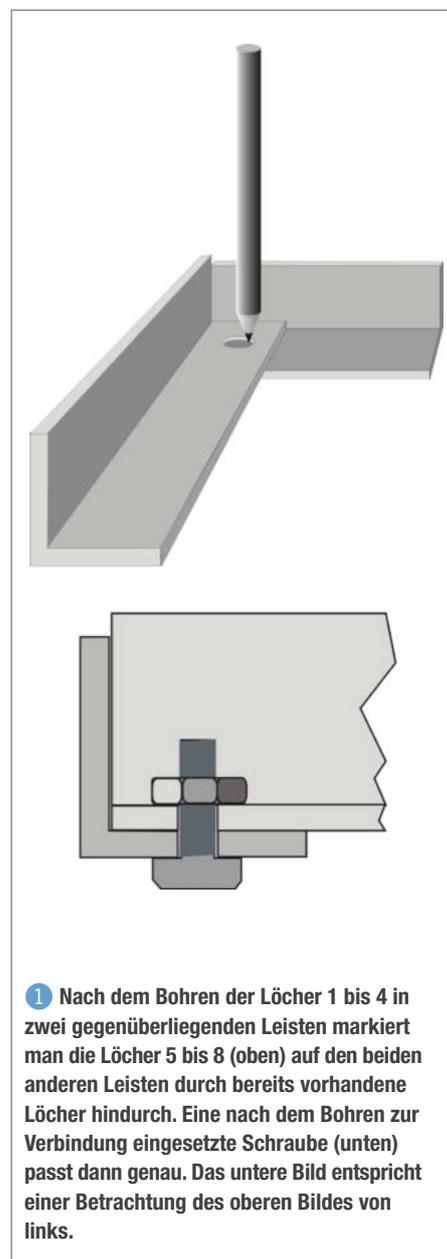
Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xm9b

Bohren

Beim Bohren der vier Rahmen-Elemente kann man viele Fehler hinsichtlich der richtigen Position der Löcher machen. Bei einem Metallbaukasten sind die Löcher extrem genau angeordnet. Wie man Löcher an exakten Positionen bohrt, zeigt der Körner und Bohren-Artikel auf Seite 38. Bei Winkelprofilen hilft außerdem der folgende Trick, um deckungsgleiche Bohrungen zu erreichen: Wir bohren zuerst die vier Löcher, die für zwei gegenüberliegende Schienen notwendig sind, und verwenden diese dann als Schablone für die restlichen vier Löcher (1 oben).

Messen Sie die Stelle, an der die Löcher der ersten beiden Schienen gebohrt werden sollen, genau aus und markieren Sie diese mit einem spitzen Bleistift durch ein Fadenkreuz. Die Löcher sollten sich möglichst in der Mitte der Außenfläche befinden. Auf jeden Fall müssen sie so weit vom Rand der angewinkelten Seite entfernt sein, dass noch Platz zum Drehen der innenliegenden M3-Mutter vorhanden ist (1 unten). Die Entfernung vom Schienen-Ende sollte der halben Schienenbreite entsprechen. Bearbeiten Sie die Mitte der eingezeichneten Kreuze vor dem Bohren mit einem Körner (siehe Artikel auf Seite 38). Nun können Sie die vier ersten Löcher mit einem für M3-Schrauben passenden Bohrer anbringen. Verwenden Sie möglichst eine Standbohrmaschine und achten Sie darauf, dass der Bohrer trotz vorheriger Körnerbearbeitung nicht am Ende noch verrutscht. Wenn der Bohrer ein klein wenig größer als der Durchmesser der M3-Schraube ist, ergibt sich noch ein geringer Spielraum zum Nachjustieren der Schienen.

Ordnen Sie die vier Teile anschließend auf einer ebenen, rutschfesten Unterlage präzise so an, wie sie später verbunden werden sollen, und sorgen Sie dafür, dass die bereits gebohrten Teile oben liegen (1 oben). Verwenden



1 Nach dem Bohren der Löcher 1 bis 4 in zwei gegenüberliegenden Leisten markiert man die Löcher 5 bis 8 (oben) auf den beiden anderen Leisten durch bereits vorhandene Löcher hindurch. Eine nach dem Bohren zur Verbindung eingesetzte Schraube (unten) passt dann genau. Das untere Bild entspricht einer Betrachtung des oberen Bildes von links.



2 Verbindung der Leisten



3 Fertiger Rahmen

Sie nun die vier bereits existierenden Löcher als Schablone, um mit einem spitzen Stift die noch fehlenden Löcher auf den beiden anderen, darunter liegenden Schienen zu markieren. Das ergibt zunächst einen Kreis, dessen Mitte sich in diesem Fall auch gut per Augenmaß ermitteln und durch ein Kreuz markieren lässt. Bohren Sie nun die vier noch fehlenden Löcher wie oben beschrieben, und entfernen Sie die Bohrgrate mit einer Metallfeile. Schrauben Sie nun die Teile so wie in 2 gezeigt zusammen.

Auch hier ist allergrößte Sorgfalt erforderlich: Falsch platzierte Löcher in den unten liegenden Schienen (zum Beispiel durch Verrutschen der Schiene beim Anzeichnen) können dazu führen, dass die Teile nicht richtig zusammen passen und der Rahmen zum Trapez mutiert. Damit sich die Muttern beim Schrauben nicht mitdrehen, empfiehlt es sich, sie mit einem M3-Steckschlüssel festzuhalten. Überprüfen Sie vor dem endgültigen Festziehen der Schrauben mit einem Winkelmesser, ob der Rahmen auch wirklich rechteckig ist und kein Parallelogramm bildet 3.

Deckplatte

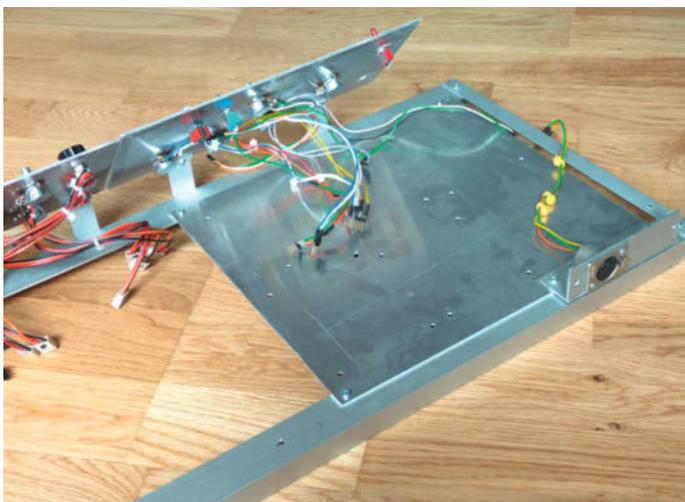
Nun fehlt nur noch die Alu-Deckplatte, die mindestens eine Stärke (Dicke) von 1,5mm aufweisen sollte und mit einer Stichsäge mit eingesetztem Metall-Sägeblatt auf die passende Größe gebracht werden kann. Mit etwas Übung ist es mir gelungen, sogar ohne Anschlag entlang einer vorgezeichneten Linie zu sägen. Kleine Unebenheiten habe ich mit einer Metallfeile korrigiert. Wer keine Erfahrung im Umgang mit einer Stichsäge besitzt und sich dies nicht zutraut, kann, sofern er über Kontakte zu einer Schlosserei verfügt, die Platte auch dort für wenig Geld kaufen und gleich passend zuschneiden lassen.

Verwenden Sie beim Arbeiten mit der Stichsäge auf keinen Fall ein Blech, das dünner als 1,5mm ist, da dieses durch das Auf und Ab Bewegen des Sägeblattes vor allem kurz vor dem Ende mitgerissen und verbeult werden kann. Bei größeren Frontplatten (z.B. Synthesizer-Bedienpanel) sollte die Stärke nicht kleiner als 2,5mm sein, da sich die Platten sonst durchbiegen.

Beachten Sie dazu auch die Sicherheitshinweise in diesem Beitrag. Bohren Sie die Löcher zur Befestigung (natürlich wieder nach sorgfältigem Ausmessen) in die Aluplatte und verwenden Sie diese auch wieder, wie oben beschrieben, als Schablone für die Löcher im Rahmen. Die beschriebene Konstruktion 4 lässt sich nicht nur zur Platinen-Montage verwenden. Denkbar sind auch Aufbauten, die sich nach oben in die dritte Dimension erstrecken und die hier beschriebene Platte als Basis verwenden. Der Fantasie sind keine Grenzen gesetzt.

Zierrahmen mit Ziergittern

Ich muss zugeben, dass die Herstellung des in 5 gezeigten Zierrahmens einer Lüftungsöffnung etwas knifflig war, sich länger hinzog und mindestens 50cm Abfall erzeugte, bis alles passte. Die Winkelschienen von nur wenigen Zentimetern Länge sind auf Gehrung gesägt. Das musste von Hand erfolgen, da die Stücke aufgrund der geringen Länge in der Gehrungssäge keinen Halt fanden. Hier ist allergrößte



4 Rahmen mit Deckplatte als Montagebasis für eine Reihe von Synthesizer-Platinen



5 Lüftungsöffnung mit Rahmen und Ziergitter

Sorgfalt vonnöten, denn wenn der Winkel nicht genau stimmt, entstehen hässliche, divergierende Diagonal-Spalten an den Nahtstellen zweier benachbarter, rechtwinklig zueinander verlaufender Schienen.

Außerdem muss die Länge der nach innen ragenden Teile noch individuell per Feile nachbearbeitet und angepasst werden, damit sie nicht überlappen. Die fertigen Teile wurden am Holz des Gehäuses angeklebt (mehr zum Thema Metall kleben auf Seite 24). Das an der Innenseite des Gehäuses be-

festigte Metall-Ziergitter stammt ebenfalls aus dem Baumarkt, lässt sich leicht passend schneiden und ist für Lüftungen geradezu prädestiniert. Alles in allem war das Anbringen des umrahmten Lüftungsgitters am externen Netzteil-Gehäuse 4 nicht ganz einfach, doch je öfter man sich an solche Aufgaben heranwagt, desto besser werden die Ergebnisse. Neben der Übung spielen hier auch Geduld und eine Portion Gelassenheit eine Rolle, wenn's beim ersten Mal nicht gleich klappt.

Anwendungsbeispiel Rohre

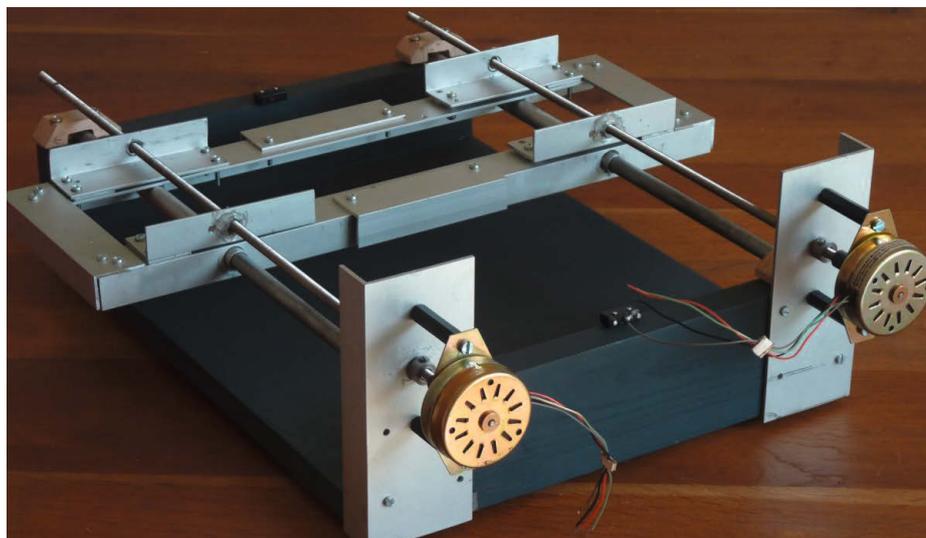
Die in verschiedenen Durchmessern erhältlichen Alu-Rohre 6 sind so gestaffelt, dass sie sich ohne nennenswertes Spiel und ohne große Reibung leicht ineinander schieben lassen.

Diese Tatsache habe ich mir beim Versuchsaufbau einer computergesteuerten Maschine zum automatischen Bohren von Platinenlöchern zunutze gemacht 7: Zwei kurze Rohre mit größerem Durchmesser, die eine Art Schlitten bilden, gleiten auf zwei langen Rohren mit geringerem Durchmesser an eine gewünschte X-Position, wobei der Antrieb über eine mit einem Schrittmotor verbundene Spindel erfolgt. Das Gerät befindet sich zum aktuellen Zeitpunkt noch in der Entwicklung.

Während die Rohrlagerung funktionierte, hat sich leider herausgestellt, dass die in Baumärkten angebotenen Gewindestäbe und die dazu passenden Muttern aufgrund ihres (für diese spezielle Anwendung) zu großen Spiels nicht für solche Aufgaben geeignet sind. Da sollte man besser zu Trapezgewindestabdlen mit entsprechenden Muttern greifen. Die findet man zuhauf zum Beispiel bei Ebay.



6 Alu-Rohre mit verschiedenen Durchmessern



7 Auf Alu-Rohren gleitender Schlitten in einem geplanten, computergesteuerten Platinenbohrer. Auch hier kommen zahlreiche Alu-Profile unterschiedlicher Abmessungen (maximal 6cm Breite) zum Einsatz.

Es gibt **10** Arten von Menschen.

iX-Leser und die anderen.



Jetzt Mini-Abo testen:

3 Hefte + Bluetooth-Tastatur
nur 16,50 €

www.ix.de/testen



www.ix.de/testen

leserservice@heise.de

49 (0)541 800 09 120

Großprojekte

Inzwischen bieten zahlreiche Baumärkte auch Metallschienen aus Stahl mit höherer Stabilität und größeren Abmessungen an, die, wie bei einem Metallbaukasten, durch aneinandergereihte Löcher gekennzeichnet sind. Mit solchen Schienen lassen sich auch größere und höher belastbare Objekte realisieren. Dem beiliegenden Infomaterial konnte ich entnehmen, dass sich damit sogar kleine Bollerwagen, Regale und Transportbehälter für Flaschen bauen ließen. Das Foto zeigt eine aus diesen Elementen konstruierte, stabile Halterung für Solarmodule ⁸.

Tipp zum Kauf

Bevor Sie sich nun aufmachen, um beim nächsten Baumarkt die Metallteile für künftige Projekt zu kaufen, fertigen Sie zunächst eine Liste an. Die sollte alle Teile und die benötigten Längen enthalten. Dann schauen Sie auf den Online-Seiten ⁹ des Baumarktes Ihres Vertrauens nach, ob er diese Teile auch führt. Die Baumarkt-Adressen, die Sie über den Kurzinfo-Link erreichen, führen Sie direkt zu den manchmal schwierig zu findenden Metallprofil-Angeboten der bundesweit tätigen Baumärkte. Viele Unternehmen ermöglichen es, online zu kontrollieren, ob ein Teil in der gewünschten Filiale auch vorrätig ist. Diesen Service sollten Sie nutzen, er kann Ihnen vergebliche Fahrten ersparen. Beachten Sie bei der Beschaffung unbedingt die von Ihnen benötigten Längen inklusive Verschnitt: Benötigen Sie beispielsweise 4mal je 25cm des gleichen Profils, reicht ein 1m-langes Profil nicht, denn beim Sägen fallen jeweils einige Millimeter



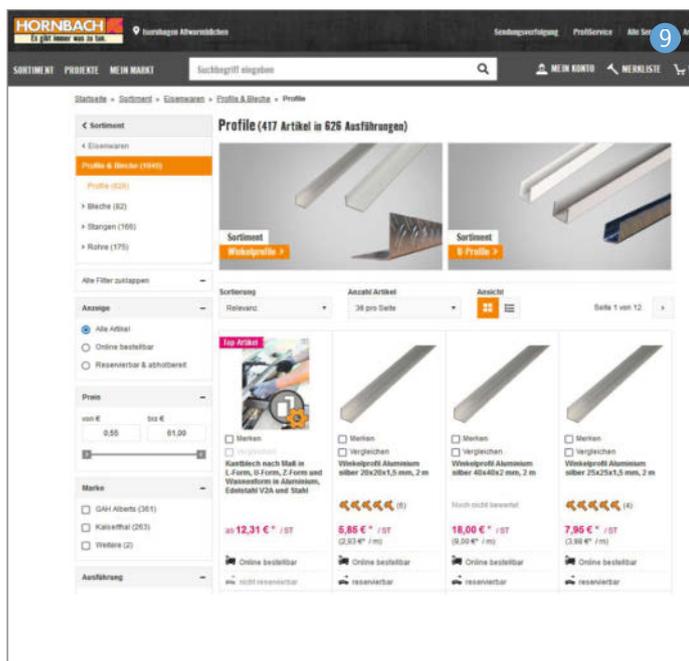
⁸ Aus den größeren, gelochten Schienen lassen sich auch belastbare Konstruktionen wie beispielsweise eine Halterung für Solarmodule anfertigen.

zusätzlich weg. Da ist ein 2m-langes Stück die richtige Wahl.

Fazit

Die beschriebenen Elemente sind nicht nur für den Hobby-Elektroniker, sondern auch für Heimwerker und Modellbauer von Interesse. Ich bin sicher, dass sich damit auch miniatu-

rierte Nachbildungen von Brücken, Türmen oder Fahrzeugen wie zum Beispiel Lastwagen bauen lassen. Auch praktische Anwendungen wie Transportkisten, Garderobenhaken, Bilderrahmen oder Gewürzregale im modernen Design liegen im Bereich des Möglichen – vielleicht sogar Möbel? Werden Sie kreativ und greifen Sie zu Zollstock, Säge und Bohrer. —hgb



Sicherheitshinweise

- » Tragen Sie beim Bohren und Sägen eine Schutzbrille und Schutzhandschuhe, da umherfliegende Metallspäne zu Hand- und Augenverletzungen führen können.
- » Schützen Sie Ihre Atemwege beim Feilen und Schleifen mit einer Staubmaske.
- » Verletzungsgefahr: Niemals eine Alu-Leiste mit einem für Stahl gedachten, rotierenden Schleifstein bearbeiten, da sie an diesem festkleben und aus der Hand gerissen werden kann.
- » Sägen Sie mit einer Stichsäge keine Alu-Bleche, die dünner als 1,5mm sind, da diese vom Sägeblatt mitgerissen und verbogen werden können.
- » In vielen Youtube-Videos wird gezeigt, wie man Metall-Leisten auch mit einem Winkelschleifer sehr schnell und gerade trennen kann. Ganz genau erfahren Sie das im Artikel auf Seite 98. Verwenden Sie dieses nicht ganz ungefährliche Werkzeug nur, wenn Sie mit seinem Umgang absolut vertraut sind.



Know-how für agile Profis

3. Product Owner Day

So geht agiles Produktmanagement besser

11. November 2021

pod.inside-agile.de

Flight Levels Day

Von agilen Teams zu unternehmerischer Agilität

29. November 2021

fld.inside-agile.de

Agile Leadership Conference

So werden agile Teams besser

9. Dezember 2021

alc.inside-agile.de

Online-Konferenzen von Heise

Veranstalter

 heise Developer

 dpunkt.verlag

© Copyright by Maker Media GmbH.

Verbinden von Metallelementen

Mit Metallelementen lassen sich besonders stabile Konstruktionen bauen – wenn man weiß, wie: Beim Schrauben, Nieten, Bohren und Lötén muss man einige Kniffe kennen, dann kann man in Windeseile halt- und belastbare Verbindungen erschaffen.

von Maximilian Czelinski



Aus Metall lassen sich besonders belastbare Konstruktionen bauen. Wenn beispielsweise hohe Kräfte übertragen werden müssen, kommt man in aller Regel nicht an diesem Werkstoff und seinen wichtigsten Füge-techniken vorbei. Dieser Beitrag soll vermitteln, wie man auch ohne Maschinenbaustudium oder Schlosserlehre haltbare und belastbare Verbindungen aus Metallelementen fertigen kann. Beim Thema „Metall verbinden“ denken die meisten Maker vermutlich erstmal an Späne, Bohren und Schrauben, aber man kann auch mit einem LötKolben elegante und langlebige Metallverbindungen schaffen. Wir schauen uns zunächst an, welche Materialien man zur Hand haben sollte, welches Werkzeug die Arbeit erleichtert und gehen danach auf einzelne Füge-techniken im Detail ein.

Allerdings geht dieser Artikel auf zwei Aspekte nicht ein: Sowohl dem Kleben als auch dem Gewindeschneiden haben wir in diesem Heft zwei eigene Artikel gewidmet, die Sie auf den Seiten 24 und 44 finden.

Kurzinfo

- » Die gängigsten Materialien: Profile, Bleche, Rohre
- » Die wichtigsten Werkzeuge
- » Verbindungen: Schrauben, Nieten, Löten

Checkliste



Metallbearbeitung:

Schrauben, Bohren, Nieten, Schweißen



Löten:

Weich- und Hartlöten

Material

- » Blech
- » Flachprofile
- » Winkelprofile
- » Kastenprofile
- » Rohre

Werkzeug

- » Winkelmesswerkzeug
- » Anreißnadel oder Filzstift
- » Körner
- » Metallbohrer
- » Metallsäge
- » Metallfeile und Kegelsenker
- » Bohrmaschine oder Akkuschauber
- » Schraubstock
- » Lötlampe oder LötKolben

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/x5jp

Das Ausgangsmaterial

Um möglichst viele verschiedene Konstruktionen erzeugen zu können, sammeln sich in Hobbywerkstätten häufig Berge von Halbzeugen. Halbzeuge sind Elemente, aus denen man das eigentliche Projekt durch Bearbeitung und Verbindung konstruiert. Zum Beispiel alte Kupferrohre, Aluminiumprofile, Gewindestangen, Flachstahlelemente, Profile und verschiedene Metallbleche aus unterschiedlichen Materialien. Auch ein altes Tischgestell hat sicherlich schon für das ein oder andere Projekt als „Spender“ erhalten müssen.

Wer jedoch nicht regelmäßig mit Metall arbeitet, wird auch nicht auf sein privates Halbzeuglager zugreifen können. Glücklicherweise finden sich aber alle gängigen Grundelemente im gut sortierten Baumarkt. Und – wer hätte es gedacht – im Internet bekommt man natürlich auch alles, was man braucht. Grundsätz-

lich sollte man für den Bau eigener Metallkonstruktionen die folgenden Basiselemente und die dafür geeigneten Füge-techniken kennen.

Blech

Kennt jeder und ist in gängigen Stärken von unter 1mm bis 5mm erhältlich. Blech gibt es in großen Bögen oder Platten von circa 10cm bis 100cm Kantenlänge zu kaufen. Aufgrund der geringen Dicke des Materials lassen sich Bleche gut löten, nieten oder mit selbstschneidenden oder selbstbohrenden Blechschrauben verbinden.

Flachprofil

Flachprofile sind meist drei bis zehn Millimeter dick und wie ein langer flacher Schokoriegel geformt. Falls das Flachprofil aus Stahl ist, wird

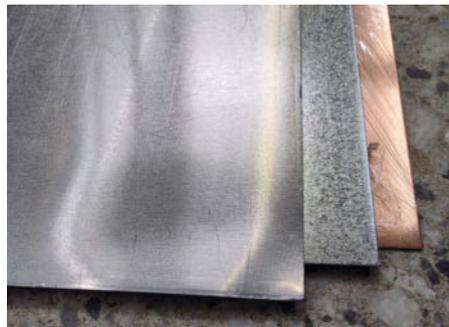
es auch gerne *Flachstahl* genannt. Mit einem Flachprofil lassen sich Rahmen- oder Fachwerkstrukturen sehr gut verstärken. So wird es verschraubt oder verschweißt in Winkeln häufig als sogenanntes *Knotenblech* verwendet.

Winkelprofil

Diese Art von Profil hat eine hohe Knickstabilität. *Winkelprofile* sind das meist verwendete Profil beim Bau von Hochspannungsmasten. Weil das Profil offen ist, kann man es sehr gut bohren und verschrauben. Empfindliche Kanten – zum Beispiel an Holzkonstruktionen – werden mit einem Winkel- oder L-Profil gut geschützt und verstärkt. In kurze Stücke gesägt lassen sich damit auch Winkelbleche bauen. Für leichtgewichtige Konstruktionen empfiehlt es sich, Aluminiumprofile zu verwenden.



Die sogenannten Halbzeuge sind unser Ausgangsmaterial.



Immer praktisch, wenn man davon ein paar auf Lager hat: Bleche.



Es gibt viele verschiedene Metallprofile, auch Rohre fallen darunter.

Kastenprofil

Das *Kastenprofil* sieht aus wie ein quadratisches oder rechteckiges Rohr, auch *Vierkantrohr* genannt. Es ist nicht so schwer wie ein massives Vollprofil, aber überzeugt mit einer sehr hohen Knickstabilität. Der gute alte Tischrahmen aus der Schule oder dem Seminarraum ist häufig aus diesen Profilen gebaut.

Tipp: Zum Verbinden von Vierkantrohren kann man passende *Steckfittings* verwenden.

Diese gibt es als Längsverbinder oder auch über Eck, für zwei, drei und mehr Vierkantrohre. Messen, sägen, bohren, schrauben und schon wächst die stabile Konstruktion in einem irren Tempo.

Rohr

In Sachen Stabilität und Gewicht sind Rohre mit das beste Konstruktionselement. Hinsichtlich seiner Fügetechniken ist das Rohr

jedoch eines der anspruchsvollsten Bauteile. Verschraubungen lassen sich hier nur wenig sinnvoll und stabil erzeugen. Deswegen ist bei der Verwendung von Rohren auf Fügeverfahren wie *Weichlöten*, *Hartlöten* und *Schweißen* zurückzugreifen. Auch Vorarbeiten an den Fügepunkten sind recht aufwendig. Wegen des Rundprofils entstehen oft komplizierte Schnitte. Allerdings gibt es auch hier die Möglichkeit mit Rohrverbindern, beziehungsweise *Rohrfittings*, zu arbeiten.

Das Werkzeug

Winkelmesswerkzeug

Ein einfaches Geodreieck reicht zum Messen von Winkeln bereits aus. Auch ein Winkel von 90° macht das Konstruieren und Anzeichnen bedeutend einfacher. Der Profi arbeitet mit speziellen *Winkelmessern* und einer *Schmiege*, mit der Winkel abgenommen und übertragen werden können.

Anreißnadel oder Filzstift

Für alles, was auf dem Metall beim Messen angezeichnet werden soll, kann man eine *Anreißnadel* oder einen Filzstift verwenden. Eine Anreißnadel ist gehärtet und kratzt in jede Metalloberfläche sichtbare und präzise Linien.

Körner

Mit dem *Körner* lassen sich Bohrungen punktgenau ansetzen. Eine zuvor gesetzte Körnung verhindert das sogenannte „Verlaufen“ des Bohrers zu Beginn und damit eine unpräzise Bohrung. Ein Standardkörner wird mit einem Hammer ins Metall geschlagen. Moderne Körner haben eine Schlagautomatik und lassen sich mit einer Hand zielgenau einsetzen.

Metallbohrer

Metallbohrer sind in der Regel alle gehärteten Bohrer, die keine Holz- bzw. Steinbohrer sind. Sie zeichnen sich durch zwei leicht abgewinkelte *Hauptschneiden* am Kopf aus, die das

Loch ins Metall schneiden. Die zwei spiralförmigen *Nebenschneiden* transportieren die beiden Späne aus der Bohrung heraus.

Metallsäge

Mit einer *Bügelsäge* und einem Metallsägeblatt lassen sich alle Metalle zuverlässig und sicher sägen. Ein *Winkelschleifer* mit der passenden Metalltrennscheibe macht dies schneller, stellt aber auch immer ein hohes Sicherheitsrisiko dar. Sicherheitsvorkehrungen hinsichtlich Brand-, Gesichts- und Gehörschutz fallen deutlich umfangreicher aus.

Metallfeile und Kegelsenker

Bei jeder Bohrung und nach jedem Sägen von Metall entstehen rasiermesserscharfe Grate. Grate an Kanten lassen sich mit Flach- und Rundfeilen sicher von den Metallelementen entfernen. Der *90°-Kegelsenker* säubert jede Bohrung. Zudem sorgen erst gratfreie Elemente für den perfekten Kraftschluss und damit für eine sichere Verbindung. Senker gibt es in verschiedenen Größen, sie passen nicht in jede Bohrung.

Tipp: Es gibt zwar Handsenker, jedoch empfiehlt es sich auf Einsätze für den Akkuschauber zurückzugreifen. Hiermit lassen sich auch tiefere Senkungen beim Verwenden von Kegelsenkschrauben erzeugen.



Große Bohrlöcher

Achtung: Beim Bohren von Löchern, die größer sind als 8mm, steigen Bearbeitungskräfte und Drehmomente schlagartig an. Deswegen ist hier besondere Vorsicht geboten – oder man vermeidet es generell. Mehr zum Körnen und Bohren steht ab Seite 38 in diesem Heft.

Bohrmaschine oder Akkuschauber

Ganz ohne *Power tools* geht es dann doch nicht. Ein Akkubohrschauber mit einem Bohrfutter bis 10mm ist allerdings ausreichend. Optimal ausgestattet ist man mit einer Standbohrmaschine oder Säulenbohrmaschine. Mithilfe solcher Maschinen gelingen spielend kerzengerade Bohrungen.

Schraubstock

Beim Arbeiten mit Metall ist ein Schraubstock oder die Verwendung von Schraubzwingen prinzipiell unverzichtbar. Gerade beim Bohren oder Sägen treten häufig hohe Kräfte auf. Machen sich Bauteile bei der Bearbeitung selbstständig und rotieren unkontrolliert umher, besteht hohe Verletzungsgefahr.

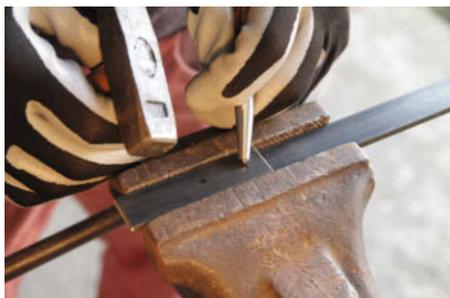
Die Fügetechniken

Die Schraubverbindung

Grundsätzlich lassen sich alle Metalle miteinander verschrauben. Deswegen ist es sicherlich auch eine der meistverwendeten

Verbindungen beim Konstruieren mit Metallelementen. Gerade die Möglichkeit des Auseinanderschraubens kann in vielen Fällen von Vorteil sein, falls zum Beispiel ein Regal auf- und wieder abbaubar sein soll.

Beim Fügen von Metallelementen via Verschraubung greift man üblicherweise auf *Maschinenschrauben mit metrischem Gewinde* zurück. Hierfür steht das große „M“ in der Schraubenkennung. Mit einem Schrauben-



Beide Elemente miteinander verspannen, Bohrungen anzeichnen und kornen.



Zunächst muss man vorbohren, um eine optimale Schraubverbindung zu erhalten.



Dann entfernt man mit einem 90°-Kegelsenker den Grat vom Bohrloch.



Praxistipp: Ein Tropfen Öl schont und kühlt den Bohrer, also immer bereit stellen.



Die gratfreie Bohrstelle ist optimal für Schraubverbindungen.



M5-Schraube mit Sechskantkopf und passender Kontermutter verschrauben.

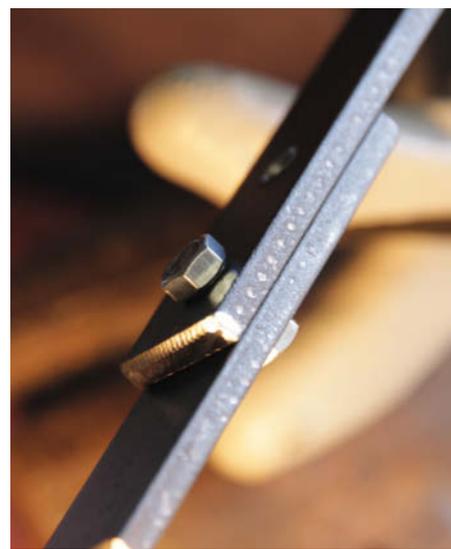
und Mutternsortiment von M3 bis M10 ist man mehr als ausreichend gerüstet. Die Ziffer steht in diesem Fall für den Durchmesser des Gewindes in Millimetern. Je nach Verschraubungsart kommen Schraubköpfe von *Kreuzschlitz* über *Torx*, *Innensechskant (Inbus)* und *Außensechskant* in Betracht. Muttern hingegen sind bauartbedingt *Außensechskante*. Mit einem gut sortierten Knarrenkasten und Bitsatz müssen wir uns also vor keiner Verschraubung mehr verstecken.

Einfache Schraubverbindung

Die Schraubverbindung ist die einfachste Art, zwei Elemente miteinander zu verbinden. In diesem Fall wollen wir zwei 4mm dicke Flachprofile aus Stahl überlappend mit zwei M5-Schrauben plus Mutter verschrauben. Die denkbar einfachste und schnellste Methode ist es, beide Profile in finaler Fügeposition zu



Selbstbohrende Schraube mit Gewindeschneider



Einfache und langlebige Schraubverbindung



Der Gewindeschnitt passiert während der Verschraubung.



Da das spitze Ende aus dem Metall ragt, eignet sich diese Technik nicht für alle Projekte.



Mit dem Senker eine passend große Senkung für den Senkschraubenkopf schneiden.



Eine Kegelsenkschraube M5 ist für dieses Projekt gut geeignet.



Die Senkung sollte etwas größer als der Schraubenkopf sein, damit die Schraube komplett versinkt.



Der Einsatz von Schraubensicherungslack lohnt sich bei jeder Verschraubung.

Senkverschraubung mit Knotenblech

Kombiniert man die Senkverschraubung mit einem Knotenblech (das dreieckige Blech in Bild 6), lassen sich kraftschlüssige und schöne Konstruktionen herstellen. Ein Knotenblech kann man sich leicht passgenau für das eigene Projekt herstellen und so auch spontan noch Verstärkungen an Metallverbindungen anbringen.



1



2



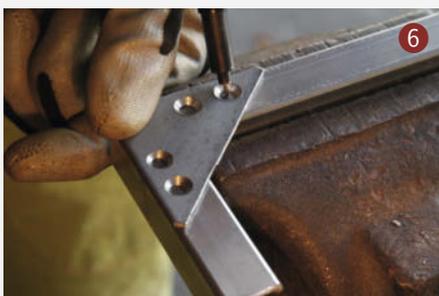
3



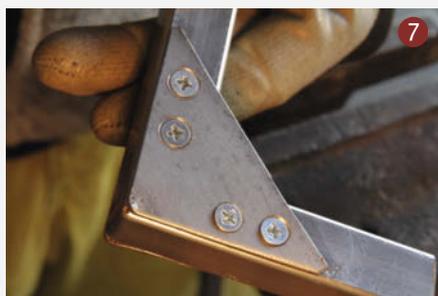
4



5



6



7

fixieren und mit einem 5mm-Bohrer durch beide Elemente zu bohren. Schraube durchstecken, Mutter drauf, festziehen, fertig. Manchmal ist es konstruktionsbedingt unmöglich, alle Teile gleichzeitig zu fixieren. In diesem Fall ist es unabdingbar zu messen, Lochpositionen anzuzeichnen und jedes Teil einzeln zu bohren.

Tipp: Auf Unterlegscheiben verzichten. Eine Schraubverbindung sollte so wenig Setzfugen wie möglich besitzen. Jede Scheibe erhöht die Anzahl dieser Fugen und kann so zu einem späteren Lockern der Verschraubung führen.

Selbstschneidende Schraubverbindung

Selbstschneidende und selbstbohrende Schrauben schneiden beim Einschrauben ein Gewinde aus dem Material des Werkstücks heraus. Die selbstschneidende Schraubverbindung ist bei nicht zu dicken Blechen zwischen ein bis vier Millimetern eine echte Arbeitserleichterung – gerade, wenn es schnell gehen soll oder viele Verschraubungen zu setzen sind. Sinnvoll kann man eine solche Verbindung nur mithilfe eines Akkuschraubers herstellen. Die Schrauben für diese Verbindungen sind mit einer Bohrspitze ausgestattet und besitzen eigene Gewindegewindeschneider. In einem Arbeitsgang lassen sich so Bohrung, Gewindegewindeschnitt und finale Verschraubung setzen. Da hinter der Verschraubung die Bohrspitze aus dem Material immer herausstehen muss, eignet sich diese Technik nicht für alle Anwendungsfälle und erzeugt eine Verletzungsgefahr. Vor allem beim Verkleiden mit Blechen oder beim Aufbringen von Winkeln auf Vierkantrohren ist die Verwendung von selbstschneidenden Schrauben aber eine besonders schnelle Lösung. Eine Alternative für die Verschraubung von dünnen Blechen mit Maschinenschrauben zeigen wir auf Seite 52.

Senkverschraubung

Bei ausreichender Materialstärke lassen sich Schraubenköpfe auch versenken. Das hat optische, aber auch praktische Vorzüge. Da die Verschraubung im Material „verschwindet“, ist sie kaum sichtbar, spart Platz und mindert

Verletzungsgefahren. Sogenannte Kegelsenkschrauben haben einen nach oben abgewinkelten Kragen. Diesen Winkel gilt es nach der Bohrung rund um das Bohrloch einzuschneiden. Das geschieht mit einem passenden 90°-Kegelsenker, den man in eine Bohrmaschine einspannt. Mit mittlerem Druck und langsamer Drehzahl verhindert man ein zu tiefes Senken. Wer jetzt noch ein Gewinde in das Gegenmaterial schneidet (siehe Seite 44), statt eine Kontermutter zu benutzen, der verbindet beidseitig ohne abstehende Schraubenteile.

Tipp: Bei jeder Verschraubung ist der Einsatz von *Schraubensicherungslack* zu empfehlen. Gerade bei Vibrationen, Wechselbelastungen oder Witterungseinflüssen bleiben die Verschraubungen stets fest. Mit einem Tropfen mittelfesten Schraubensicherungslacks auf dem Gewinde der verwendeten Schraube kann man die Verbindung später wieder lösen.

Fächerscheiben oder Federringe dienen zwar der Schraubensicherung im Bezug auf das Ausdrehen, erhöhen aber wieder die Setzfugen und schwächen so die Schraubverbindung.

Blindnietverbindung

Diese Verbindungsart wird auch *Popnietverbindung* genannt. Sie wird mit einer speziellen Nietzange durchgeführt. Die Verbindung eignet sich vor allem zum Verbinden dünner Bleche. Es gibt aber auch Blindnieten, die größere Klemmbereiche für dickere Wandstärken abdecken. Für eine Blindnietverbindung wird ein Loch durch beide Fügeelemente gebohrt und mit einer passenden Niete versehen. Die Spezialzange zieht einen Stahlstiftanker durch den Aluminiumzylinder der Niete, wodurch dieser *aufpilzt*. Ist die Nietspannung groß

genug, so reißt der Stahlstift ab und die Ver-nietung sitzt. Gute Blindnietzangen inklusive Nietsortiment gibt es bereits für um die 20 Euro.

Tipp: Ein dünnes Blech bohrt man am besten auf einem alten harten Holzbrett, indem man beides fest mit einer Schraubzwinde auf der Werkbank verspannt. So verhindert man dreieckige Löcher im Blech, die sonst auftreten können.

Weichlöten

Man kann Metall auch mit einer Lötverbindung zusammenfügen. Überall, wo keine hohen Temperaturen auftreten, bietet sich das sogenannte *Weichlöten* an. Der typische Anwendungsfall ist die dichte Verbindung von wasserführenden Kupferrohren, Dachrinnen und Fallrohren. Wegen der geringeren Verarbeitungstemperatur lässt sich die nötige Wärme häufig auch mit leistungsstarken und breiten LötKolben auf geraden Oberflächen einbringen. Bei Rohrverbindungen ist jedoch die offene Flamme nötig.

Beim Weichlöten werden Lötzusätze mit einem Schmelzpunkt unterhalb von 450°C verwendet. Der Lötzusatz unterscheidet sich stofflich nicht gravierend vom Radiolot, wird aber je nach Anwendungsfall in deutlich dickeren Durchmessern verwendet. Manches Lot verlangt separates Flussmittel, das man auf die zu verlötenden Teile aufträgt. Andere Lote sind mit Flussmittel gefüllt. Weichlot besteht meistens aus einer Zinn-Blei Legierung mit geringen Anteilen an Eisen und Kupfer. Es gibt aber auch bleifreies Lot. Bleihaltiges Lot lässt sich deutlich einfacher verwenden, sollte aber beispielsweise nicht bei Trinkwasserinstallationen eingesetzt werden.

Will man eine Rohrverbindung löten, werden die Rohre mit passenden *Rohrmuffen* beziehungsweise *Löt fittings* miteinander verbunden. Dies kann auch mit Winkelstücken über Eck geschehen. Wenn keine besonderen Anforderungen hinsichtlich Leichtgewicht und Höchststabilität an die Konstruktion gelten, kann man mit verlöteten Kupferrohren auch optisch sehr ansprechende Ständerwerke bauen.

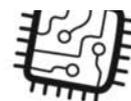
Beim Löten ist generell auf eine saubere Vorbereitung zu achten. Nur wenn die Verbindungspartner sauber und metallisch blank sind, kann eine stoffliche Verbindung zwischen den beiden Metallen gelingen. Wenn alles funktioniert, ist nach dem Verlöten eine Legierung aus den Metallelementen und dem Lot entstanden. Das heißt, dass an den Berührungsstellen eine Schicht aus einem Mischmetall entstanden ist. Dafür ist es unabdingbar, die Oxidschicht, die bei Luftkontakt immer an den Metalloberflächen entsteht, zu beseitigen. Das geschieht am besten durch Abschleifen mit feinem Schleifpapier oder Schleifvlies.

Letztlich sorgt das Flussmittel oder Löt fett, welches man auf den Kontaktflächen ver-kochen lässt, für das Auflösen dieser Oxidschicht. Erst nachdem dies geschehen ist, lässt sich das Löt zinn auf den erwärmten Teilen aufschmelzen. Durch den Kapillareffekt zieht bei ausreichender Temperatur das Lot in den Zwischenraum ein und erzeugt beim Abkühlen die gewünschte Verbindung.

Hartlöten

Beim Hartlöten werden Lötzusätze mit einem Schmelzpunkt oberhalb von 450°C verwendet. Zum Beispiel werden dabei Silberlote mit einer

**MIT
Technology
Review**
Das Magazin für Innovation von Heise



**Die Welt verstehen,
wie sie morgen sein wird.**

2 Ausgaben inklusive Prämie nach Wahl:

mit-tr.de/testen

**40%
Rabatt**





Sitzt die Niete ...



... kommt die Nietzange zum Einsatz.

Verarbeitungstemperatur von circa 650°C eingesetzt. Um solch hohe Temperaturen zu erreichen, benötigt man eigentlich einen besonderen Gasbrenner. Mit einem Autogen-Schweißbrenner ist das prinzipiell möglich. Doch Zugang zu solch einem Gerät hat man meistens nicht. Zudem braucht es schon einiges an Erfahrung, um mit den Gefahren eines Brenngas-Sauerstoff-Mischbrenners sicher umgehen zu können.

Stattdessen ist es aber häufig auch möglich, mit einer Lötlampe genügend Temperatur in unsere Lötverbindung einzubringen. Diese gibt es in jedem Baumarkt. Eine Propan-Butan-Gasmischung, abgefüllt in Einwegkartuschen, deckt den nötigen Energiebedarf für Flammentemperaturen oberhalb von 750°C ab. Moderne Lötbrenner gibt es auch mit praktischer Elektrozündung via Knopfdruck.

Prinzipiell lassen sich viele unterschiedliche Metalle auch untereinander hartlöten. Für jedes Material gibt es spezielle Lote, Flussmittel und Techniken. Für das Beispiel auf den Fotos haben wir uns auf Stahl bezogen.

Tipp: Da beim Hartlöten sehr viel Wärme in das Material eingebracht wird, sollte man einen feuerfesten und isolierenden Untergrund verwenden. Ein Stein, Porenbeton oder besser Schamott hilft, die Temperatur im Metall zu belassen und vermeidet Brandgefahr.

Schweißen

Schweißen von Stahl ist grundsätzlich keine Zauberei. Mit ein wenig Übung und einem günstigen Lichtbogenhandschweißgerät lassen sich bereits hochbelastbare Stahlkonstruktionen bauen. Anders sieht es wiederum

beim Schweißen von Aluminium aus. Hierbei kommen sogenannte Schutzgasschweißverfahren zum Einsatz. Zudem ist Aluminium ein tückisches Metall, wenn es um das Schweißen geht. So manch ein Nichtprofi hat sich hierbei schon die Zähne ausgebissen.

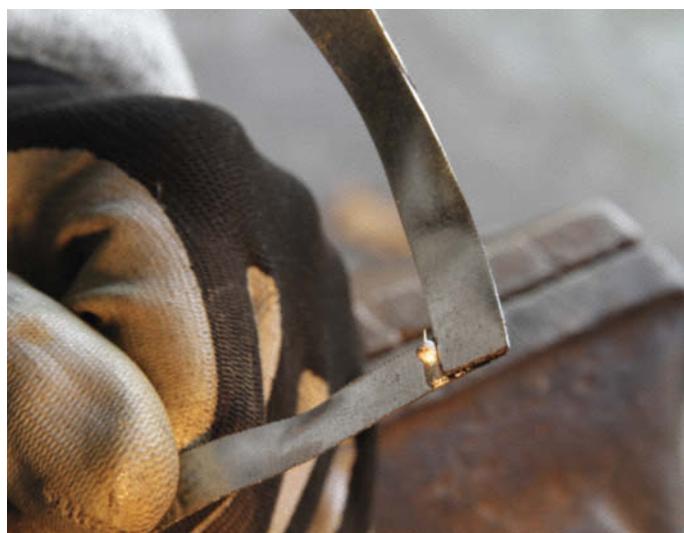
Eine der wichtigsten Grundlagen nebst der Wahl des Schweißverfahrens und der richtigen Stromstärke ist auch hier eine saubere Vorbereitung. Die zu schweißenden Stellen müssen glänzend blank sein, damit Strom und Metall in die Schweißnaht einfließen können.

Wer die Möglichkeit hat zu schweißen oder schweißen zu lassen, der findet damit im Fügen seiner Metallkonstruktionen mit den größten kreativen Spielraum. In die Tiefe geht daher unser Artikel *Einstieg ins Schweißen* auf Seite 104.

—rehu



Lötzinn aufbringen.



Abgekühlt hält die Lötverbindung bombenfest.

Upcycling: Spitzbohrer als Zentrierhilfe

Aus einem ausgedienten Uhrmacher-Schraubendreher lässt sich mit etwas Geschick ein nützliches Werkzeug schleifen.

von Achim Bertram

Der „Spitzbohrer“ ist die Urform des Bohrers und Vorläufer des heute üblichen Wendelbohrers. Solche Bohrer werden auch heute noch in der Holzbearbeitung und zum Bohren von harten und spröden Werkstoffen wie Glas bei geringer Bohrtiefe eingesetzt.

Ich verwende den Spitzbohrer gern zum Zentrieren von Bohrungsmittelpunkten von Hand – immer dann, wenn sich ein Ankörnen aufgrund geringer Materialdicke oder besonderer Materialeigenschaften verbietet. Auf empfindlichen Oberflächen zeichne ich mit Bleistift an und zentriere mit dem Spitzbohrer so tief, bis der nachfolgende Bohrer eine gute seitliche Führung erhält. Bei Leiterplattenmaterial (FR4) oder Frontplatten aus dünnem

Blech oder Kunststoff und nicht zuletzt bei nachträglichen Bohrungen an 3D-Drucken erziele ich damit gute Ergebnisse.

So wird geschliffen

- Klinge beidseitig und gleichmäßig unter einem Winkel von ca. 15° anspitzen ① bis zu einer Dicke von etwa 0,3 mm an den Schneiden ②.
- Spitzenwinkel der Hauptschneiden symmetrisch zur Achse auf ca. 120° schleifen ③.
- Die Hauptschneiden müssen dann etwa 10° – 15° (Freiwinkel) freigeschliffen werden ④. Wie bei allen Bohrern üblich, ist der Freischliff auf beiden Seiten rotationssymmet-

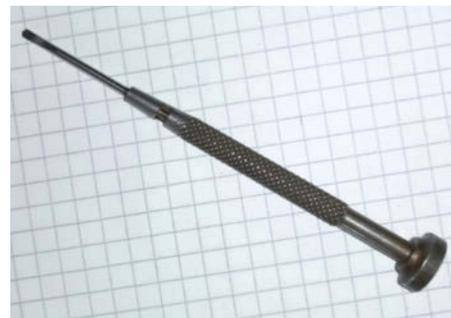
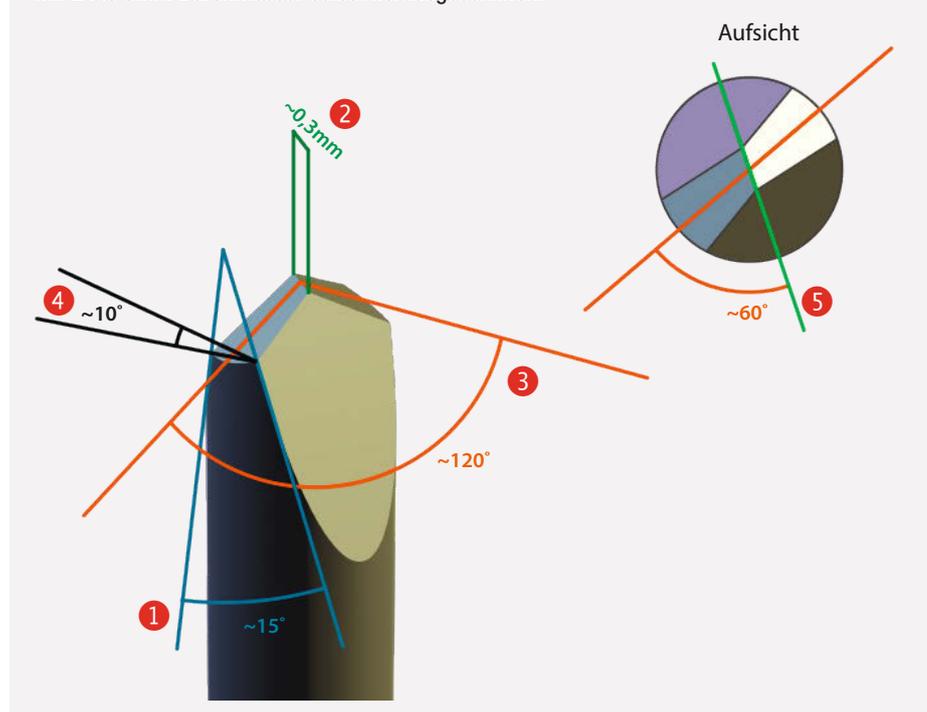
risch. Dieser „Hinterschliff“ ermöglicht das Eindringen der Schneide in den Werkstoff.

– Ist alles richtig gemacht, läuft bei Ansicht direkt von oben die „Querschneide“, also die schmale Kante zwischen den beiden Hauptschneiden, *nicht* rechtwinkelig zu deren gedachter Mittellinie, sondern in einem Winkel von typisch 55° – 60° ⑤.

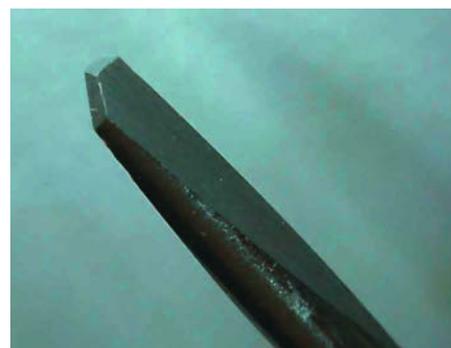
Der sich ergebende leicht negative Spanwinkel ($7,5^\circ$) ist gewollt. Er wirkt eher schabend als schneidend und verhindert damit das „Einhaken“ der Schneide in den Werkstoff und damit die Rattermarkenbildung. Da das Werkzeug ausschließlich von Hand verwendet wird, ist Augenmaß für Winkel und Symmetrie völlig ausreichend. —pek

Winkel am Spitzbohrer

Der Spitzbohrer wird aus einem ausgedienten Uhrmacherschraubendreher mit 2 bis 3mm Durchmesser selbst herausgeschliffen.



Das Ausgangswerkzeug: Ein Uhrmacherschraubendreher mit drehbar aufgenietetem Teller, um durch Fingerdruck Axialkraft aufzubringen



Die Spitze des Spitzbohrers stark vergrößert

Metall kleben? Aber richtig!

Wir haben gezeigt, wie man Metall verschrauben, verschweißen, verlöten und vernieten kann. Manche Flächen sind jedoch einfach zu klein, zu uneben oder sollen nicht elektrisch leiten können – und schon kommt der Kleber als Deus ex machina aus der Schublade geflogen.

von Jens Hackel



Auf den vorherigen Seiten wurden bereits einige Verfahren vorgestellt, mit denen Du schnell und zuverlässig Metall-Werkstücke miteinander verbinden kannst. Warum dann also noch Kleben in Erwägung ziehen? Es dauert doch lange, bis der Kleber ausgehärtet ist? Und es sind vergleichsweise große Verbindungsstellen erforderlich, damit die Verbindung hält? Außerdem sind Klebestellen doch oft auf Dauer nicht so stabil – oder gehen schon kaputt, während man noch prüft, ob sie halten?

Die Vorteile

Ja, aber: Kleber bieten einige Vorteile, die ihn in Spezialfällen zur ersten Wahl machen. So kann man mit einer Klebestelle zum Beispiel verhindern, dass Wärme übertragen wird oder elektrischer Strom fließen kann. Durch Verkleben können Bauteile auch wasserdicht verbunden und verschlossen werden. Das ist insbesondere interessant für Makerprojekte, die Flüssigkeiten involvieren oder im Freien überleben sollen.

Auch bei schwierigen Werkstücken kann Kleber die Arbeit erleichtern. Für normale Schraubverbindungen ist eine präzise mechanische Vorarbeit erforderlich: Die Bohrlöcher müssen exakt übereinanderliegen, damit man die Schraube durchstecken kann. Auf dieses Level an Präzision kann man beim Kleben verzichten. Im Gegenteil: Klebstoff kann sogar Unebenheiten der Oberflächen ausgleichen.

Das Verkleben ist außerdem eine gute Methode, wenn man spezielle Anforderungen an die Verbindung stellt, beispielsweise ästhetische. Soll zum Beispiel ein Haltewinkel an der Rückseite einer Aluminium-Frontplatte befestigt werden, könnte eine Schraubverbindung oder Verfärbungen an einer Schweißstelle der Optik schaden.

Kurzinfo

- » Wie funktioniert Kleben?
- » Was ist der richtige Kleber?
- » Wie bereitet man das Werkstück vor?

Material

- » Kleber wie Sekundenkleber, Kraftkleber, 2K-Epoxidkleber, Silikonklebstoff
- » Isopropanol

Werkzeug

- » Schleifpapier, Feile oder Schleifpad
- » Glasfaserradiierer zum Reinigen der Oberfläche

Mehr zum Thema

- » Rebecca Husemann, Damit es hält, Make 4/15, S. 76
- » Gerd Michaelis, Stella Maria Risch, 3D-Drucke clever kleben, Make Magazin 6/20, S. 114

Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xew9

Manchmal ist auch ganz einfach nicht genug Platz vorhanden: Um eine möglichst geringe Baugröße zu erreichen, besitzt die Platine des Raspberry Pi keine Bohrlöcher für die Befestigung von Kühlkörpern. Diese werden mittels eines speziellen Klebstoffs oder Klebestreifens direkt auf dem jeweiligen Chip befestigt. Der Klebstoff übernimmt zugleich die Funktion der Wärmeleitpaste.

Wie funktioniert's?

Die meisten Oberflächen sind – zumindest mikroskopisch betrachtet – uneben. An diesen Unebenheiten findet der Klebstoff viele Punkte, an denen er haften kann. Dieses Phänomen wird *Adhäsion* bzw. *Adhäsionskraft* genannt. Die Kraft im Inneren der Klebstoffschicht, die sogenannte *Kohäsionskraft*, hält

die Klebstoffteilchen zusammen und sorgt nach dem Aushärten für die innere Festigkeit der Klebeverbindung. Die meisten Klebstoffe haben eine höhere Adhäsions- als Kohäsionskraft: Je dünner eine Klebeverbindung ist, desto besser hält sie.

Klebestellen eignen sich am besten zur Übertragung von Druck- und Scherkräften. Für Zugbeanspruchung sollte man ein anderes Verbindungsverfahren wählen. Generell gilt: Je größer eine Klebefläche ist, desto höhere Kräfte können übertragen werden.

Klebstofftypen

Klebstoffe unterscheiden sich in der Art ihrer Aushärtung und können so auch klassifiziert werden: Schmelzklebstoffe werden zum Gebrauch erhitzt und härten anschließend

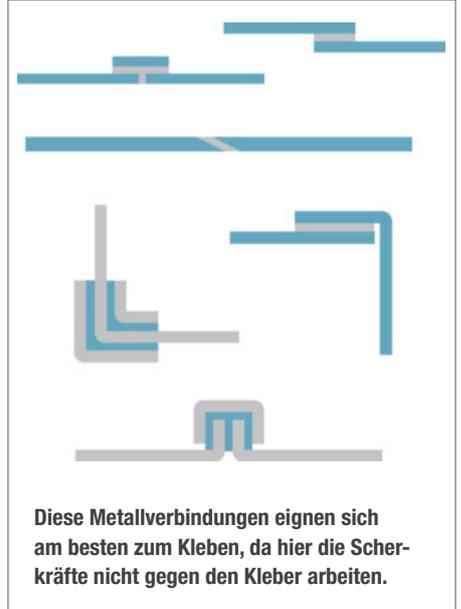
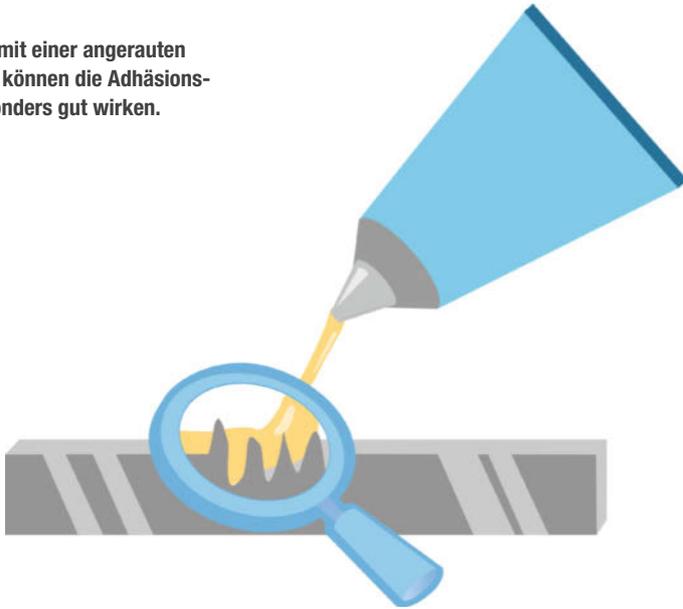


Ein ganz klassisches Beispiel für Metallklebungen ist zum Beispiel die Schraubensicherung.



Kühlkörpermontage mit speziellem Klebeband: Befestigung und Wärmeweiterleitung in einem

Auf Metall mit einer angerauten Oberfläche können die Adhäsionskräfte besonders gut wirken.



durch Abkühlung rein physikalisch aus. Dispersionsklebstoffe hingegen härten durch das Verdunsten eines Lösungsmittels aus. Und Reaktionsklebstoffe härten durch eine chemische Reaktion aus. Darüber hinaus gibt es noch Klebstoffe, die eine Kombination der vorgenannten Arten in sich vereinen.

Für Klebeband werden Haftkleber verwendet. Bei diesen handelt es sich nicht um aushärtende Klebstoffe im eigentlichen Sinne, sondern vielmehr um sehr zähflüssige Stoffe mit hoher Eigenadhäsionskraft. Die Festigkeit der Klebung wird hier durch das Trägermaterial bestimmt, da es die Kohäsionskräfte übertragen muss.

Die Qual der Wahl

Jeder Klebstoff besitzt spezifische Eigenschaften die – je nach Verwendungszweck der Klebestelle – von Vor- oder Nachteil sein können. Daher muss man bei der Wahl des

Klebstoffs die Umweltfaktoren berücksichtigen, denen die Klebestelle ausgesetzt wird. Wenn sich das Bauteil zum Beispiel später stark erwärmen oder abkühlen wird, muss ein Kleber gewählt werden, der die temperaturbedingten Größenänderungen der Materialien ausgleichen kann. Ebenso spielen die zu übertragenden Kräfte, die Größe und die Oberflächenbeschaffenheit eine Rolle.

Um die Auswahl zu vereinfachen, bieten viele Klebstoffhersteller für ihre Produkte eine entsprechende Tabelle, einen Internet-Produktfinder oder auch eine App fürs Smartphone an. Dort lässt sich in Erfahrung bringen, welche Materialien miteinander verklebt werden können, über welchen Temperaturbereich die Klebeverbindung ihre Stabilität behält, ob der Klebstoff feuchtigkeits- oder chemikalienbeständig ist und über welche anderen Besonderheiten er verfügt. Fehlen Informationen, so können diese häufig dem zugehörigen technischen Datenblatt entnommen werden.

Aus der Metall-Klebepraxis

Auf einer oxidierten Metall-Oberfläche haften Klebstoffe meist sehr gut. Die Oxidschicht löst sich dann jedoch leicht vom Werkstück und zerstört somit die Verbindung. Darum ist eine sorgfältige Vorbereitung der Klebeflächen immer Grundlage für eine gute Klebung.

Zunächst muss man die Oberflächen reinigen. Das geht meist mit Schleifpapier, Schleifpad oder einer Feile. Guter Nebeneffekt: Sehr glatte Oberflächen werden etwas aufgeraut. Schleifstaub und andere Verschmutzungen lassen sich dann mit Isopropanol-Alkohol und einem fusselfreien Tuch gut entfernen.

Nachdem der Alkohol verdunstet ist, kann der Klebstoff aufgetragen werden. Hierbei auf die Hinweise in der Anleitung achten: Kraftkleber werden meist auf beide Klebeflächen aufgetragen, andere Klebstoffe nur auf eine Seite. Bei Dispersionsklebern muss nun meist das Lösungsmittel für einige Minuten ver-

Wichtige Fragen vor der Klebstoffwahl:

- » Welche Materialien will ich mit Metall verkleben?
- » Wie groß ist die Klebefläche?
- » Gibt es eine Belastung durch Druck-/ Scherkräfte?
- » Wird mein Projekt Umwelteinflüssen ausgesetzt?
- » Wie sieht die Oberflächenbeschaffenheit aus?

Kleber-Ratgeber

Materialien	Klebestelle		Klebstoff auf Basis von
	passgenau	nicht passgenau	
Metall mit Metall	×		Polymer
		×	Epoxidharz
Metall mit ABS	×		Cyanacrylat
		×	Epoxidharz
Metall mit PE / PP / PET	×		Cyanacrylat
		×	Epoxidharz
Metall mit PMMA (Acrylglas)	×		Methylmethacrylat
		×	Silikon, PU (Polyurethan)
Metall mit Holz	×		Cyanacrylat
		×	Epoxidharz
Metall mit Gummi	×		Cyanacrylat
		×	Epoxidharz

dunsten. Dann können die Klebeflächen aufeinander positioniert werden. Auf gutes Ausrichten achten. Manche Klebstoffe lassen keine Korrektur der Position zu, hier muss also gleich alles beim ersten Mal passen. Im Anschluss die Klebeflächen aufeinander pressen und aushärten lassen.

Die häufigsten Anwendungsfälle von Metallverklebungen im Hobby- und Makerbereich lassen sich erfahrungsgemäß schon mit einem kleinen Sortiment von Klebstoffen abdecken. Wer sich einen Vorrat für viele Gelegenheiten zulegen möchte, dem sei diese Zusammenstellung empfohlen: einen Kraftkleber auf Dispersionsbasis, einen Zwei-

Komponenten-(2K)-Epoxidkleber, einen Silikonklebstoff und einen Sekundenkleber. Ein Tipp: Der Sekundenkleber lässt sich gekühlt länger lagern, ohne dass er eintrocknet.

Zum Schluss noch ein paar Worte zur Sicherheit: Klebstoffe kleben auch mal gerne und gut dort, wo sie es eigentlich nicht sollen. Damit dir und deiner Gesundheit beim Kleben nichts passiert, solltest du immer die in der Anleitung des Klebstoffes beschriebenen Bearbeitungsschritte einhalten, die entsprechenden Sicherheitshinweise befolgen und den Arbeitsplatz ausreichend lüften. Dann steht einer guten Klebestelle für dein Projekt eigentlich nichts im Weg. —rehu

7 Schritte für eine gute Metall-Klebung

- » Oberflächen aufrauen
- » ggf. Oxid- oder Lackschicht entfernen
- » Reinigung der Klebeflächen
- » Auftragen des Klebstoffs
- » Positionieren der Klebeflächen
- » Anpressen
- » Aushärten lassen



Die Klebung gelingt am besten, wenn man das Werkstück zuerst anschleift.



Hier wird zum Beispiel Metall mit Zwei-Komponenten-Epoxidkleber auf Metall geklebt.



Die Klebestelle auf dem angerauten Metall ist weitaus stabiler geworden.

Vielfalt MACHT BEI DER REGION HANNOVER Karriere

Hier arbeiten 3.300 Beschäftigte in ganz unterschiedlichen Berufen

HOCHWERTIGE AUSBILDUNG

SICHERER JOB

auch in MINT-Bereichen



JETZT ONLINE BEWERBEN:
www.DeineAusbildungMitZukunft.de
www.DaWillIchArbeiten.de
 Telefonnummer 0511/616 11011

Ausbildung

Verwaltungsinformatik – Dualer Studiengang (m/w/d)

Fachinformatikerin/ Fachinformatiker - Systemintegration (m/w/d)

Malerin/Lackiererin/ Maler/Lackierer – Gestaltung und Instandhaltung (m/w/d)

und vieles mehr...

Jobs

Bauingenieurin/ Bauingenieur (m/w/d)

Architektin/ Architekt (m/w/d)

und vieles mehr...

JOB ODER AUSBILDUNG BEI DER REGION HANNOVER – ÖFFENTLICHER DIENST



Region Hannover

Tipps & Tricks

Nachdem wir Ihnen gezeigt haben, wie man Metall kleben kann, zeigen wir Ihnen hier, wie elegant man zerbrochenes Porzellan im Metall-Look wieder zusammenfügen kann.

von Roland Hieber

Haben Sie schon einmal eine zerbrochene Tasse geklebt? Oder werfen Sie sie lieber weg und kaufen eine neue? Dabei würde Ihre Tasse durch die Reparatur in ein einzigartiges Objekt transformiert werden: Keine andere Tasse hat genau diese Risse und Flickstellen, die von ihrer Transformation zeugen können.

Die japanische Reparaturtechnik *Kintsugi* macht sich diesen Gedanken zu eigen: Schönheit entsteht durch Unvollkommenheit

und jedes Objekt erzählt eine Geschichte. *Kintsugi* macht dies sichtbar, indem die Flickstellen (*tsugi*) mit fein gemahlenem Gold (*kin*), Silber, oder Platin hervorgehoben und veredelt werden.

Was man dafür braucht

Die ursprüngliche Technik aus dem 15. Jahrhundert ist jedoch ein langwieriger Prozess mit Reismehl und Urushi-Lack, der zwischen

den einzelnen Arbeitsschritten mehrere Tage Trockenzeit erfordert. Für die moderne Variante genügt ein bisschen Goldpulver (im Handel auch als *Mica-Pulver* zu finden), Porzellankleber oder Kunstharz und ein freier Nachmittag.

Das richtige Kunstharz wählen

Kunstharzmischungen variieren sehr in ihrer Durchsichtigkeit und können sich schnell verfärben – letzteres ist insbesondere oft bei günstigen, schnell trocknenden Mischungen (Zweikomponentenkleber oder das berühmte „5-Minuten-Epoxy“) zu beobachten. Spezielle Gießharze bleiben lange glasklar und sind auch in lebensmittelechten Ausführungen erhältlich. Das Goldpulver wird am besten direkt in den Kleber gemischt. Zur Verdickung von flüssigen Gießharzen kann haushaltsübliches Weißmehl zugegeben werden.

Um dem Goldkitt etwas Raum zu geben, können die Kanten vor dem Zusammensetzen



Die Materialien:
Goldpulver und Kunstharz



Mit *Kintsugi* wird eine kaputte Tasse zu einem charmanten Unikat.

Machen Sie mit!

Kennen Sie auch einen raffinierten Trick? Wissen Sie, wie man etwas besonders einfach macht? Wie man ein bekanntes Werkzeug oder Material auf verblüffende Weise noch nutzen kann? Dann schicken Sie uns Ihren Tipp – gleichgültig aus welchem Bereich (zum Beispiel Raspberry, Arduino, 3D-Druck, Elektronik, Platinenherstellung, Lasercutting, Upcycling ...).

Wenn wir Ihren Tipp veröffentlichen, bekommen Sie das bei Make übliche Autorenhonorar. Schreiben Sie uns dazu einen Text, der ungefähr eine Heftseite füllt und legen Sie selbst angefertigte Bilder bei. Senden Sie Ihren Tipp mit der Betreffzeile *Lesertipp* an:

mail@make-magazin.de



Ein bisschen Goldpulver ins Kunstharz mischen.



Klebmasse auf die Bruchstelle auftragen.

mit feinem Sandpapier angeschliffen und erweitert werden. Dann werden die Kanten mit dem Kitt bestrichen und die Teile wieder zusammengesetzt. Hierbei setzt man am besten immer jeweils zwei Teile aneinander und fixiert sie mit Klebeband, bis der Kitt

ausgehärtet ist. Überstehender Kitt kann mit einem Küchentuch oder einem scharfen Messer abgenommen werden, aber besonders sorgfältig müssen Sie dabei nicht unbedingt vorgehen – bedenken Sie: Schönheit entsteht durch Unvollkommenheit. —rehu



Gut anpressen und durchtrocknen lassen.

Ihre Windows-Werkzeugbox

NEU

c't WINDOWS
Werkzeuge, die weiterhelfen

Tools für den Alltag
100 Gratis-Programme von Microsoft
PowerToys, Konsolen-Tipps, Sysinternals
Wissenswertes zum Windows-Kauf

Wenn Windows streikt
Windows-Probleme lösen per Mausclick
Robuste System-Backups mit c't-WIMage
Kaputte Updates rückgängig machen

Know-how für Profis
Windows-Installationen für Testzwecke
Eingabeaufforderung effizienter nutzen
Welches Dateisystem wofür?

Das c't-Notfall-Windows
Das Rettungssystem zum Selberbauen
Schädlingssuche · Datenrettung · Hardware-Diagnose

Heft + PDF
mit 29%
Rabatt



c't Windows 2021

Dieses c't-Sonderheft enthält wie immer das Beste zum Thema Windows. Die c't-Redaktion gibt Ihnen Werkzeuge an die Hand, um Ihren Alltag mit Windows zu erleichtern und bei der Konfiguration und Fehler-suche zu helfen. Außerdem bietet das Heft Hilfe-stellungen für einen verlässlichen Betrieb und das neueste c't-Notfall-Windows.

Auch als einzelnes Heft erhältlich.

shop.heise.de/ct-windows21

Heft + PDF
für nur
19,90 € >

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 €. Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

heise Shop

shop.heise.de/ct-windows21 >



Sägen und feilen

Schon im frühen Mittelalter bildeten sich eigene Zünfte für die Herstellung von Feilen und Sägen für die Metallbearbeitung - und diese Werkzeuge sind auch heute noch essenziell! In unserem Artikel beschreiben wir die unterschiedlichen Ausführungen und ihre Handhabung. Bei unseren Übungen kommt etwas durchaus Praktisches heraus: ein drehbarer Halter zur Bestückung von Platinen mit SMD-Bauteilen.

von Hans Borngräber



Zu den ersten Lernschritten in der Laufbahn von Schlossern, Metallbauern und Feinmechanikern gehört der Umgang mit Feile und Säge. Unser kurzer Artikel kann natürlich nicht die anstrengenden Lehrjahre in einer Metaller-Werkstatt ersetzen, in denen oft wochenlang an einem einzigen Werkstück gefeilt und gesägt wird, aber er wird Sie in die Lage bringen, diese elementaren Fertigkeiten für kleinere Projekte erfolgreich einzusetzen.

Metallsägen

Metallsägen unterscheiden sich grundlegend von den Holzsägen. Metallsägen haben bedeutend feinere und kürzere Zähne und sind gehärtet. Metallsägen für den händischen Gebrauch bestehen immer aus einem Bügel mit Griff und einer Einspannvorrichtung für das Sägeblatt. Eine Standardsäge ist die Schlosserbügelsäge mit 300mm-Sägeblatt; die sollte in keiner Maker-Werkstatt fehlen, eine übliche und universelle Zahnung ist 24 Zähne pro Zentimeter (siehe Tabelle).

Das Sägeblatt muss aus einem härteren Material bestehen als das zu sägende Material. Heute sind das in der Regel Bi-Metall-Sägeblätter. Diese Sägeblätter haben einen nicht gehärteten, eher zähen Rückenteil und gehärtete Zähne. Das Sägeblatt würde sofort zerbrechen, wenn der Rückenteil nicht weich und flexibel wäre. Mit solchen Sägeblättern können auch härtere Stahlsorten gesägt werden. Übrigens ist diese Bi-Metall-Technik keine Erfindung der Neuzeit, sie wurde von den Schmieden der Samurai-Schwerter erfunden.

Feinarbeiten

Eine weitere Säge, die in den Werkzeugbestand gehört, ist die Goldschmiede-Bügelsäge. Sie ermöglicht besonders feine Schnitte und wird für das Aussägen von Konturen und Ausbrüchen in Plattenmaterial verwendet. Man verwechsle sie nicht mit der Laubsäge aus Kindertagen, obwohl eine gewisse Ähnlichkeit besteht. Die Säge gibt es in unterschiedlichen Bügelgrößen, aber die Sägeblattlänge (130mm) ist immer gleich. Je höher der Bügel ist, desto tiefer kann man in eine Metallplatte einschneiden.

Die bescheidenere Verwandte der Goldschmiede-Bügelsäge ist die Puksäge, deren Bügel manchmal nur aus einem kräftigen, gebogenen Draht besteht; das Blatt wird nur durch die Federkraft des Bügels gehalten. Die im Bild auf der ersten Seite des Artikels gezeigte Puksäge von Sandvik ist eine stabilere Ausführung, bei der das Blatt durch Drehen des Griffs gespannt wird.

Die feinen Goldschmiede-Sägeblätter sind extrem schmal und sehr hart. Sie brechen beim Sägen gerne ab. Beim Arbeiten mit

Kurzinfo

- » **Metallsägen: Bügelsägen und Sägeblätter**
- » **Feilen: Von Hieben und Heften**
- » **Drehbarer Platinenhalter als praktische Übung**

Checkliste



Zeitaufwand:
3 Stunden



Kosten:
15 Euro

Werkzeug

- » Gewindeschneider M3 und M4
- » Flachstumpf-Feile Hieb 2
- » Schlosser-Bügelsäge 24er Blatt
- » Puk- oder Goldschmiedesäge mit hohem Bügel
- » Tischbohrmaschine oder Handbohrmaschine mit Bohrstander
- » Metallbohrer 1,8mm, 2,4mm, 3,2mm, 4,5mm, 6,1 mm
- » Maschinenschraubstock

Material

- » Alu-Blech 220mm x 140mm, 2mm stark
- » Aluminium-Quadratstab 10mm x 10mm, 200mm lang
- » Messing-Rundstab 6mm Durchmesser, 330mm lang
- » 4 Schrauben M4 x 8mm
- » 4 Schrauben M4 x 12mm
- » 4 Muttern M4
- » 8 Unterlegscheiben M4
- » 3 Knebel- oder Flügelschrauben M4
- » 4 Madenschrauben M3 x 4mm
- » Drehteller kugelgelagert, 120mm Durchmesser

Alles zum Artikel
im Web unter
[make-magazin.de/x5jg](https://www.make-magazin.de/x5jg)

diesen Sägen darf man niemals Druck ausüben oder das Sägeblatt verkanten; die Säge immer schön senkrecht zum Material führen, ansonsten war es das mit dem Sägeblatt. Immerhin kann man durch den verstellbaren

Bügel ein abgebrochenes Sägeblatt kürzer einspannen und so weiternutzen.

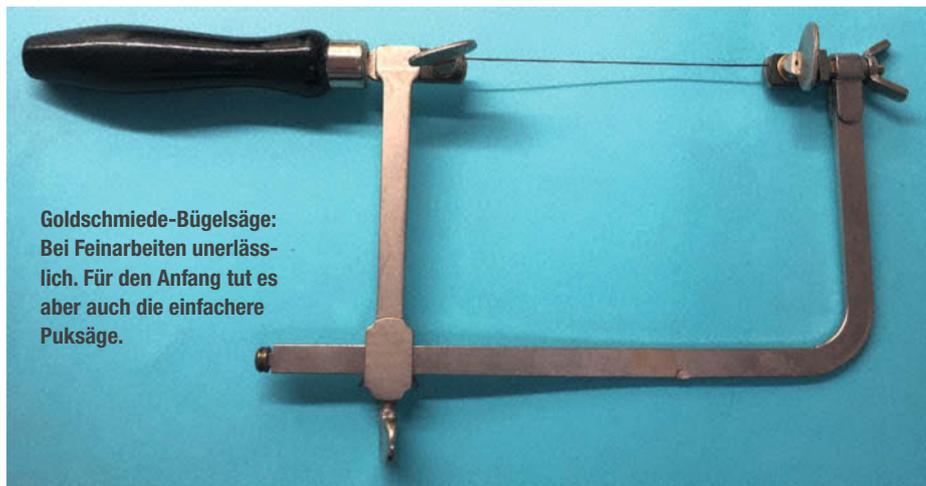
Anders als bei der Schlossersäge muss bei Goldschmiede- und Puksägen das Blatt *auf Zug* eingespannt werden, das heißt, der



Feilübung aus dem Jahre 1971 für Elektromechaniker-Lehrlinge, in sechs Wochen aus dem vollen Material (Baustahl ST37, heute 235JR+AR) gefeilt.



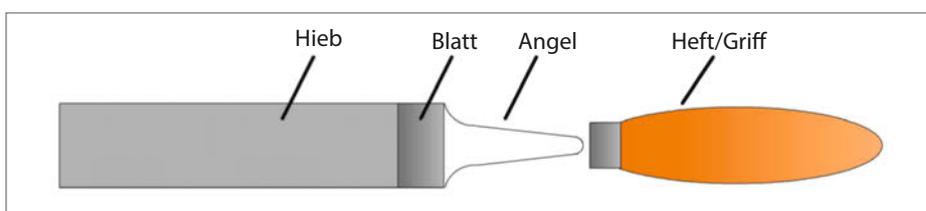
Klassische Schlossersäge DRP 1931 mit 300mm Blattlänge: Auch im jahrzehntelangen Gebrauch „unkaputtbar“.



Goldschmiede-Bügelsäge:
Bei Feinarbeiten unerlässlich. Für den Anfang tut es aber auch die einfachere Puksäge.

Metall-Sägeblätter

Bezeichnung	Abmessungen / Zähne pro cm
3	0,36 × 0,75mm / 16
2	0,34 × 0,70 mm / 18
1	0,30 × 0,60 mm / 20
0	0,28 × 0,56 mm / 22
2/0	0,26 × 0,52 mm / 24
3/0	0,24 × 0,48 mm / 26
4/0	0,22 × 0,40 mm / 28
5/0	0,20 × 0,40 mm / 30
6/0	0,18 × 0,36 mm / 32
7/0	0,17 × 0,34 mm / 34



Bestandteile einer klassischen Feile. In der Nähe der Angel ist meist Hieb-Nummer und Hersteller eingestanz.

Feilen

Hieb-nummer	Bezeichnung	Hiebzahl/cm
0	Grobfeile	4,5 bis 10
1	Schrupffeile	5,3 bis 16
2	Halbschlichtfeile	10 bis 25
3	Schlichtfeile	14 bis 35
4	Doppelschlichtfeile	25 bis 50
5	Feinschlichtfeile	40 bis 71

Materialabtrag geschieht beim Ziehen am Griff. Auch die 130mm-Sägeblätter gibt es in verschiedenen Zahnabständen.

Die Schlosser-Bügelsäge ist beim Arbeiten ebenfalls stets senkrecht zu halten; bei schrägen Schnitten spannt man besser das Werkstück schräg ein, so dass der Sägeschnitt wieder senkrecht steht. Achtet man nicht auf einen geraden Schnitt, verklemmt sich das Blatt und das Sägen fällt immer schwerer.

Kurvenschnitte sind aus diesem Grund mit der Bügelsäge nicht möglich, bei behutsamem Arbeiten und nicht zu engen Radien aber sehr

wohl mit dem schmalen Goldschmiede-Sägeblatt. Nutzen Sie aber möglichst immer die gesamte Länge des Sägeblatts, schließlich haben Sie auch für alle Sägezähne bezahlt!

Bei der Bügelsäge darf man das Sägeblatt (nur!) bei der Vorwärtsbewegung leicht andrücken, falls das Eigengewicht der Säge nicht ausreicht. Das Sägen von schwer zerspannbaren Metallen (z.B. Edelstahl) fällt leichter, wenn man den Sägehub in einer leicht bogenförmigen Bewegung ausführt: Dadurch greifen weniger Zähne zeitgleich ins Material als bei einer streng geraden Bewegung.

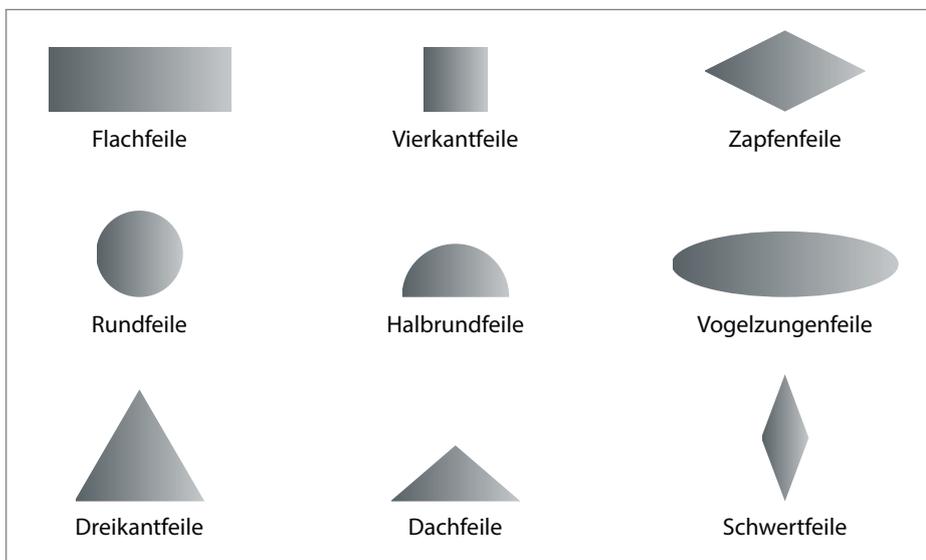
Je höher die Zahl der Zähne pro Zentimeter ist, desto feiner wird der Sägeschnitt. Die Blätter mit niedriger Zähne-Zahl sind für Weichmetalle (Aluminium, Kupfer) und Kunststoffe gut geeignet, die mit hoher Zähne-Zahl sind für härtere Metalle gedacht.

Genau wie bei der Holzverarbeitung gibt es hier auch maschinelle Pendants: Kreis-, Stich-, Kapp- und Bandsägen und sogar elektrisch angetriebene Bügelsägen. Sie unterscheiden sich von den Holzbearbeitungsmaschinen durch die eingesetzten Sägeblätter, die Werkzeuggeschwindigkeit und gegebenenfalls ein Kühlschmiersystem (KSM-Pumpe) zum Kühlen der Sägeblätter. Derlei maschinelle Unterstützung ist für das gezeigte Projekt natürlich nicht erforderlich.

Feilen

„Es sprach der Dreher Eilig: Was ich nicht dreh', das feil ich.“ – Was sich nach einem flachen Spruch anhört, ist in Wahrheit eine gute Beschreibung des Einsatzes einer Feile: Unter den spanenden Arbeitsverfahren ist das Feilen das flexibelste. Metallfeilen gibt es schon seit dem frühen Mittelalter; der Beruf des Feilenhauers bildete sich aus dem Schmiedehandwerk und war nach wenigen Jahren ein eigener Lehrberuf.

Profis kaufen ihre Feilen eher nicht im Baumarkt und schon gar nicht als Sortiment aus fernöstlicher Billig-Produktion, sondern im Werkzeughandel. Selbst als Anfänger sollte



Die gängigen Feilen-Querschnitte: Für den Anfang genügen Flach-, Rund- und Dreikantfeile.

man auf eine gute Qualität achten, sonst macht das Arbeiten einfach keinen Spaß. Auf Flohmärkten wird man bisweilen fündig: Wenn als Hersteller zum Beispiel *F. Dick* oder *Pferd* draufstehen, hat man schon gewonnen - solange das Werkzeug noch scharf (mit der Fingerkuppe prüfen: die Feile muss „kratzen“) und nicht verrostet ist.

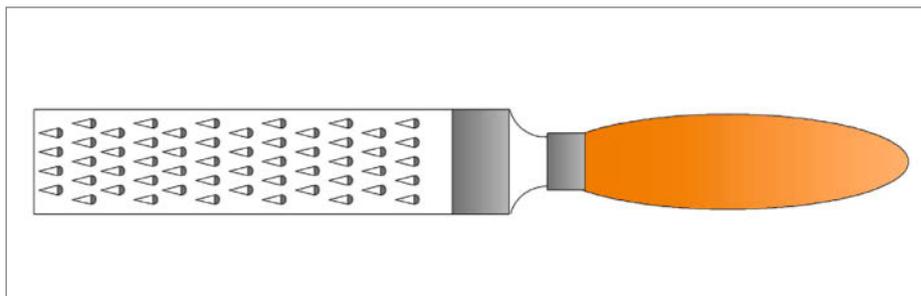
Eine klassische Feile besteht aus dem Blatt mit dem Hieb, der Angel und dem Heft/Griff. Der Hieb ist der spanende Bereich der Feile. Dieser Bereich wird nach dem Einhauen des Hiebs gehärtet und sorgt für die Späne beim Arbeiten. Das Blatt einer Feile ist nur auf einer Seite exakt flach und gerade. Die andere Seite hat eine leicht nach außen gebogene Fläche, sie ist *ballig*. Die Wölbung erleichtert beim *Schruppen* (grobes Abtragen) das Feilen von größeren Flächen. Die Angel ist nicht gehärtet und wird in das vorgebohrte Heft (Griff) gesteckt. Der Griff besteht meist aus Holz und ist für die Blasen an den Händen von Millionen von Lehrlingen verantwortlich, die wochenlang in den Lehrwerkstätten das Feilen lernten.

Neben den gezeigten Formen unterscheiden sich Feilen auch durch ihren Hieb, der raue Teil der Feile. Es werden drei grundlegende Hiebarten unterschieden (siehe Bilder). Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal einer Metallfeile ist die Anzahl der Hiebe pro Zentimeter. In eine Werkstattausrüstung gehören Flach- und Rundfeilen mit Hiebnummer 1, 2 und 3. Feilen mit Sonderformen (Dreieck, Halbrund etc.) haben meist Hieb 2, weil mit ihnen selten größere Späne-Mengen produziert werden. Muss man harte Werkzeugstähle nachbearbeiten, ist man mit der klassischen Feile falsch ausgerüstet. Für diese Aufgabenstellung gibt es Diamantfeilen. Diese haben keinen Hieb, sondern sind mit Diamantstaub beschichtet.

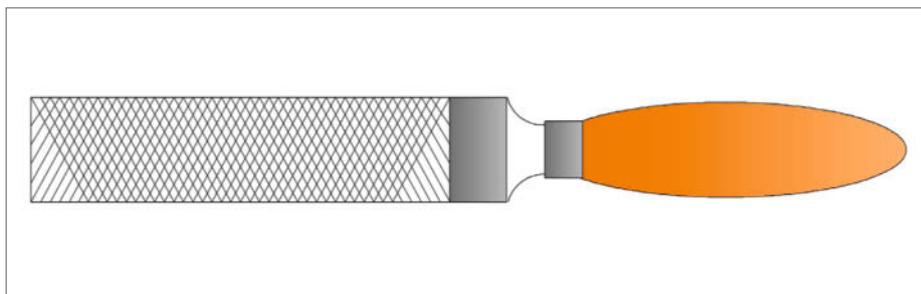
Neben den bisher besprochenen großen Werkstattfeilen gibt es auch kleinere Exemplare. Sie werden als Schlüsselfeilen bezeichnet, weil man damit früher den Bart eines Schlüssels gefeilt hat (heute macht das natürlich eine Kopierfräse). Meist sind es Feilen mit Hieb 2 bis 4. Sie besitzen häufig kein eigenes Feilenheft und werden stattdessen in spezielle Feilenhalter eingesetzt. Zur Aufbewahrung die Feilen möglichst nicht übereinanderlegen (die Zähnchen werden sonst stumpf) und weitab von Messwerkzeugen und trocken lagern.

Haltungssache

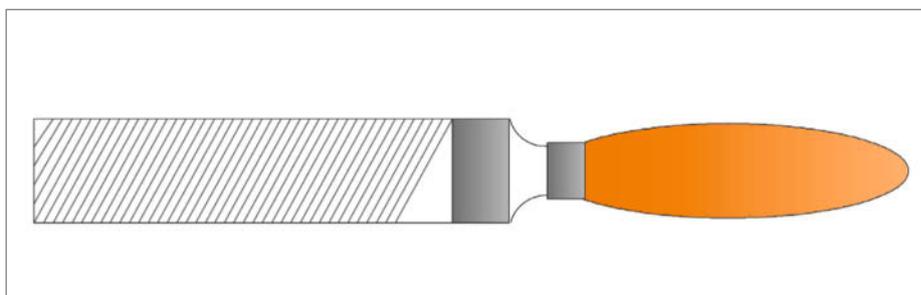
Das zu bearbeitende Werkstück muss fest in einem Schraubstock eingespannt sein; bei Blechen und Stäben so, dass möglichst wenig Material vibrieren kann. Für Rechtshänder gilt: Feilenheft in die rechte Hand, linke Hand auf das Ende des Feilenblatts, festen Stand einnehmen, indem man einen Fuß leicht nach vorne stellt. Nun schiebt man die Feile mit der



Raspelhieb: Das Blatt wird nur punktförmig behauen, der Abstand zwischen den Zähnen ist sehr groß. Diese Feilen eignen sich nur für die Holzbearbeitung.



Kreuzhieb: Das Blatt ist kreuzweise behauen. Für härtere Materialien wie Alu, Stahl, Messing usw.



Einhieb: Das Blatt wird nur einmal in einer Reihe mit Zähnen gehauen. Für weiche Materialien wie Zinn, Kupfer, Kunststoffe usw.

rechten Hand nach vorne und drückt mit der linken Hand die Feile auf das Werkstück; die horizontale Richtung darf sich während des Hubs nicht ändern, sonst gibt es unschöne Verrundungen.

Späne werden nur bei der Vorwärtsbewegung abgenommen. Um nicht nach drei Feilenhüben schon Rückenschmerzen zu haben, muss die Höhe des Schraubstocks stimmen – das ist der Fall, wenn der Ellenbogen etwa einen rechten Winkel bildet. Für Linkshänder natürlich alles umgekehrt, nur die Feile bleibt die gleiche: Gerne wurden Lehrlinge von den Altgesellen auf die Suche nach der Linkshänder-Feile geschickt ...

Um Riefen zu vermeiden, wechselt man alle paar Hübe die Feil-Richtung um 60 bis 90 Grad. Riefen werden auch von Spänen verursacht, die sich gerade bei weicheren Metallen wie Aluminium gern hartnäckig in den Zähnen festsetzen. Sie lassen sich nur schwer aus den



Schlüsselfeilen mit Halter, rechts Rundfeile Hieb 1



Die richtige Haltung beim Feilen setzt eine angemessene Höhe des Schraubstocks voraus, damit der rechte Arm um seinen „unteren Totpunkt“ pendeln kann – hier ist die (störende) horizontale Bewegung am geringsten.

Zähnen entfernen (Messing-Drahtbürste verwenden). Besser ist es, wenn es gar nicht erst dazu kommt: Es hilft, die Feile mit Schulkreide einzureiben und die Späne öfter abzubürsten.

Praxis

Nach so viel Theorie kommt nun die praktische Anwendung des zuvor gelesenen. Unser selbstgebauter SMD-Bestückungshalter kann Platinen bis zum Eurokarten-Format

(100mm × 160mm) einspannen. Er sitzt auf einem Drehlager und ermöglicht so ein bequemes Arbeiten bei der fummeligen Bestückung; man kann die Platine stets so ausrichten, dass die Bauteile-Pads in Richtung der Bestückungspinzette liegen. Der Halter verfügt über drei Haltenuten, die längs der beiden Achsen beliebig verstellt werden können. Eine Feder am mittleren Haltepunkt ermöglicht das Entfernen der Platine, ohne die vorgenommenen Einstellungen zu verändern. Drei Haltepunkte



Handsägeschnitte sind rau und selten maßhaltig (links). Nach dem Feilen sieht die Sache anders aus (rechts); in der Struktur der Oberfläche erkennt man noch die zwei Feil-Richtungen. Zum Schutz der Werkstücke haben wir in unseren Schraubstock Alu-Winkel eingelegt.

spannen auch runde oder ungleichmäßig geformte Platinen zuverlässig ein.

Los geht es mit der Herstellung der Grundplatte. Die Zeichnungen sind als Skizzen zu betrachten und sind nicht normgerecht, sie dienen nur als Anhaltspunkt. Auf das 2mm starke Alu-Blech wird ein Rechteck von 140mm × 220mm aufgezeichnet. Hierzu eignet sich am besten ein permanent haftender Filzstift. Entlang der Linie wird die Platte mit der Goldschmiede-Säge ausgeschnitten.

Wenn man die Platte mit Schraubzwingen waagrecht an der Tischkante fixiert, geht das auch mit der Bügelsäge, die man aber mit tiefer werdendem Schnitt immer flacher ansetzen muss. Bei längeren Schnitten ist das recht mühsam, und der gut ausgerüstete Maker wird hier gern mit einer elektrischen Stichsäge und Metall-Sägeblatt (bei Alu-Blechen) oder einem Winkelschleifer (bei Stahl- und Edelstahlblechen) „schummeln“ wollen.

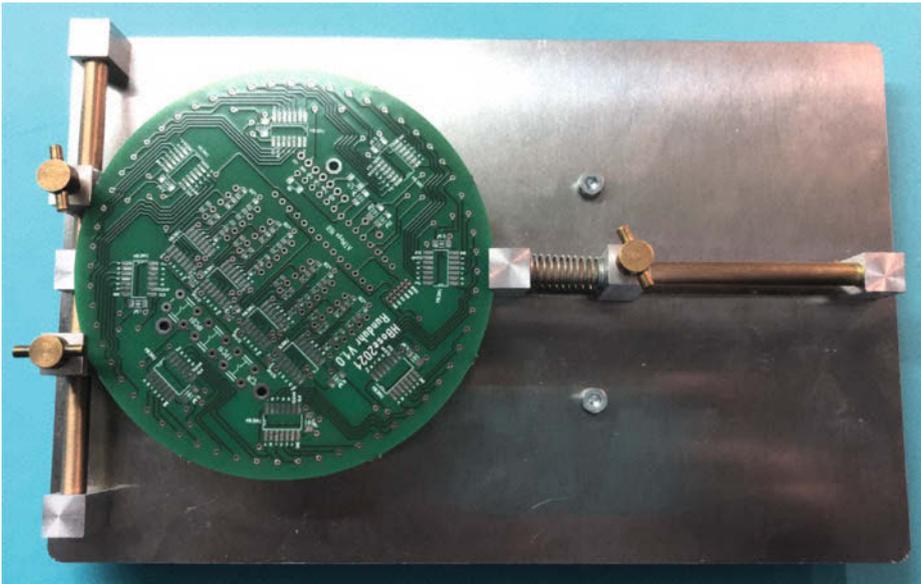
Um sich Arbeit zu sparen, nutzt man zwei der schon vorhandenen Kanten des Bleches und hat so nur zwei Sägeschnitte zu erledigen. Die Ränder der Grundplatte werden anschließend mit der Feile geglättet, entgratet und die Ecken rund gefeilt. Darauf achten, dass alles gerade ist und die Ecken schön gleichmäßig rund sind. Zum Entgraten bewegt man die Feile nicht quer, sondern längs zur Kante.

Als nächstes wird die Grundplatte gebohrt. Um sich das mühsame Anreißen zu sparen, drückt man die Vorlage im Maßstab 1:1 auf Papier, schneidet die Umrisse aus und klebt das Blatt auf die vorbereitete Alu-Platte. Nun kann man die Bohrungen direkt ankörnen (mehr zum Ankörnen und Bohren lesen Sie ab Seite 38). Nach dem Bohren und Entgraten ist die Platte schon fertig.

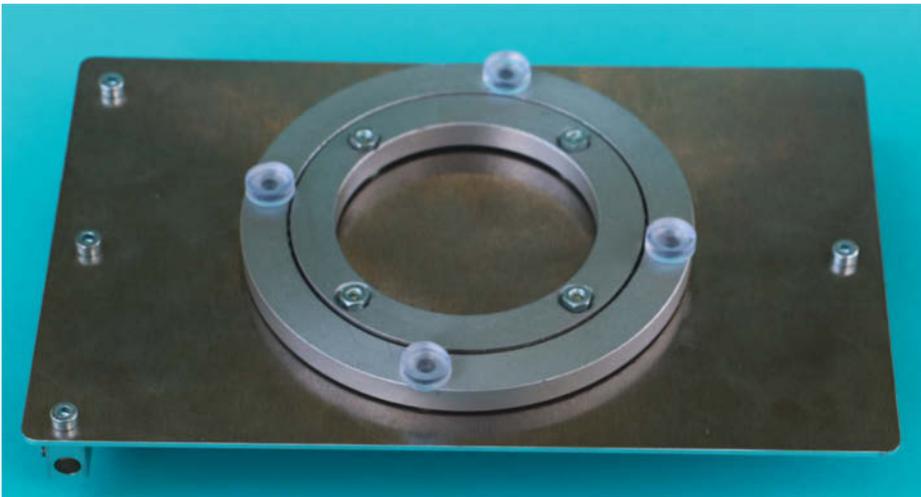
Messingstäbe

Die beiden 6mm-Messingstäbe werden angezeichnet und mit der Bügelsäge mit leichtem Übermaß (+1mm) abgesägt. Damit die Bügelsäge nicht abrutscht, das Anfeilen der Kerbe am Anriss (ein halber Millimeter reicht, am besten mit einer Dreikantfeile, es geht aber auch mit der Kante einer Flachfeile) nicht vergessen. Anschließend wird mit der Feile das Endmaß der beiden Messingstäbe hergestellt (130mm und 195mm, mit der Anreißnadel anzeichnen).

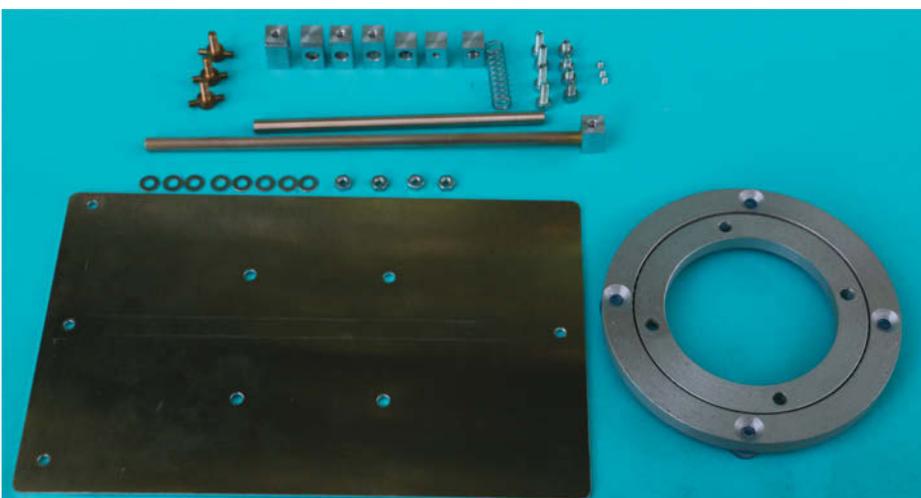
Von der Alu-Vierkantstange sägen wir dann vier 17mm lange Stücke und vier 22mm lange Stücke mit der Bügelsäge ab. Mit der Feile auf beiden Stirnseiten auf 15mm bzw. 20mm Endmaß feilen: Mit Reißnadel anzeichnen, senkrecht in den Schraubstock spannen, exakt waagrecht feilen und zwischendurch mit einem Anschlagwinkel auf Rechtwinkligkeit kontrollieren. Um eine möglichst glatte Fläche zu erhalten, die Feile mit Schulkreide einreiben. Hier kommt es auf die richtige Körperhaltung



Nicht nur für runde Platinen: Drehbarer Bestückshalter als Mini-Feilübung.



Ein kugelgelagerter Drehteller an der Unterseite ermöglicht jederzeit eine ergonomisch sinnvolle Ausrichtung der Platine.



Vorbereitete Einzelteile: Die Klötzchen und Stäbe werden aus Stangenmaterial selbst gefertigt.

Router sicher im Griff!



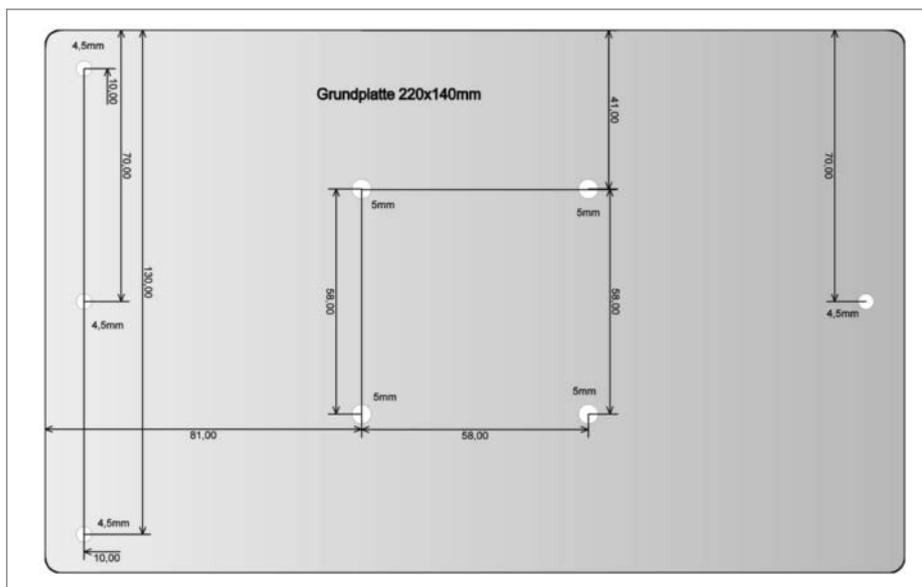
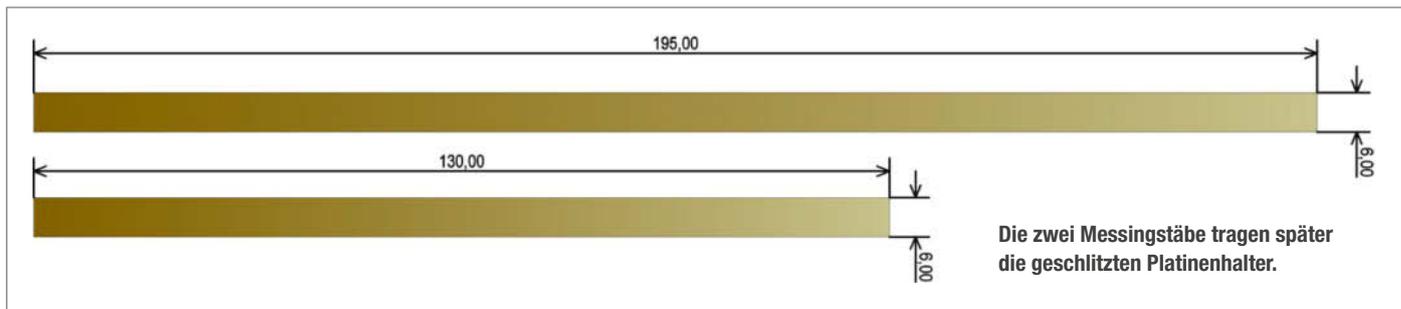
Heft + PDF
mit 29% Rabatt

- ▶ Ihre Fritzbox absichern, erweitern, tunen
- ▶ Auch im Set mit Fachbuch erhältlich
- ▶ Über 170 Seiten konzentrierte c't-Expertise
- ▶ Für Abonnenten portofrei

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € •
im Set 29% günstiger!

shop.heise.de/ct-fritzbox21

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 €. Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.



Die Grundplatte besteht aus 2mm starkem Aluminium. Die Pläne zum Projekt finden Sie online unter dem Link im Info-Kasten.

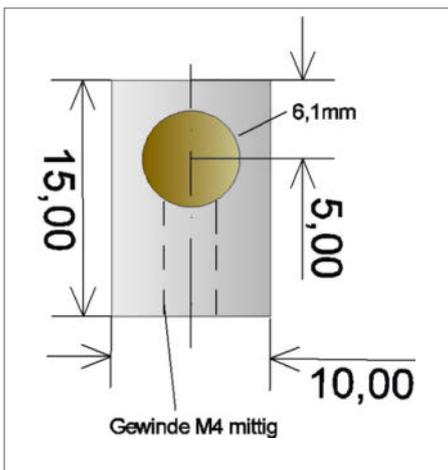
an: Wenn die Feile „wippt“, erreicht man nur schwer ebene, zur Längsseite rechtwinklige Stirnflächen. Aus den vier Alustücken mit 15mm werden nun drei verschiedene Stützen für die Messingstäbe erstellt. Aus den 20mm-Stücken werden die Platinenhalter gefertigt.

Hier kommt man um das sorgfältige Anreißen und Ankören der Bohrungen nicht herum; die gelingen natürlich nur mit einer Tischbohrmaschine oder wenigstens einem Bohrständler und einem guten Maschinenschraubstock exakt. Werkstücke fest und

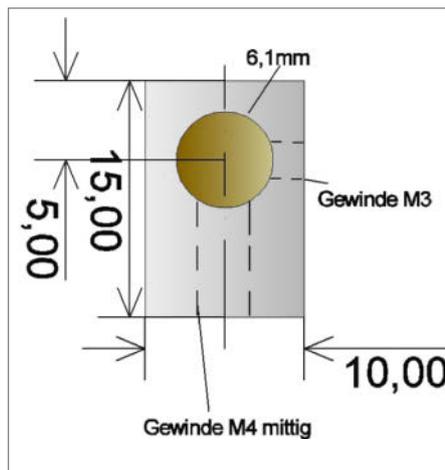
gerade ausgerichtet einspannen! Die 6,1mm-Löcher werden optional mit 1,8mm vorgebohrt. Besonders schöne und glatte Bohrungen in Aluminium erzielt man, wenn man etwas Spiritus auf den Bohrer gibt. Anschließend Bohrungen mit einem Kegelsenker entgraten und mit einem Gewindebohrer die angegebenen Gewinde einschneiden. Mehr zum Gewindeschneiden lesen Sie ab Seite 44.

Nach Bearbeitung aller Einzelteile und Kontrolle (gleiten die „losen“ Klötzchen klemmfrei über die Stangen? Gegebenenfalls Löcher mit einer runden Schlüssel feile aufweiten) darf man zum Schluss alles zusammenschrauben: Der Drehteller wird mit den längeren M4-Schrauben und vier Muttern befestigt. Je zwei Unterlegscheiben zwischen Blech und Innenring verhindern, dass die chinesischen Toleranzen der Drehringe zu Schleifgeräuschen führen. Die vier Stützen befestigt man erst einmal lose mit den kurzen M4-Schrauben und führt dann wie oben im Bild gezeigt die Messingstangen mit Feder und Platinen-Klemmblocken ein. Die Madenschrauben kommen in die Stützen der Messingstäbe und fixieren diese.

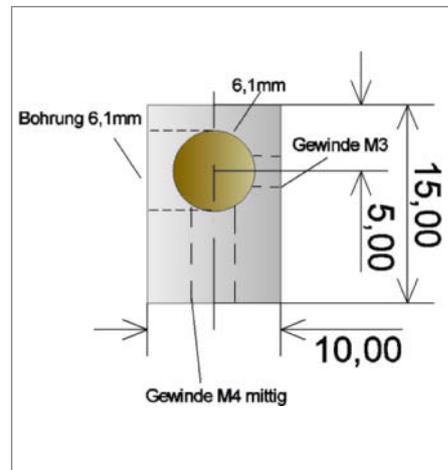
Das war doch alles nicht so schlimm, oder? Wer sorgfältig gearbeitet hat, darf sich nun über ein praktisches Hilfsmittel freuen und hat andererseits aber auch Feilen und Sägen geübt. —cm



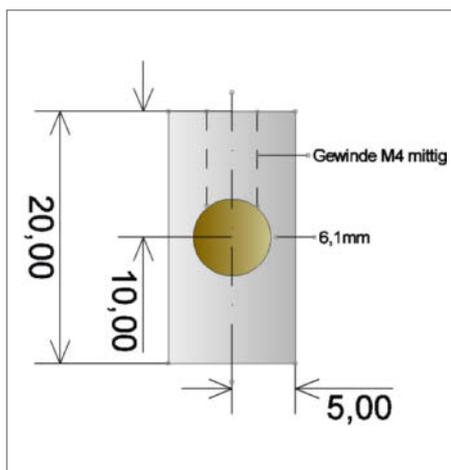
Die mittige hintere Stütze erhält von unten ein M4-Gewinde, das stirnseitig mit 3,2mm vorgebohrt wird. Löcher für die M3-Gewinde bohrt man mit 2,4mm vor.



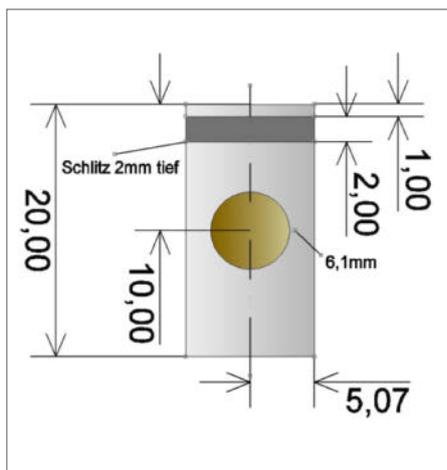
Die zwei seitlichen Stützen erhalten zusätzlich zum M4-Gewinde noch ein seitliches M3-Gewinde zum Klemmen der Messingstange mit einer Madenschraube.



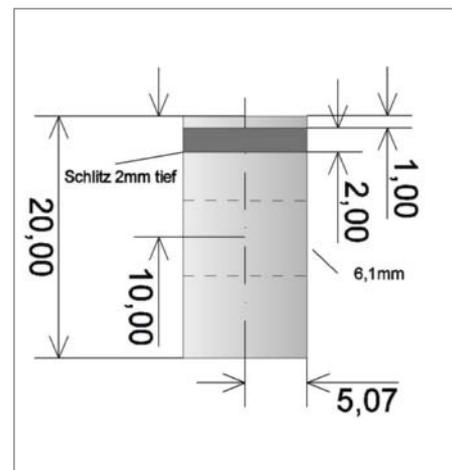
Die mittige Stütze nimmt sowohl den kurzen Querstab als auch den Längsstab auf, wird also von beiden Seiten gebohrt. Das M3-Gewinde dient zur Befestigung des Querstabes.



Das verschiebbare Widerlager für die Feder wird mit einer M4-Flügelsschraube fixiert. Sollte die Messingstange klemmen, das 6,1mm-Loch mit einer runden Schlüsselfeile aufweiten.



Der bewegliche Platinenhalter für die Längsstange wird mit Federkraft an die Platine gedrückt. Der Schlitz für die Platine wird vorsichtig mit der Bügelsäge hergestellt.



Von den beweglichen Platinenhaltern für die Querstange werden zwei Stück benötigt. Das M4-Gewinde (mittig von oben, für die Knebelsschrauben) ist hier nicht eingezeichnet.



Beim Bohren von Aluminium gibt man für ein besonders riefenarmes, glattes Ergebnis ein paar Tropfen Spiritus auf Bohrer und Bohrloch. Beim 6mm-Loch eine geringe Geschwindigkeit wählen, sonst rattert der Bohrer.



Beim Gewindeschneiden auf einen senkrechten Ansatz des Gewindebohrers achten. Alle zwei Umdrehungen eine halbe Umdrehung zurück, damit die Späne brechen. Auch hier hilft Spiritus für ein müheloses Schneiden.

Tools für Maker



PORTOFREI
AB 20
BESTELLWERT

 heise Shop

shop.heise.de/tools

Bestellen Sie ganz einfach online unter shop.heise.de oder per E-Mail: service@shop.heise.de

Bohren in Metall

Heimwerker und Maker stehen häufig vor der Aufgabe, ein Loch oder mehrere Löcher in Metall an exakten Stellen zu bohren. Wie das gelingt, zeigt dieser Beitrag.

von Hermann Dengler



Wir gehen im Artikel davon aus, dass es sich bei den zu bearbeitenden Metallen um Aluminium, Messing oder Stahl handelt. Dies sind die im Maker-Bereich häufig verwendeten Metalle. Um ein Loch manuell exakt zu bohren, muss man es auf der Oberfläche des Werkstücks zunächst genau anzeichnen. Gibt man dem Metallbohrer dann noch ein wenig Führung, kann er nicht so leicht abrutschen und die Löcher lassen sich auf einen Zehntelmillimeter genau bohren.

Anreißen

Dem eigentlichen Bohrvorgang geht das Anreißen voraus. Es dient dazu, die exakte Position des Mittelpunkts des Bohrlochs auf dem Werkstück zu markieren. Dazu benutzt man eine **Reißnadel** und ein **Lineal**, letzteres am besten aus Metall. Plastik- oder Holzlineale sind aufgrund der weichen Kanten weniger geeignet.

Zum Anreißen auf Stahl ist eine Reißnadel mit gehärteter Spitze notwendig. Wird Aluminium, Messing oder verzinktes Blech bearbeitet genügt auch ein spitz zugeschliffener Nagel. Die Mitte der Lochposition wird mit zwei sich kreuzenden Linien gekennzeichnet.

Werden mehrere identische Werkstücke gebohrt, kann auch die Anfertigung einer Bohrschablone, zum Beispiel aus Hart- oder Sperrholz, sinnvoll sein. Dann kann man sich das Anreißen und das Ankören sparen.

Ankören

Das Lochzentrum wird nun durch Ankören markiert. Die damit erzeugte kegelige Vertiefung dient dazu, dass der Bohrer nicht „verläuft“. Zum Ankören sind **Körner** und **Hammer** sowie eine nicht federnde Unterlage (Werkbank oder Schraubstockauflage) erforderlich. Je nach eigener Restsehschärfe empfiehlt es sich, eine Augen- respektive Uhr-



Reißnadel und Körner

Kurzinfo

- » Kleine und große Löcher an exakten Positionen bohren
- » Anreißen und Ankören
- » Bohrer auswählen und Drehzahl einstellen

Material

- » Metallbleche

↓ Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xb9s

Werkzeug

- » Körner
- » Reißnadel oder Stahl Nagel
- » Stahllineal
- » Hammer
- » Maschinenschraubstock
- » Schraubzwinde
- » Bohrmaschine mit Ständer
- » Senkbohrer, Stufenbohrer
- » Bohrer
- » Meißel
- » Feile

macherlupe ins Auge zu klemmen und den Körner so exakt wie möglich anzusetzen.

Der Körner hat eine Spitze im Winkel von etwa 60° und wird mit einer Hand auf das Zentrum des angerissenen Fadenkreuzes gesetzt und mit der anderen Hand erfolgt der Hammerschlag auf den Körnerkopf. Gelingt es nicht beim ersten Mal, das Zentrum zu treffen, kann durch Schrägstellung des Körners die Vertiefung etwas verschoben werden.

Bohren

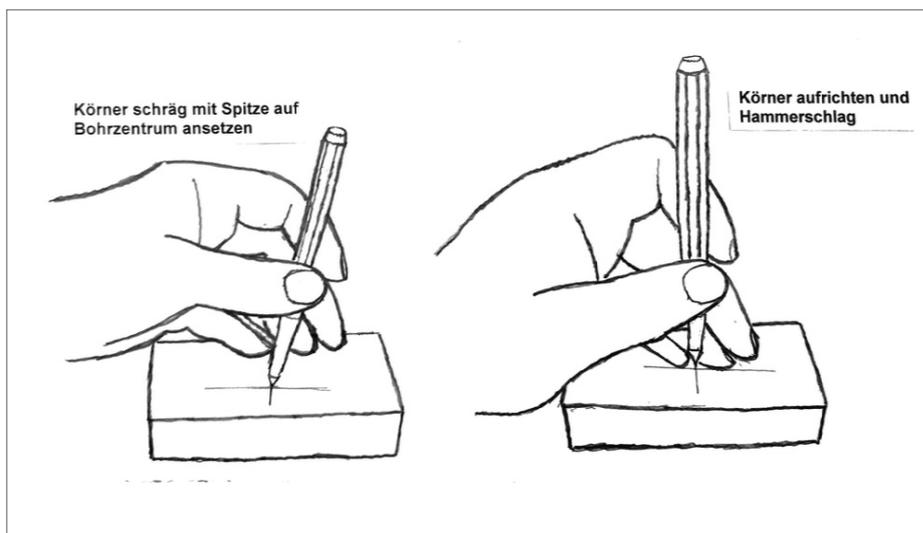
Die notwendigen Vorarbeiten sind jetzt erledigt. Zum Bohrvorgang benötigen wir eine **Bohrmaschine**, einen **Metallbohrer** mit dem gewünschten Durchmesser und einen **Maschinenschraubstock**. Im einfachsten Fall verwenden wir eine Handbohrmaschine. Komfortabler ist eine Ständerbohrmaschine oder als einfachere Ausführung ein Bohr-

Vorsicht

Wenn leichtsinnig gebohrt wird, können beim Bohren in Metall schlimme Verletzungen entstehen. Deshalb sind die Sicherheitshinweise vom Werkzeug- oder Maschinenhersteller unbedingt zu beachten.

Besonders wichtig:

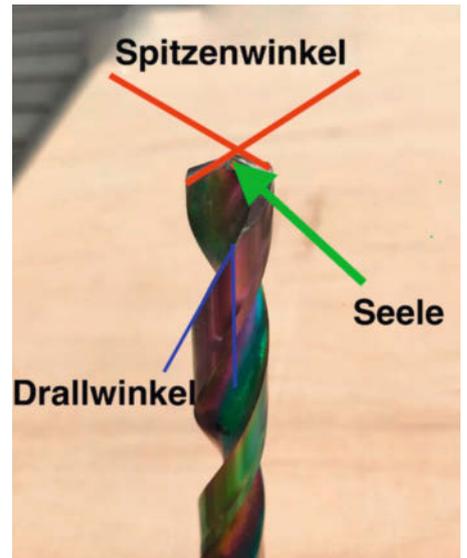
- Sicheres Einspannen der Werkstücke
- Bohrspäne nicht anfassen
- Haarnetz bei langen Haaren verwenden
- Vor jedem Bohrvorgang die Einspannung des Bohrers und des Werkstückes prüfen



So setzt man den Körner richtig an.



So bringt man die Spannpratzen richtig am Werkstück an.



Die verschiedenen Winkel eines Spiralbohrers



Ein Stufenbohrer zum Aufweiten eines Bohrlochs

Das zu bearbeitende Werkstück sollte in einem Maschinenschraubstock eingespannt werden. Bei Abmessungen, die ein Einspannen nicht ermöglichen, wird das Werkstück mit **Spannpratzen** auf dem Tisch des Bohrständers befestigt. Im einfachsten Fall kann man sich die Spannpratzen auch selbst anfertigen, etwa aus Holz.

Bei Verwendung der Handbohrmaschine kann das Werkstück einfach mittels **Schraubzwinde** festgemacht werden. Das Einspannen des Werkstückes ist besonders wichtig, wenn Blech gebohrt wird. Wird das Werkstück nur mit der Hand festgehalten, können dabei schlimme Schnittverletzungen entstehen, wenn es plötzlich aus der Hand gerissen wird. Auch bei kleineren Löchern kann der Bohrer verhaken.

Der richtige Bohrer

Zum Bohren setzt man in der Regel Spiralbohrer aus Schnellarbeitsstahl (HSS, *High Speed Steel*) ein. Bohrer aus einfachem Werkzeugstahl sollten nicht verwendet werden. Werkzeugstahl verliert schon bei Temperaturen, die beim Bohren an der Spitze vorkommen können, wenn nicht gekühlt wird, seine ursprüngliche Härte und damit die Schärfe der Schneide.

Für die Geometrie des Bohrers sind zwei Winkel wichtig: Der *Spitzenwinkel* und der *Drallwinkel*. Zum Bohren von Stahl nimmt man einen Bohrer mit einem Spitzenwinkel von ca. 120° und einem Drallwinkel von etwa 30°. Bei weicheren Werkstoffen wie Aluminium wählt man einen Spitzenwinkel von 130° und einen Drallwinkel von 45°, bei Messing 130° und 15°.

Im DIY-Bereich kann man den Kompromiss eingehen und einheitlich den Bohrertyp für Stahl verwenden. Dies ist auch der Typ N (normale Spirale) nach DIN 1414-1/2 bzw. DIN338, der in der Regel im Baumarkt angeboten wird. Zu beachten ist jedoch, dass beim Bohren von Aluminium oder Messing größere Vorsicht geboten ist: Bei erhöhtem Druck auf den Bohrer zieht er sich in das Material hinein und kann leicht verhaken oder brechen. Also bei diesen Werkstoffen mit geringerem Druck und mehr Gefühl vorgehen!

Die Drehzahl (UpM = Umdrehung pro Minute) hängt vom Bohrerdurchmesser, vom Werkstoff des Werkstückes und vom Bohrerwerkstoff ab. Für die gängigen Werkstoffe und HSS-Bohrer zeigt die Tabelle *Drehzahlen* die maximale Geschwindigkeit.

Da die Drehzahlen nur bei teuren Ständerbohrmaschinen angezeigt werden, sind die Zahlen nur Anhaltspunkte. Bei älteren Ständerbohrmaschinen mit Riemenantrieb sollte man die nächst niedrigere Drehzahl konfigurieren. Bei Handbohrmaschinen oder Akkuschraubern/bohrern muss man die maximale Drehzahl in Relation setzen und gegebenenfalls mit der maximalen Drehzahl bohren.

Grundsätzlich ist es sinnvoll, eher mit geringeren Drehzahlen zu arbeiten. Im professionellen Bereich wird zusätzlich mit Schneidölemulsion, manchmal auch *Bohrmilch* genannt, gekühlt, um die Standzeit (Zeit zwischen zwei Schärfungen) möglichst

ständer, in den die Handbohrmaschine eingespannt werden kann. Werden öfter Löcher in Metall gebohrt, ist ein Bohrstander zum Einspannen der Bohrmaschine empfehlenswert. Diese Vorrichtung erlaubt Löcher exakt und senkrecht zu bohren, was mit einer Handbohrmaschine allein kaum möglich ist. Sollen Werkstücke mit geringer Toleranz und hoher Maßgenauigkeit hergestellt werden, wird eine Ständerbohrmaschine erforderlich.

Drehzahlen beim Bohren (UpM)

Bohrerdurchmesser (mm)	Werkstoff Stahl	Werkstoff Messing	Werkstoff Aluminium
5	1250	2200	3000
6	1100	1850	2600
8	800	1400	2000
10	650	1100	1600
12	550	900	1300
16	400	700	1000

lang zu halten. Im Maker-Bereich ist das nicht entscheidend. Auf eine Kühlung wird deshalb verzichtet, da das Kühlmittel auch aufgefangen und entsorgt werden müsste.

Große Löcher

Werden größere Löcher gebohrt, muss vorgebohrt werden. Vorbohren verhindert zum einen das Verlaufen des Bohrers und zum anderen verringert es die notwendige Kraft zum Eindringen des Bohrers. Sinnvoll ist das Vorbohren ab einem Bohrdurchmesser von 8mm. Vorgebohrt wird mit einem Bohrer, der den Durchmesser der Bohrerseele für den endgültigen Bohrer hat. Die Dicke der Bohrerseele kann mittels Schieblehre gemessen werden. Die Seele stellt quasi die Achse dar, um die herum sich die Spirale wickelt.

Sollen größere Löcher in Blech gebohrt werden, empfiehlt sich der Einsatz eines Stufenbohrers. Damit vermeidet man das Verhaken von Spiralbohrern in dünnem Blech.

Zentrierbohrer

Besitzt man eine Ständerbohrmaschine mit verfahrbarem Kreuztisch, kann man sehr maß-



Der Zentrierbohrer ermöglicht exaktes Bohren ohne Ankörnen.

genaue Bohrungen anbringen, indem man mit einem Zentrierbohrer vorbohrt. Dabei tastet man sich mit dem Zentrierbohrer an das Werkstück heran, bis der dünnere Durchmesser des Bohrers das Werkstück touchiert. Dann Zentrierbohrer wieder hochfahren. Mittels Skalenring kann dann der Abstand von der Werkstückkante zum Bohrlochmittelpunkt exakt angefahren werden. Dieser Vorgang muss von der X- und Y-Richtung eingestellt



Der Senkbohrer dient zum Entgraten und zum Versenken des Bohrlochs, um Senkkopfschrauben aufzunehmen.

Make:markt

BÜCHER / ZEITSCHRIFTEN



Der Verlag für kreative Köpfe!
Informatik und Elektronik können komplex, theoretisch und anstrengend sein. Es geht aber auch einfach, anschaulich und leicht nachvollziehbar – wenn man die Dinge in die eigenen Hände nimmt und zum »Maker« wird: Mit Büchern vom dpunkt.verlag.

www.dpunkt.de

METALLBAU



MakerBeam: Mini T-Nut Alu-Profil
Unbegrenzte Möglichkeiten in Modell- und Prototypenbau
Das MakerBeam Sortiment:
- 10mm & 15mm Profile
- Linearlager, Scharniere, Eckwürfel
- Halterungen für Servo & NEMA17
- M3 Schrauben, Nutensteine, Abstandshalter
www.makerbeam.de | www.chartup.com

MIKROCONTROLLER



Was Maker schon alles geschaffen haben!

Die Antwort und viele Beispiele finden Leser in unseren Zeitschriften „Space – das Weltraum Magazin“, „Wissen 2021“ und dem „Urknall“ vieler Computer- und Make-Enthusiasten – dem „Retro Gamer“.

www.emedia.de



christiani.de/arduino-education

Arduino® Education – bietet ein durchgängiges Lernkonzept mit Soft-, Hardware und Support

Leichter Einstieg in die Elektronik und Programmierung mit spannenden Projekten

- Inkl. Online Lernplattform mit verschiedenen didaktischen Unterrichtseinheiten
- Vermittlung der 21st Century Skills

Christiani

seit 1931



Lochzentrum und Lochkreis anreißen

werden. Entsprechend können dann bei mehreren Bohrungen die Lochabstände maßgenau und ohne Ankörnung eingestellt und gebohrt werden.

Egal wie und womit man nun bohrt: Der beim Bohren entstehende Bohrgrat muss entfernt werden. Dazu verwendet man den Senkbohrer, mit dem man eine kleine Fase an der Bohrlochkante anbringt. Den Senkbohrer



Mit einer Halbrundfeile feilt man sich langsam an den Rand des gewünschten Bohrlochs.



Lochkreis bohren

setzt man auch ein, um eine Senkung, also eine trichterförmige Vertiefung, herzustellen. Senkkopfschrauben lassen sich bei entsprechender Senkungstiefe plan im Werkstück verschrauben.

Riesenlöcher

Werden Löcher mit größerem Durchmesser erforderlich, beispielsweise 30mm, gibt es zwei Möglichkeiten: den Einsatz teurer diamantbesetzter Lochkreisbohrer oder mit einem kleinen Bohrer viele kleine Löcher in einem Lochkreis vorbohren, ausstemmen und das restliche Loch ausfeilen.

Da die Diamantlösung im Maker-Bereich sicher zu teuer ist und hauptsächlich im professionellen Bereich infrage kommt, wird im Folgenden das zweite Verfahren genauer erläutert. Sinnvoll ist es, wenn größere Löcher in Bleche oder Metallplatten bis etwa 10mm Dicke hineingeschnitten werden sollen.

Arbeitsschritte: Zuerst markiert man mit der Reißnadel das Lochzentrum. Nun körnt man das Lochzentrum an. Mit einem Zirkel mit gehärteten Spitzen reißt man den Lochkreis



Die Stege mit einem Meißel ausstemmen

mit dem gewünschten Radius an. Als nächstes reißt man mit dem Zirkel einen zweiten kleineren Kreis an. Auf ihm liegen später die Zentren der kleinen Bohrlöcher. Die Berechnung dieses Lochkreises finden Sie im Kasten *Lochkreis berechnen*.

Legen Sie nun das erste Bohrloch fest und reißen es an. Davon ausgehend reißen Sie die Zentren weiterer Löcher an. Der Abstand der Zentren zueinander beträgt Bohrerdurchmesser + 0,5mm Stegbreite. Können Sie nun alle Bohrlöcher an und bohren Sie diese. Die Stege zwischen den Bohrungen durchtrennt man mit einem Meißel. Schließlich feilt man die Bohrung mittels einer Halbrundfeile bis zum Anriss der gewünschten Bohrung. Das Werkstück spannt man dazu im Schraubstock ein oder klemmt es mit einer Schraubzwinde an einer Tischkante fest.

Auf ähnliche Weise können Sie auch eckige Aussparungen herstellen, etwa bei Frontplatten, die ein Display oder Wannen-Buchsen aufnehmen sollen. Statt mit dem Zirkels reißen sie dann gerade Linien an.

Viel Spaß beim Bohren in Metall! —dab

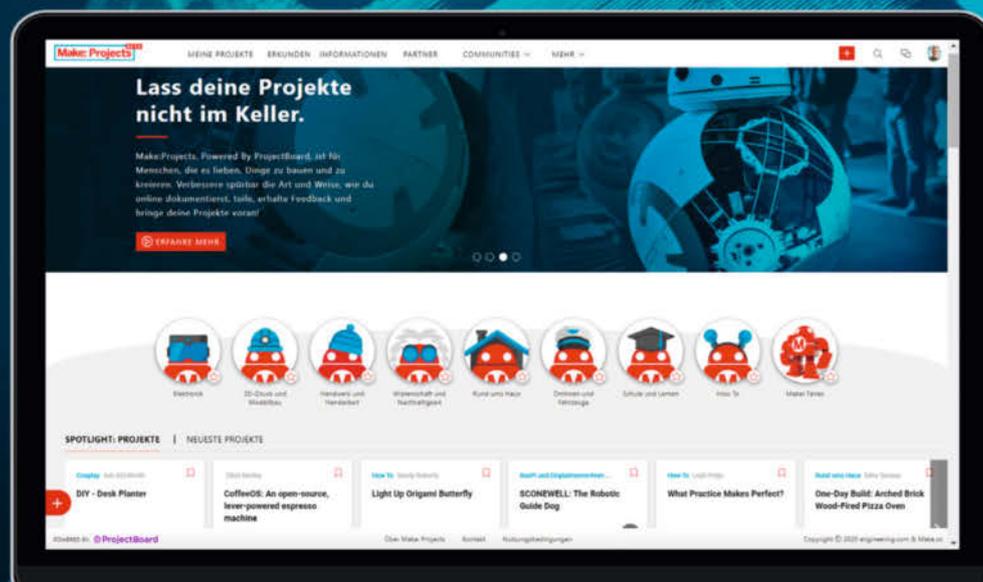
Lochkreis berechnen

Der Radius des kleinen Anrisskreises beträgt:
 $\text{Lochdurchmesser}/2 - 0,5\text{mm} - \text{Bohrerdurchmesser}/2$

Beispiel: Für ein Loch mit 30mm Durchmesser und bei einem gewählten Bohrer von 6mm Durchmesser ergibt sich der Radius:

$$30\text{mm}/2 = 15\text{mm} \text{ abzüglich } 0,5\text{mm} \text{ abzüglich } 6\text{mm}/2 = 3\text{mm} \text{ ergibt } 11,5\text{mm}$$

Make: Projects



**Zusammen mehr machen –
Teile deine Ideen, hol dir Inspiration,
revolutioniere deine Projekte**

... all das gemeinsam auf Make Projects!

www.makeprojects.com/de

© copyright by Make: Media GmbH



Gewinde schneiden in Metall

Um das Thema Gewinde kommt man als Maker kaum herum, denn geschraubt wird überall. Eine Spax bekommen wohl alle in ein Brett gedreht, aber vor der Herstellung von Gewinden in Metallwerkstücken schreckt der eine oder die andere jedoch zurück. Dabei sind solche Gewinde mit ein wenig Know-how absolut problemlos herzustellen. Hier führen wir Sie Schritt für Schritt an das perfekte Metallgewinde heran. Dabei helfen Tricks und Gadgets, von denen Sie vermutlich noch nie gehört haben. Viel Erfolg!

von Ulrich Schmerold

Es gibt viele verschiedene Gewinde für den Metallbereich: Metrisches ISO-Gewinde, Whitworth-Gewinde, Trapezgewinde, Rundgewinde, Sägewinde, Flachgewinde, Linksgewinde, Rechtsgewinde, Feingewinde und einiges mehr. Alle diese Gewinde in einem Workshop zu behandeln, sprengt natürlich den Rahmen bei weitem. Jedoch ist dies auch gar nicht nötig. Ich gehe davon aus, dass mindestens 90 Prozent der Gewinde, die ein Maker benötigt, metrische ISO-Innen- und Außen-gewinde sind. Auch im europäischen Maschinenbau ist dies die am meisten verbreitete Schraubenverbindung.

Zu Beginn müssen wir noch zwischen zwei grundlegenden Gewinden unterscheiden: Dem **Außengewinde**, also dem Gewinde an einem Rundmaterial (zum Beispiel an einer Schraube), und dem **Innengewinde**, dem Gewinde in einer Bohrung (etwa in einer Mutter oder einem Bohrloch).

Wir werden die Fertigung beider Gewindearten zeigen und beginnen mit dem Innengewinde.

Innengewinde

Die Werkzeuge, um ein Innengewinde zu bohren, sind in jedem Baumarkt und selbstverständlich im Internet für wenig Geld zu bekommen.

1 Einen Satz (= 3 Stück) Handgewindebohrer. Am Schaft haben diese entweder einen, zwei oder keinen Ring. Die Ringe haben folgende Bedeutung:

- Ein Ring – der Vorschneider. Mit ihm wird begonnen. Er hat einen sehr langen Anschnitt.
- Zwei Ringe – der Hauptschneider. Hiermit wird die Hauptschneidarbeit geleistet.
- Kein Ring – der Fertigschneider: Zuletzt wird nur noch ein kleiner Span für eine saubere Oberfläche abgenommen.

2 Alternativ kann auch ein Maschinengewindebohrer verwendet werden. Vor allem Neulinge in puncto Gewindeschneiden sollten jedoch lieber zu den Handgewindebohrern greifen, da sie durchaus zwei bedeutende Vorteile bieten: Sie brechen nicht so leicht ab wie der Maschinengewindebohrer und erleichtern es, Gewinde gerade zu schneiden.

3 Vor dem Gewindeschneiden muss natürlich erst ein Loch (das *Kernloch*) gebohrt werden. Dabei lautet die Formel für den richtigen Lochdurchmesser (Kernloch):

Gewinde-Nenndurchmesser – Gewindesteigung = Kernlochdurchmesser

Beispiel für M6: 6mm - 1,0mm = 5mm Kernlochdurchmesser

Da man sich die Gewindesteigungen nur selten merken kann, ist es meist leichter, sich die Werte aus einer Tabelle zu entnehmen.

4 Damit der Gewindebohrer später besser greift, sollte das Bohrloch mit einem Kegelsenk-
senker angefasst werden. Zudem sieht das Endergebnis auch professioneller aus.

Kurzinfo

- » Schneiden von Innen- und Außengewinden
- » Reparatur von Innengewinden mit Helicoil
- » Geheimtipps für ein besseres Gewinde
- » Richtiges Ablängen von Gewindestangen

Checkliste



Zeitaufwand:

ab 10 Minuten



Kosten:

Gewindebohrer ab 1 Euro

Material

- » Metall-Werkstücke die ein Gewinde erhalten sollen
- » Rundmaterial zum Üben des Gewindeschneidens

Werkzeug

- » Gewindebohrer und Windeisen
- » Schneideisen und Schneideisenhalter etwa Kombischneideisen oder *Universal-schneideisen 25 x 9 Werksnorm*
- » Bohrmaschine idealerweise Ständerbohrmaschine
- » Kegelsenk-
» Bügelsäge
» Feile
» Winkel oder Anschlagwinkel
» Bohr- und Schneidöl

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xjvz

Und los geht's!

8 Zum Beginn bohren wir das Kernloch. Den Bohrerdurchmesser entnehmen wir der Tabelle *Kernlochdurchmesser und Steigung metrischer Regelgewinde*.

Das Bohrloch muss möglichst genau senkrecht gebohrt werden. Wer hier bereits pfuscht, kann später kein sauberes (im Sinne von: gerades) Gewinde mehr herstellen. Wer also eine Ständerbohrmaschine (Säulenbohrmaschine) besitzt, ist gut beraten, diese auch zu benutzen.

Nach dem Bohren wird das Loch mit dem Kegelsenk-
senker angefasst.

9 Aus dem Satz Handgewindebohrer nehmen wir als erstes den Gewindebohrer mit

Was geht

Prinzipiell kann man in jedes Material ein Gewinde schneiden, das weicher ist als der benutzte Gewindebohrer: Alu ist prima, Stahl geht auch gut, Edelstahl ist schon recht zäh, geht aber noch. In gehärtete oder nitrierte Stähle kann man mit den üblichen Gewindebohrern und Schneideisen kein Gewinde mehr schneiden, da müsste man auf Funken-erodieren zurückgreifen.

Die handelsüblichen Werkzeuge zum Gewindeschneiden (Gewindebohrer und Schneideisen) sind fast immer aus *HSS* (*High Speed Steel* oder zu Deutsch: Schnell-arbeitsstahl). Es gibt aber auch noch höher legierte Stähle, etwa *HSS-Co 5*. Diese sind aber eher für Profis nützlich, ebenso Beschichtungen, die die Standzeit der Werkzeuge erhöhen. Für das allermeiste in der Maker-Werkstatt reicht *HSS* aus.



nur einem Ring am Schaft. Diesen führen wir in das Bohrloch ein und drehen ihn mit dem Windeisen zwei bis drei Umdrehungen in das Bohrloch. Dabei wird er vermutlich „wie ein nasser Kuhschwanz“ hin und her wedeln. Unsere Aufgabe ist es jetzt, den Gewindebohrer immer wieder in die Senkrechte zu bringen. Das Wedeln wird normalerweise immer kleiner, je tiefer wir im Bohrloch sind.

10 Ab der dritten Umdrehung ist es ratsam, immer wieder das Windeisen abzusetzen und mit einem Winkel zu kontrollieren, ob der Gewindebohrer wirklich senkrecht im Bohrloch steht. Selbstverständlich nicht nur in einer Richtung prüfen, sondern auch im 90°-Winkel dazu (auf den Bildern haben wir das durch das große schwarze Kreuz auf dem Werkstück angedeutet).

11 Bei einem nicht lotrechten Ergebnis ist noch nichts verloren! Einfach mit dem Windeisen langsam weiterdrehen und dabei

vorsichtig den Gewindebohrer in die Gegenrichtung drücken! Nach einer Umdrehung sollte das Ergebnis passen. Anderenfalls drehen wir wieder eine Umdrehung zurück und versuchen erneut, den Gewindebohrer in die richtige Richtung zu zwingen.

12 Ist der Vorschneider (ein Ring) komplett eingedreht und wieder entfernt worden, kommt der Mittelschneider (zwei Ringe) dran. Dieser muss die Hauptarbeit tragen. Aus diesem Grund ist es ab jetzt auch sinnvoll, ein Bohr- bzw. Schneidöl zu verwenden. Dies erleichtert die Arbeit und vermindert Werkzeugbrüche.

Ebenso ist es nun von Vorteil, immer wieder nach ein bis zwei Umdrehungen den Gewindebohrer eine halbe Umdrehung zurückdrehen, um den entstehenden Span zu brechen. Dadurch kann Schneidöl nachfließen und anschließend geht der Schneidvorgang wieder leichter vonstatten. Ansonsten geht es weiter wie beim Vorschneider: Zwei Umdre-

hungen eindrehen, Lotrichtigkeit überprüfen und gegebenenfalls korrigieren!

Zuletzt wird der Fertigschneider (kein Ring) eingedreht. Hier ist eine Kontrolle mit dem Winkel nicht mehr nötig. Sollte das Gewinde nach dem Mittelschneider noch schief sein, so wird es auch mit dem Fertigschneider nicht mehr gerade. Bohr- bzw. Schneidöl ist aber auch hier sinnvoll, da das Gewinde dann eine perfektere Oberfläche erhält.

12 Voila, ein perfektes Innengewinde!

Geheimtipp gegen Schiefelage

Der häufigste Fehler bei der Herstellung von einem Gewinde ist wohl, dass das Gewinde nicht lotrecht oder senkrecht gefertigt wird. So sind die Gewindegänge ebenfalls nicht sauber geschnitten und die verbundenen Teile sitzen nicht optimal aufeinander. Also brauchen wir eine Vorrichtung, die sich um die lotrechte Führung des Gewindebohrers kümmert. Und tatsächlich gibt es so etwas: Bei eBay etwa ist solch ein Satz Führungshilfen (M3 bis M12) für etwa 14 Euro zu haben 14.

Die jeweils passende Hülse wird einfach über den Gewindebohrer gestülpt und dann der untere Bund mit zwei Fingern oder einer Schraubzwinde fixiert 15.

Jetzt wird der Gewindebohrer exakt in der Senkrechten gehalten und das perfekte Gewinde entsteht 16. Simpel, aber effektiv! Wer einen 3D-Drucker hat und die Ausgabe scheut, kann sich die benötigten Hülsen sicher auch selbst herstellen.

Außengewinde

Um es gleich vorwegzunehmen: Wir müssen leider bei der Herstellung von Außengewinden auf Bolzen in der Regel etwas pfuschen. Mal angenommen, wir möchten auf ein Rundmaterial mit einem Durchmesser von 8mm ein Gewinde schneiden. Dann müsste das Rundmaterial eigentlich vorher auf 7,875mm abgedreht werden. Der Grund dafür ist, dass beim Gewindeschneiden das Material an den Gewindespitzen leicht nach außen gedrückt wird. Dadurch wird der Außendurchmesser des fertigen Gewindes geringfügig größer als der Ausgangsdurchmesser des Bolzens.

Die Faustformel für die Berechnung des korrekten Außendurchmessers lautet:

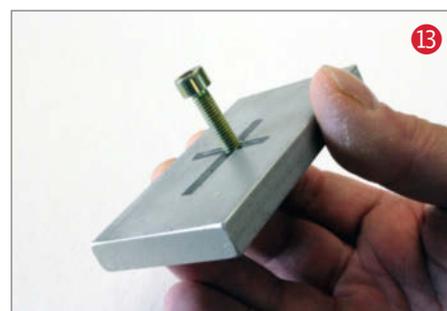
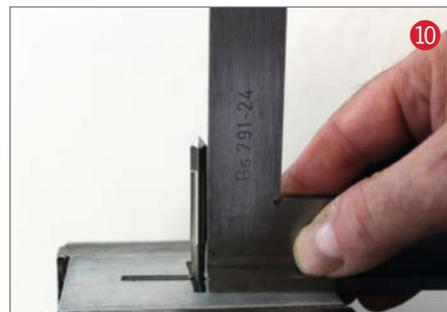
$$\text{Nenn Durchmesser} - 0,1 \times \text{Steigung} = \text{Außendurchmesser}$$

Zum Beispiel: $M10 - 0,1 \times 1,5 \text{ mm} = 9,85 \text{ mm}$

Auch hier liefern wir eine Tabelle mit den korrekten Bolzendurchmessern. Dabei beschränken wir uns allerdings auf die Gewinde M3 bis M12. Größere Gewinde mit dem gängigen 25 x 9mm-Schneideisen schneiden zu wollen,

Kernlochdurchmesser und Steigung metrischer Regalgewinde

Gewindegröße	Kernlochdurchmesser mm	Gewindesteigung mm
M1	0,75	0,25
M2	1,6	0,4
M3	2,5	0,5
M4	3,3	0,7
M5	4,2	0,8
M6	5	1
M8	6,8	1,25
M10	8,5	1,5
M12	10,2	1,75
M14	12	2
M16	14	2
M18	15,5	2,5
M20	17,5	2,5



ist sinnlos: Der Kraftaufwand ist dann einfach zu hoch. Bei größeren Gewinden gilt es dann, Schneidkluppen oder wenigstens einen größeren Schneideisenhalter zu kaufen.

Da wohl die meisten Maker keine Drehmaschine ihr Eigen nennen, um den Bolzen auf den

eigentlich nötigen Durchmesser abzdrehen, haben wir nun ein Problem zu lösen. Hierzu kann ich als altgedienter Maschinenbaumeister und Maker nur sagen: „Augen zu und durch!“

Denn das Rundmaterial, das es in Baumärkten zu kaufen gibt, hat eher selten genau den

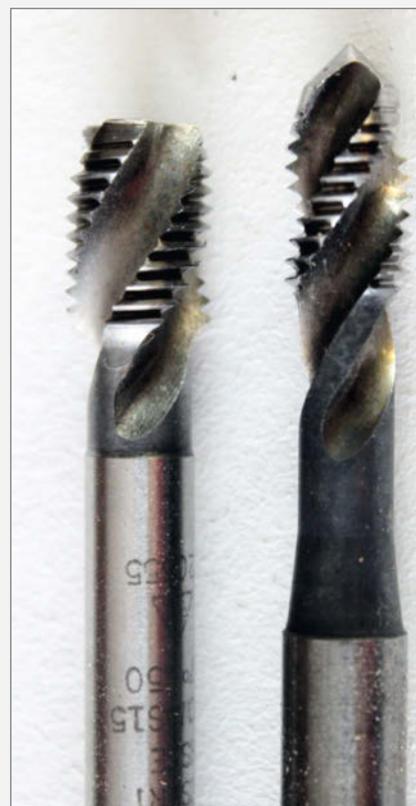
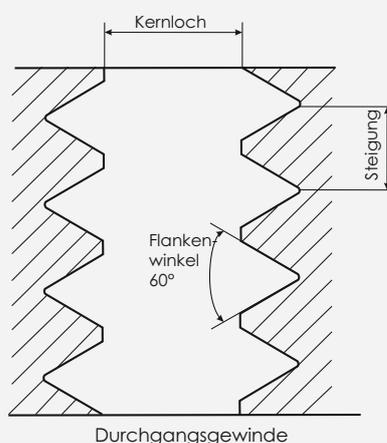
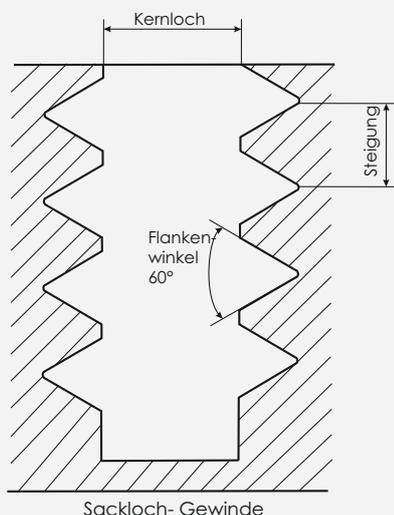
angegebenen Durchmesser ¹⁷. Erfahrungsgemäß sind die angebotenen Rundmaterialien geringfügig *kleiner* als angegeben. Für uns ist das ein Vorteil und der Hersteller spart sich eine Menge Material. Und selbst, wenn das Rundmaterial genau dem Gewindedurchmes-

Sackloch und Durchgangsloch

Bei der Anleitung für das Innengewinde wird hier die Herstellung eines *Durchgangsgewindes* beschrieben: Das Loch geht durch das komplette Werkstück, ebenso das Gewinde. Was aber, wenn wir das Gewinde in einem *Sackloch* benötigen, etwa für eine Verschraubung, die von der anderen Seite unsichtbar sein soll? Dafür ist der bisher genutzte Satz Handgewindebohrer nicht geeig-

net, da der Anschnitt dafür zu lange ist. Zu diesem Zweck gibt es spezielle Gewindebohrer mit einem kurzen Anschnitt.

Auf dem Foto ist links ein Sacklochgewindebohrer und rechts ein Maschinengewindebohrer abgebildet. Deutlich zu sehen ist der kürzere Anschnitt des Sacklochgewindebohrers.





14



15



16

Bolzendurchmesser und Steigung metrischer Regelgewinde

Nennmaß	Steigung mm	Bolzendurchmesser mm
M3	0,5	2,92
M4	0,7	3,91
M5	0,8	4,9
M6	1	5,88
M8	1,25	7,87
M10	1,5	9,85
M12	1,75	11,83

ser entspricht, wird das Gewinde zwar nicht perfekt, aber meist dennoch brauchbar sein.

Schreiten wir zur Tat: Zu Beginn spannen wir das Rundmaterial in einen Schraubstock und versehen das obere Ende mit einer umlaufenden Fase 18. Diese sollte am oberen Ende mindestens bis auf den Kerndurchmesser erfolgen. Durch die Fase kann das Schneideisen einfacher ansetzen und die Schneiden



17



18

den Rundstab besser fassen. Wie im Bild zu sehen, sollte die Fase besser deutlich steiler als 45° ausfallen. Eine weitere Hilfe für das leichtere Greifen der Schneiden!

Als Werkzeug kann man ebenso gut eine Feile wie einen Schleifbock verwenden, falls vorhanden.

Anschließend setzen wir das Schneideisen in einen Schneideisenhalter ein 19. Beim Fixieren mit den kleinen Schrauben muss darauf geachtet werden, dass diese genau in den gegenüberliegenden Bohrungen sitzen. An einer Stelle hat der Schneideisenhalter drei Schrauben nebeneinander. Die mittlere dieser Schrauben muss in den Schlitz des Schneideisens greifen.

Nun legen wir das Schneideisen möglichst waagrecht auf den Rundstab auf und drehen es im Uhrzeigersinn unter genügend starkem Druck nach unten, bis die Schneiden greifen 20.

Da die Schneiden des Schneideisens die komplette Spanarbeit alleine erledigen müssen, ist man nun gut beraten (sobald die Schneiden gut greifen), Schneidöl zu verwenden. Wer kein Schneidöl besitzt, kann auch anderes Öl verwenden (Motoröl, Nähmaschinenöl, Salatöl ...). Das funktioniert nicht so gut wie Schneidöl, ist jedoch immer noch besser als trockenes Schneiden! Es macht ebenfalls Sinn, den Span alle ein bis zwei Umdrehungen zu brechen. Wie auch beim Innengewinde fließt dann Schneidöl nach und die Arbeit wird einfacher.

Hat das Gewinde die gewünschte Länge erreicht 21, wird das Schneideisen gegen den Uhrzeigersinn wieder heruntergedreht und das Gewinde z.B. mit Druckluft gesäubert (Achtung: Schutzbrille verwenden!).

Wer genau hinsieht, erkennt auf Bild 22 ausgebrochene Gewindeflanken. Dies ist das Resultat von einem nicht senkrechten Gewindegewinde und einem etwas zu großen Rundmaterial. In den meisten Fällen spielt das für den Maker im Alltag aber eine eher untergeordnete Rolle. Die Mutter läuft dennoch sehr flüssig auf dem Gewinde.

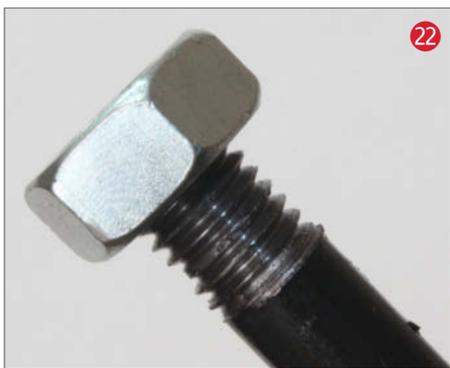
Noch ein Geheimtipp

Wer schon einmal versucht hat, ein Schneideisen zum Greifen zu bringen, weiß, wie es anfangs hin- und herschaukelt. Greift es dann, so greift es meist nicht gerade, besonders, wenn der Bolzendurchmesser zu groß ist. Die Folge ist, dass sich das Schneiden ungeheuer mühsam gestaltet und das Endergebnis keine Begeisterungstürme hervorruft.

Zur Abhilfe gibt es, wie auch beim Gewindebohren, Führungshilfen für Schneideisen 23. Beim Kauf solcher Führungshilfen muss man jedoch etwas aufpassen: Es gibt nicht nur eine Größe von Schneideisen! Zumeist werden in den Baumärkten ganze Sätze von Schneideisen zusammen mit einem 25 x 9mm-Schneideisenhalter angeboten. Schneideisen mit einem Außendurchmesser von d = 25mm für die Größen M3 bis M12 werden *Kombischneideisen* oder auch *Universalschneideisen 25 x 9 Werksnorm* genannt. Sie weichen aber von der DIN-Norm im Außendurchmesser der Schneideiseneinsätze ab. Ihr Vorteil ist, dass der Anwender nur einen Schneideisenhalter der Größe 25 x 9 für alle Schneideisen von M3 bis M12 benötigt.

Wer also solch einen Satz Gewindegewinder besitzt, muss beim Erwerb der Führungshülse darauf achten, dass die Hülsen auch für ein 25 x 9-Schneideisen geeignet sind. Im Bild 23 sind oben Hülsen für DIN-Schneideisen und unten Hülsen für 25 x 9-Schneideisen zu sehen. Die oberen Hülsen variieren im größten Durchmesser, der im Schneideisenhalter anliegt, dagegen haben die unteren Hülsen allesamt einen einheitlichen Gesamtdurchmesser von 25mm.

Die richtige Hülse wird vor dem Einsetzen des Schneideisens in den Schneideisenhalter gelegt 24. Anschließend das Schneideisen, wie schon vorher beschrieben, einsetzen und verschrauben! Das Schneideisen ragt jetzt ca.



2 bis 3mm über den Schneideisenhalter heraus. Das ist in Ordnung so! Die Schrauben fassen das Schneideisen dennoch.

Beim Schneiden des Gewindes wird nun logischerweise die Führungshülse zuerst über das Rundmaterial gestülpt und dann mit dem Schneiden begonnen.

Nun ist deutlich spürbar, dass das Schneideisen wesentlich schneller greift und das Schneiden um einiges leichter vonstattengeht (25). Aber auch hier bitte das Schmieren nicht vergessen!

So klappt das Schneiden der Außengewinde auch auf Edelstahlrundmaterial fast perfekt. Nur ganz leicht sind die Quetschungen an den Gewindespitzen zu sehen, die aufgrund des zu großen Außendurchmessers entstanden sind (26). Ohne Führungshilfe sähe das sicher ganz anders aus.

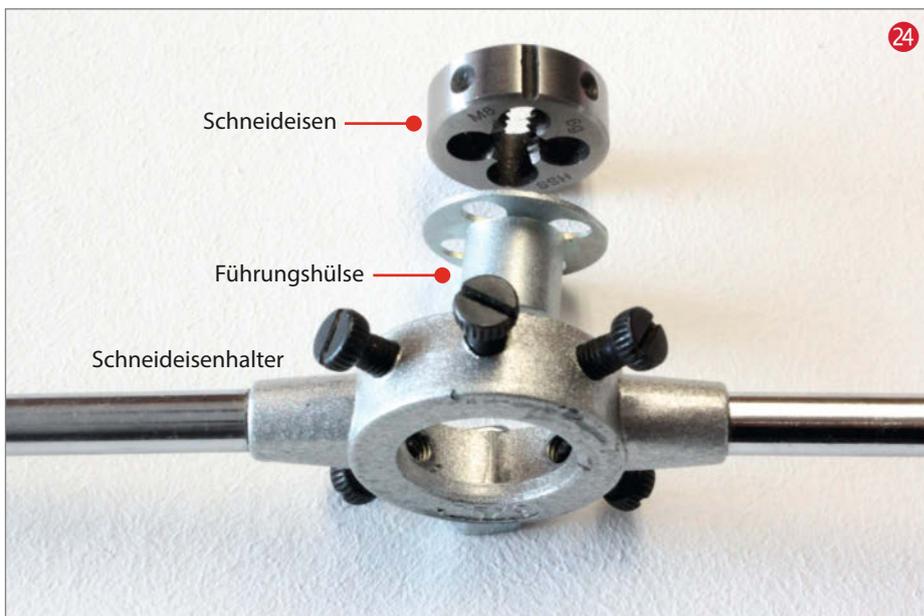
Reparatur von Innengewinden

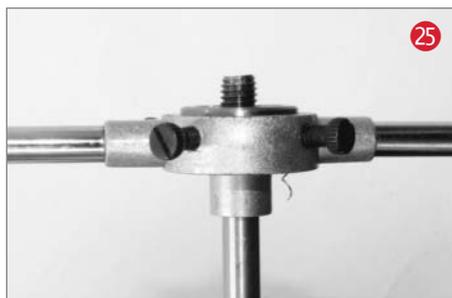
Wird eine Schraube zu fest angezogen, dann bricht sie entweder ab oder das Innengewinde verabschiedet sich. In meiner Lehre bekam ich immer wieder den Satz zu hören: „Nach fest kommt lose!“

Sehr häufig wird bei weichen Materialien wie Aluminium das Innengewinde herausgezogen. Für solche Fälle wurde Helicoil erfunden. Mit diesen speziellen Einsätzen kann man ein herausgezogenes Gewinde ersetzen oder gleich präventiv ein stabiles Gewinde in ein weiches Material einfügen (27). In vielen Bereichen der Industrie ist dies gleich zum Quasi-Standard geworden und es werden alle Gewinde etwa in Aluminium oder Magnesium gleich als Helicoil ausgeführt.

Helicoil ist ein kommerzielles Produkt, was ich schon seit meiner Ausbildung zum Maschinenschlosser kenne und ich habe seither noch kein Alternativprodukt entdeckt. Entfernt ähnlich sind Ensat-Gewindeeinsätze. Sie sind jedoch viel teurer und nicht so leicht in der Anwendung; also nicht wirklich eine Alternative für Maker. Von Helicoil

gibt es komplette Sätze der Gewindegrößen M5 bis M12 für rund 25 Euro (28). Mit dabei sind die passenden Spiralbohrer, jeweils ein Gewindebohrer, die Einziehwerkzeuge und ein Durchschlag (Zapfenbrecher) pro Gewindegröße. Ebenso enthalten sind jeweils 25 Helicoil, also die Gewindeeinsätze selbst.





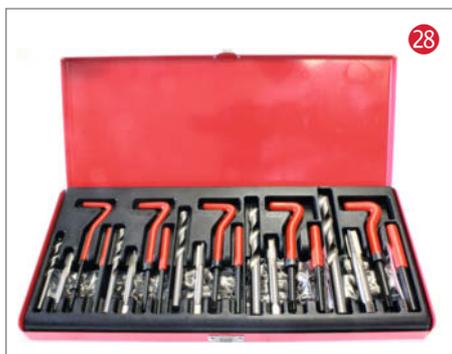
25



26



27



28



29



30



31



32

Die Gewindereparatur geht nun folgen-
maßen vorstatten: Zuerst das Gewinde
mit dem passenden Bohrer aufbohren und
ansenken; dabei hilft die Tabelle *Kernloch bei
Helicoil-Gewinden*. Dann mit dem *Helicoil*-
Gewindebohrer das Gewinde schneiden, wie
vorher schon beschrieben, nur dass man in
diesem Fall statt Vorschneider etc. nur einen
Gewindebohrer benutzt. Oft haben die Ge-
windebohrer die Aufschrift *HCM*, z.B. *HCM6*
(*HeliCoil Metrisch 6mm*).

Kernloch bei Helicoil-Gewinden

Nenngröße Helicoil-Gewinde	Kernloch mm
M3	3,2
M4	4,2
M5	5,2
M6	6,3
M8	8,4
M10	10,5
M12	12,5

Nun wird der *Helicoil* mit dem Zapfen nach
unten auf das Einziehwerkzeug gesetzt. Aller-
dings nicht, wie man das bei einem Blick auf
das Bild 29 meinen könnte, nur bis zum Rand
des Werkzeugs, sondern so tief wie möglich.
Die Einstellhülse wird dann bis zum Ende des
Helicoil geschoben und mit der Inbusschraube
fixiert.

Jetzt den *Helicoil* mit einem Finger festhal-
ten und senkrecht auf die Bohrung stellen 30.
Unter leichtem Druck so lange nach rechts
drehen, bis der *Helicoil* etwa eine Umdrehung
tiefer als die Oberfläche sitzt 31.

Sollte der *Helicoil* länger sein als die Tiefe
der Bohrung, so kann er auch vor dem Ein-
drehen mit einem Seitenschneider gekürzt
werden. Selbstverständlich wird das Ende
ohne Zapfen gekürzt, sonst bekommt man ihn
ja nicht mehr eingedreht ...

Zuletzt wird noch der Zapfen abgebrochen.
Dazu liegt dem Set je Gewinde ein Durch-
schlag bei 32. Damit habe ich allerdings eher
schlechte Erfahrungen gemacht und oft die
unteren Gewindegänge beschädigt bzw. he-
rausgewürgt. Leichter geht es mit dem Ein-
ziehwerkzeug selbst. Werkzeug nach dem

Eindrehen einfach vorsichtig nach links dre-
hen und der Zapfen bricht ab.

Da der *Helicoil* aus Edelstahl gefertigt ist,
haben die damit reparierten Gewinde eine
weitaus höhere Belastbarkeit als die ursprüng-
lichen.

Vorsichtig bleiben

Was tun, wenn ein Gewindebohrer beim
Schneiden verkantet und abbricht? Meist ist
Herausdrehen mit der Zange mangels An-
griffsfläche nicht möglich. Einfaches Heraus-
bohren, was bei abgerissenen Schrauben oft
funktioniert, geht hier leider auch nicht, da
der Gewindebohrer in der Regel genauso hart
ist wie der Spiralbohrer. Steckt der Gewinde-
bohrer in weichen Materialien, kann man ihn
vielleicht mit einem Durchschlag nach unten
durchtreiben, das Loch aufbohren und dann
wieder mit *Helicoil* zu reparieren, aber das
geht natürlich nur bei Durchgangslöchern.
Anderenfalls bleiben nur Profi-Methoden wie
Funkenerodieren. Insofern bleibt der beste
Rat: Beim Gewindebohren mit viel Gefühl vor-
gehen – und üben!
—pek

Absägen von Gewindestangen und Schrauben

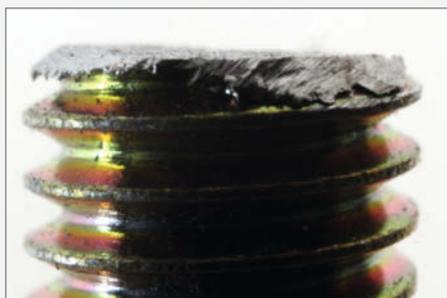
Wem ist es nicht auch schon mal so gegangen? Eine Schraube ist zu lang. Kein Problem, einfach mit einer Handbügelsäge die Schraube kürzen. Der Vollständigkeit halber wird natürlich die Schraube danach auch sauber entgratet.

Und dann kommt das bittere Erwachen: Weder geht die Schraube in das vorgesehene Gewinde noch lässt sich eine Mutter aufschrauben.

Dies liegt daran, dass sich beim Sägen und auch beim Entgraten der oberste Gewindengang leicht verformt hat und/oder immer noch ein leichter Grat daran sitzt. Klar, jetzt hilft nur noch, mit einem Schneideisen die obersten Gewindgänge nachzuschneiden.

Für die Zukunft aber raten wir, **vor** dem Absägen eine Mutter auf das Gewinde zu schrauben, dann abzusägen und zu entgraten und zuletzt die Mutter wieder herunterzudrehen. Kann sein, dass dafür sogar ein Sechskantschlüssel benötigt

wird, um die nötige Kraft aufzubringen. Die Mutter bringt den letzten Gewindengang wieder in die richtige Position und entfernt auch noch kleine Grate an der Schraube. Problemloses Einschrauben ist mit diesem Trick anschließend garantiert!



Java lernen – von Anfang an wie ein Experte

Sie wollen endlich Programmieren lernen und Ihre ersten Projekte umsetzen? Dann sind Sie hier genau richtig: Java-Experte Michael Inden erklärt die Grundlagen der Java-Programmierung leicht und verständlich.

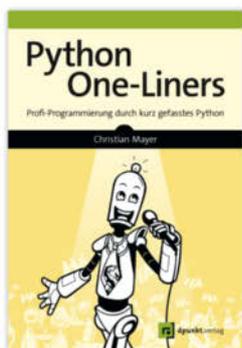
424 Seiten - 22,90 €
ISBN 978-3-86490-852-1



Oder mit Python & Co. durchstarten



352 Seiten · 22,90 €
ISBN 978-3-86490-875-0



248 Seiten · 29,90 €
ISBN 978-3-86490-805-7



316 Seiten · 29,90 €
ISBN 978-3-86490-850-9



Kleine Trickkiste

In unserer Trickkiste finden Sie spezielle Techniken der Metallbearbeitung, die nicht ganz so gängig, aber nützlich sind und ohne besondere oder teure Werkzeuge oder Einrichtungen auskommen.

von Achim Bertram



Kurzinfo

- » Federn von Hand wickeln
- » Blechabkantung mit einfachen Mitteln
- » Blechdurchzüge für Gewinde in dünnem Material
- » Härten und Anlassen von Werkzeugen

Alles zum Artikel
im Web unter
[make-magazin.de/xeg4](https://www.make-magazin.de/xeg4)

Yuliya D'yakova / Shutterstock.com

Federn von Hand wickeln

Die Wirkung einer Feder beruht auf elastischer Verformung des Querschnitts ihres Materials durch Torsion (Verdrehung). Sie kann Kraft aufnehmen, speichern und wieder abgeben. Bei der Herstellung einer Feder wird der Werkstoff über seine Elastizitätsgrenze hinaus bleibend (plastisch) verformt, ohne dabei die Bruchdehnung zu überschreiten. Häufigste Ausführung ist die Schraubenfeder, die sowohl als Zug- oder Druckfeder, seltener als Drehfeder oder Schenkelfeder angewendet wird.

Warum soll man aber eine Feder überhaupt selber wickeln wollen? Erstens, weil eine passende Feder gerade nicht verfügbar ist oder weil es sie in den gewünschten Abmessungen nicht zu kaufen gibt. Und zweitens, weil man es ja kann. Vorausgesetzt, man verfügt über einen entsprechenden federharten Draht, benötigt man noch einen Schraubstock, etwas Hartholz und einen passenden Wickeldorn.

Der Wickeldorn **1** wird aus einer Stange Rundstahl zu einer Kurbel gebogen und mit einer Bohrung quer durch das Ende versehen. Sein Durchmesser muss etwas kleiner sein als der fertige Innendurchmesser der Feder. Der Bohrungsdurchmesser wird der Drahtstärke angepasst. Anstelle der Bohrung kann auch ein Schlitz gesägt werden. Aus einer Hartholzleiste werden zwei Backen für den Schraubstock angefertigt. Die eingefeilten oder gebohrten Nuten darin geben dem Wickeldorn Führung. Mit doppelseitigem Tape werden die Backen am Schraubstock fixiert.

Der Wickeldorn wird nun zwischen den Holzbacken locker geklemmt und der Federdraht von oben in die Querbohrung gesteckt **2**. Durch Drehen des Wickeldorns in den Holzbacken wird der Draht nun stetig um den Umfang des Dorns gewickelt. Da man bei dieser Technik die Drahtnachführung nicht weiter beeinflussen kann, liegen die Windungen der Feder relativ nah beieinander. Es entsteht erst einmal eine Zugfeder **3**.

Die Feder wird beim Öffnen der Schraubstockbacken etwas „aufspringen“. Das ist abhängig vom Federwerkstoff und vom Drahtdurchmesser und muss bei der Wahl des Wickeldorns einkalkuliert werden. Durch



Überdehnen der Feder in Längsrichtung können die Windungen mehr oder weniger auseinander gezogen werden, um eine Druckfeder **4** zu erhalten. Die Schenkelfeder **5** hat nur wenige Windungen und gestreckte Enden.

Die Enden **6** einer Druckfeder werden flachgeschliffen und dabei angelegt. Zum Einhängen von Zugfedern biegt man die letzten 1-2 Windungen um 90° von der Achse weg. Damit die Feder dabei oder später nicht bricht, sollte *kalt* gebogen und eine Rundzange mit glatten Schnäbeln verwendet werden.

Federstahl ist ein Karbonstahl mit 0,5 bis 1,2% Kohlenstoff und besitzt gegenüber Bau- und Werkzeugstählen wesentlich höhere Festigkeitswerte bei gleichzeitig hoher Empfindlichkeit bezüglich Kerbwirkung oder Gefügeveränderung durch Erwärmen. Seine namensgebende Eigenschaft (eben die große Elastizität) erhält er bei der Herstellung durch Legieren mit Silizium.

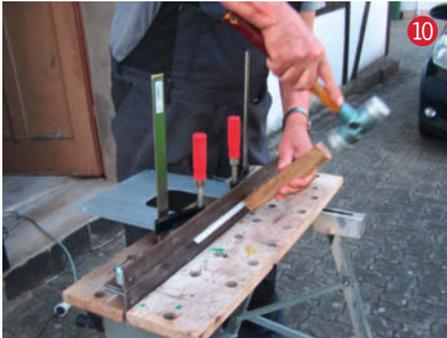
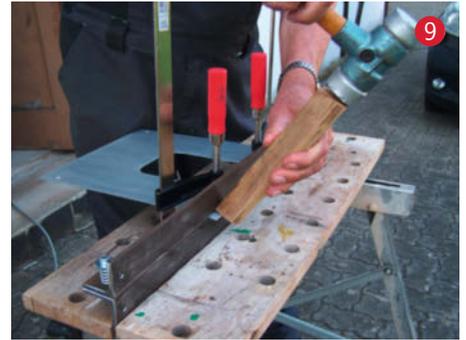
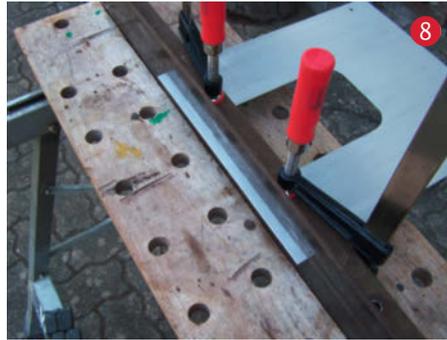
Federstahldraht bekommt man im Handel in vielen Durchmessern auf Rolle oder in Form einzelner Stäbe oft unter Bezeichnungen wie *Hartdraht* oder *federharter Draht*.

Biegeumformen von Blechen

Wenn es sich um Abkantungen von wenigen Millimetern Breite handelt, wie sie für Eckverbindungen von Blechkonstruktionen erforderlich sind, kann man auch ohne die spezielle Biegemaschinen, die ab Seite 130 beschrieben werden, zu brauchbaren Ergebnissen kommen.

Auf dem Arbeitstisch liegen zwei Winkelstahl-Profile Schenkel an Schenkel auf zwei Leisten aus beliebigem Material. Diese müssen nur die gleiche Dicke aufweisen. Diese Dicke bestimmt nun, wie tief man ein Blech senkrecht zwischen die Schenkel der L-Profile klemmen kann. Mit zwei Schraubzwingen

rechts und links des Bleches werden Profile und Blech miteinander verspannt **7** **8**. Dieses „Paket“ wird umgedreht und am Arbeitstisch mit weiteren Zwingen befestigt. Einen sicheren Halt bieten hierbei übrigens auch Klapp-Werkbänke, deren geteilte Arbeitsflächen als Spannwanen ausgeführt sind.



Die überstehende Blechkante kann nun mit leichten Hammerschlägen über die Kante des Winkelprofils getrieben werden **9**. Um Schlagmarken zu vermeiden, verwendet man ein Stück Hartholz als Hilfsmittel. Die Abkantung erfolgt in mehreren Durchgängen längs der Kante **10**, bis der freie Schenkel des Bleches am Schenkel des Winkelstahls anliegt **11**.

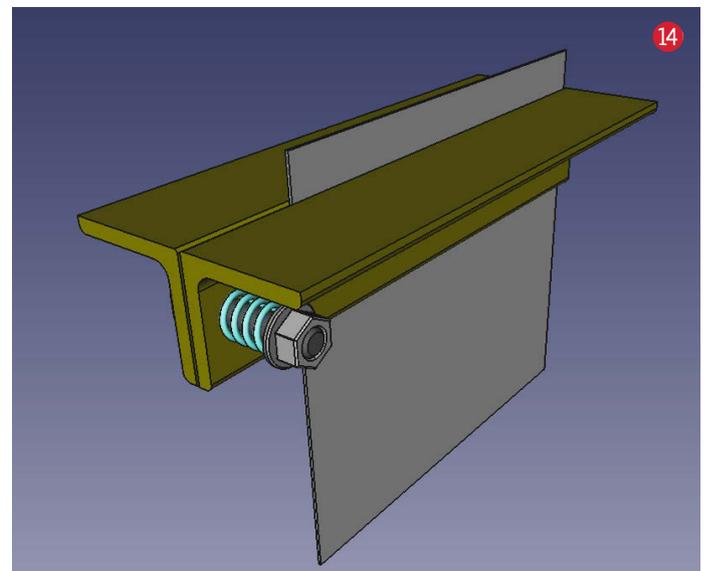
Das Maß des gebogenen Schenkels **12** entspricht aber nicht dem ursprünglichen

Einspannmaß, da ja ein Teil dieser Länge nun zu einem Viertelkreis umgeformt wurde **13**. In einschlägigen Tabellenbüchern für Metalltechnik (und zum Teil auch im Artikel auf Seite 130) finden sich Tafeln mit zulässigen Biege- radian, Ausgleichswerte für beliebige Biege- winkel und Formeln für die Zuschnittermit- lung in Abhängigkeit von Werkstoff und Dicke.

Ich habe die losen Winkelprofile miteinander über Druckfedern verschraubt **14**. Das

Handling wird dadurch erleichtert. Das durch Federkraft gehaltene Blech kann präzise ausgerichtet werden, bevor die Schraubzwingen angezogen werden; damit sind die eingangs erwähnten Leisten als Hilfsmittel nicht mehr unbedingt nötig, um das Blech einzuspannen.

Für Abkantungen über die Breite des Winkelstahls hinaus ist dieses Verfahren allerdings nicht mehr geeignet, da es zu Verzug durch die ungleichmäßigen und punktuell eingebrachten Biegekräfte kommt.



Blechdurchzüge

Der Maker steht oft vor dem Problem, tragfähige Gewinde in dünnwandige Bleche einzubringen. Befestigungsgewinde müssen mindestens drei tragende Gewindegänge aufweisen. Das entspricht einer Mutter mit der Normhöhe $0,8 \times$ Durchmesser. Eingang und Austritt der Gewindegänge zählen dabei nicht mit.

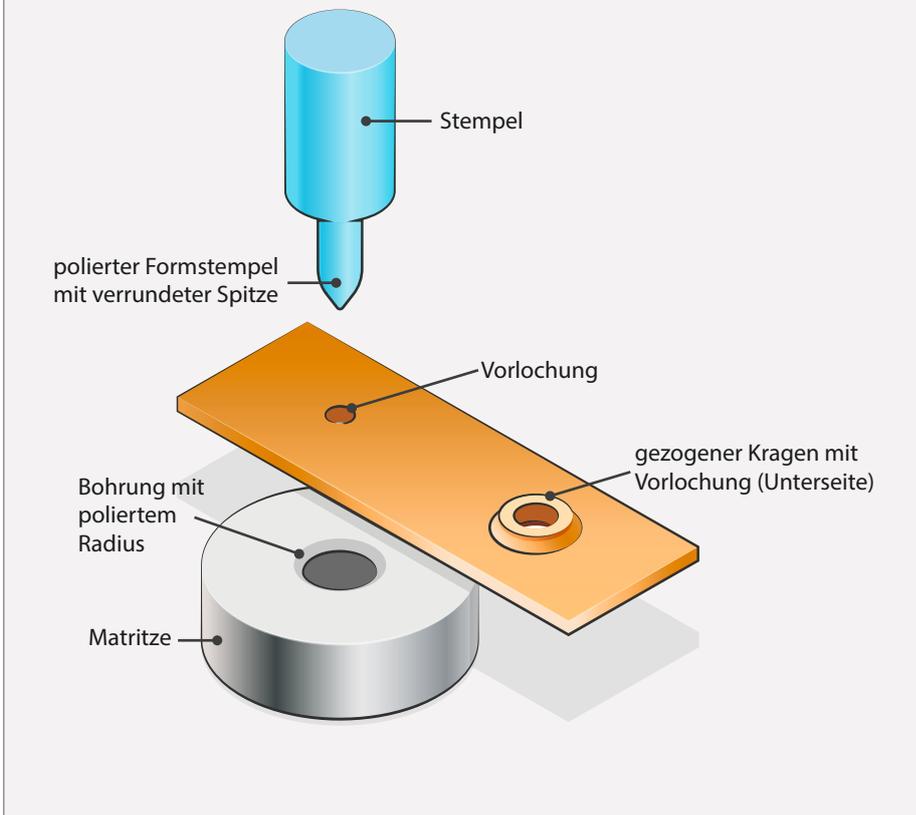
Bei Montagen mit dünnen Blechen werden oft spezielle Blechschrauben eingesetzt (siehe auch Seite 16). Diese benötigen kein vorgefertigtes Gewinde, sondern formen sich ihren Sitz beim Eindrehen selbst. Bevorzugt man hingegen die klassische Gewindeverbindung, ist der Einbau von Einpressmuttern eine Option. Eine andere ist das Ziehen eines Kragens um das Kernloch herum **15**. Das Blech wird mit kleinerem Durchmesser vorgelocht und dann der Werkstoff durch plastische Verformung aus der Blechebene herausgezogen **16**. Durchziehen ohne Vorlochen ist zwar auch möglich, ergibt aber gezackte Ränder. Geeignet sind alle Werkstoffe mit guter Dehnbarkeit wie Stahl bis zu einer Mindestzugfestigkeit R_m von etwa 500 N/mm^2 (siehe auch Seite 6). Die so hergestellten Kernlöcher haben eine hohe Oberflächenqualität und gute Verschleißfestigkeit. Auf diese Weise können auch Lagerstellen für Wellen und Zapfen realisiert werden.

Die Kanten von Ziehstempel und Matrize müssen gut verrundet und poliert sein. Man erhält mit diesem Verfahren Gewindelängen von bis zur dreifachen Blechdicke. Die Geometrie des Kragens wird bestimmt durch folgende Parameter: Blechdicke s , Gewindekerndurchmesser d_1 und Durchmesser der Vorlochung d_1 .

Der Stempeldurchmesser d entspricht dem Kernlochdurchmesser d_1 . Der Matrizendurch-

Aufbauschema zum Kragenziehen

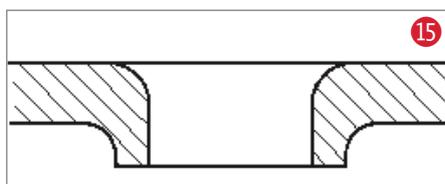
Für das Kragenziehen in vorgelochten Blechen benötigt man einen Stempel sowie eine Matrize, die man sich selber herstellen kann.



messer D ergibt sich durch $D = d + 2s$. Die Kragenhöhe h liegt etwa bei $(D-d)/4$ von der Unterseite des Bleches aus.



17 Zentrieren ...



18 ... durchstoßen ...



19 ... und abstreifen

Durch Verkleinern von D erhält man einen höheren Kragen bei verringerter Wanddicke. Solche Gewindedurchzüge sind übrigens nach DIN 7952 genormt.

Stempel und Matrize lassen sich mit Bohrmaschine, Bohrer, Feile und Schleifmittel leicht selbst herstellen. Eine kleine Drehmaschine ist aber besser geeignet. Den Stempel fertigt man aus unlegiertem Karbonstahl mit hohem Kohlenstoffgehalt, als Matrize genügt ein Stück Flachprofil aus Baustahl. Für mehr als nur einmaligen Gebrauch muss man zumindest den Stempel durch Härten (Randschichthärten genügt) verschleißfest machen.

Um den Kragen am Blech zu formen, muss das vorgelochte Blech auf der Matrize konzentrisch ausgerichtet und der Stempel durch Krafteinwirkung durch das Blech getrieben werden **17** bis **19**. Im einfachsten

Beispiel: Kragen für Gewinde M4 in 1,5mm Stahlblech DC-01 (St1203m)

Blechdicke:	s = 1,5mm	
Gewinde:	M4; Kernloch $D_1 = 3,3\text{mm}$; Steigung $P = 0,7\text{mm}$	
Stempel:	$d = D_1$	= 3,3mm
Vorlochung:	$d_1 < d$	= 2,0mm (gewählt)
Matrize:	$D = d + 2s$	= 3,3mm + 2 × 1,5mm = 6,3mm
Kragenhöhe:	$h = (D - d_1) / 4$	= (6,3mm - 2,0mm) / 4 = 1,1mm
Durchzughöhe:	$H = s + h$	= 1,5mm + 1,1mm = 2,6mm
Gewindegänge:	$G = H / P$	= 2,6mm / 0,7mm = 3,7mm

Fall genügt ein Schlag mit dem Hammer. Besser geeignet ist eine Dornpresse, aber auch die Spindel einer stabilen Tischbohrmaschine. Der Stempel muss dabei geschmiert werden.

Aufgrund der geringen Wanddicke des Kragens (Blechdicke oder weniger) können nur Gewinde geschnitten werden, deren Gewindetiefe wesentlich kleiner ist als die Blechdicke.

Härten einfacher Werkzeuge aus unlegierten Stählen

Der Heimwerker wird manchmal ein bestimmtes Werkzeug selbst anfertigen wollen oder müssen. Werkzeuge müssen eine ausreichende Härte aufweisen, um in einen anderen Werkstoff eindringen zu können, und sie müssen eine hohe Festigkeit haben, um bei diesem Vorgang nicht sofort zu verschleißen. Diese Werkstoffeigenschaften lassen sich durch eine Wärmebehandlung beeinflussen. Dabei wird das Werkstoffgefüge (Kristallgitter) des Stahls gezielt und dauerhaft verändert.

Es soll hier keinesfalls der Eindruck vermittelt werden, hoch komplizierte Vorgänge mit wenigen Worten erklären zu wollen. Ein paar grundsätzliche Ausführungen sind aber notwendig, um die einzelnen Arbeitsschritte beim Härten zu verstehen. Auch wird an dieser Stelle nur ein

kleiner Teilbereich der Härtetechnik betrachtet, der für den Maker durchführbar sein sollte.

Umwandlungshärtung

Unlegierter Stahl besteht aus Eisenkristallen, Ferrit genannt (Fe), und dem darin eingelagerten Kohlenstoff (C). Bis zu etwa 2% Anteil liegt der Kohlenstoff aber nicht in reiner Form, sondern als chemische Verbindung Eisenkarbid, Zementit genannt (Fe_3C), vor. Ferrit ist weich und leicht umformbar, Zementit dagegen ist hart und spröde und bildet sich als dünne Streifen an den Grenzen der Ferritkörner. Bei 0,8% Kohlenstoffanteil bilden Ferrit und Zementit ein *eutektoides* (= aus zwei feste Phasen bestehendes) Gefüge, *Perlit* genannt.

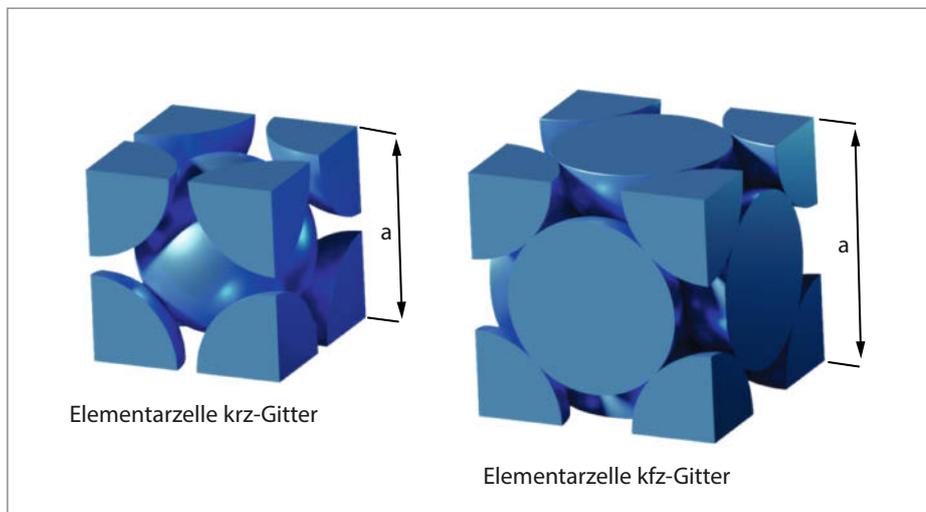
Bei Erwärmung auf Temperaturen oberhalb 723°C treten Gefügeveränderungen auf, die vom Kohlenstoffgehalt, also vom Ausgangsgefüge abhängig sind. Zum Beispiel wandelt sich reines Perlitgefüge (0,8% C) vollständig in *Austenit* um. Diese Gefügeänderungen sind Veränderungen des Kristallgitters, in dem sich die Metallatome angeordnet hatten.

Das ursprünglich kubisch-raumzentrierte (*krz*) Ferritgitter klappt in das kubisch-flächenzentrierte (*kfz*) Austenitgitter um **20**. Dadurch kann ein Teil des Kohlenstoffs durch Diffusion aus dem Zementit in der frei gewordenen Würfelmittle gebunden werden. Die dabei entstehenden Mischkristalle sind eine feste Lösung des Kohlenstoffs im Eisen.

Bei langsamer Abkühlung auf Raumtemperatur bildet sich das Gefüge wieder zurück. Wenn dieser Zustand jedoch durch plötzliches, sehr schnelles Abkühlen „eingefroren“ wird, hat bei der Rückumwandlung des *kfz*-Gitters zum *krz*-Gitter der gebundene Kohlenstoff keine Zeit, aus der Kristallmitte heraus zu diffundieren. Das erzwungene Kristallgitter ist aufgrund der voneinander abweichenden Kantenlänge der unterschiedlichen Gitterformen stark verzerrt. Das neue, feinnadlige Gefüge, *Martensit* genannt, ist glashart und ebenso spröde.

Martensit kann sich also nur bilden, wenn genügend Kohlenstoff vorhanden ist und das zu härtende Teil ausreichend schnell „abgeschreckt“ wird. Ein Stahl mit weniger als 0,2% Kohlenstoffgehalt ist auf diese Weise also nicht härtbar.

Einen tieferen Einblick in diese Zusammenhänge bietet das *Eisen-Kohlenstoff-Diagramm* **21** und hier im Besonderen die „Stahlecke“,

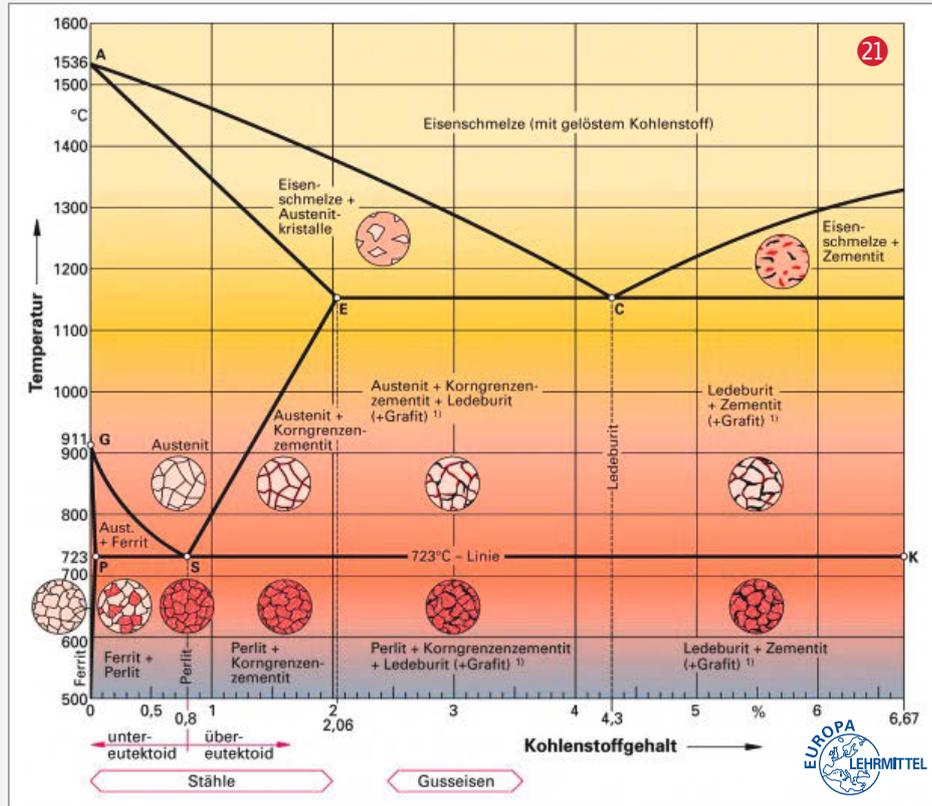


20 Kristallgitter-Arten: Ferrit (*krz*) und Austenit (*kfz*). Die Kantenlänge a ist beim *kfz*-Gitter deutlich größer als beim *krz*-Gitter.

Eisen-Kohlenstoff-Diagramm

Das Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm ist das Phasendiagramm für die Legierung von Eisen und Kohlenstoff. Je nach Kohlenstoffgehalt in der Legierung treten verschiedene Gefügearten auf, die sich zum Teil bei Erwärmung in andere Gefüge umformen.

Eisen mit einem Kohlenstoffgehalt zwischen 0 und 2,06 Prozent wird *Stahl* genannt, ab 2,06% bis 6,67% Kohlenstoffgehalt im Eisen nennt man es *Gusseisen*. Die Linien im Diagramm begrenzen unterschiedliche Gefügebereiche. Wird eine Linie über- oder unterschritten, wandelt sich das Gefüge um.



© Fachkunde Metall, 56. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel (siehe auch Seite 158)

Selbermachen leicht gemacht!

NEU

ct PROJEKTE
Basteln · Programmieren · Selbst bauen

Basteln mit Elektronik und Holz
Projekte mit Sensor und Mikrocontroller
Selbstgebaut: Luftreiniger und Aerosol-Ampel

Arbeiten mit CNC-Maschinen
50: Werkzeugpfade für CNC-Fräsen planen
50: Dinge erfinden und virtuell zusammenbauen

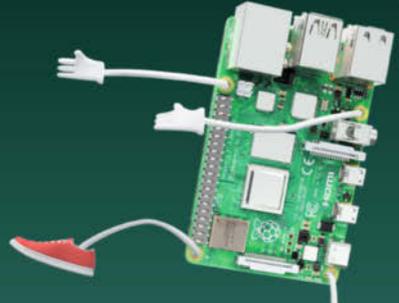
Arbeiten mit dem FarmBot
50: Roboter bauen und programmieren
50: automatisch säen, wässern und jäten

Arbeiten mit CAD-Software
50: Werkzeugpfade für CNC-Fräsen planen
50: Dinge erfinden und virtuell zusammenbauen

Richtig loslegen mit dem Raspi
Eigene Ideen umsetzen mit Python und Elektronik
50: Autom. Daten, Netzwerk: Raspi aufbohren und tunen

Mit vielen Videos zu den Projekten

Heft + PDF mit **29% Rabatt**



c't PROJEKTE 2021

Mit den Projekten aus diesem Heft lernen Sie die wichtigsten Komponenten kennen: Raspberry Pi, ESP8266, Arduino Micro und Mega. Außerdem wird Ihnen die richtige Software zum Programmieren, Flashen, Konstruieren und Planen vorgestellt. Verwirklichen Sie Ihre Ideen und starten Ihre eigenen Projekte mit c't Projekte 2021!

shop.heise.de/ct-projekte21

Heft + PDF für nur **19,90 €**

Bilder: Andreas Martini



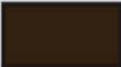
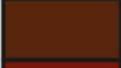
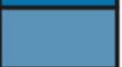
Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 €. Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

heise Shop

shop.heise.de/ct-projekte21



I. Rainer/B. (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anlassfarben.jpg), „Anlassfarben“, https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode

Glühfarben		Glüh-temp. °C	Anlassfarben		Anlass-temp. °C
			Für unlegierten Werkzeugstahl		
Dunkelbraun		550	Weißgelb		200
Braunrot		630	Strohgelb		220
Dunkelrot		680	Goldgelb		230
Dunkelkirschrot		740	Gelbbraun		240
Kirschrot		780	Braunrot		250
Hellkirschrot		810	Rot		260
Hellrot		850	Purpurrot		270
Gut Hellrot		900	Violet		280
Gelbrot		950	Dunkelblau		290
Hellgelbrot		1000	Kornblumenblau		300
Gelb		1100	Hellblau		320
Hellgelb		1200	Blaugrau		340
Gelbweiß		>1300	Grau		360

Anlassen auf Gebrauchshärte

Nach dem Abschrecken ist der Meißel glashart und spröde. Die inneren Gefügeverspannungen können zu Härteverzug, Härterissen und Sprödbruch führen. Durch erneutes Erwärmen und Halten auf Anlasstemperatur mit anschließender langsamer Abkühlung werden die Spannungsspitzen abgebaut.

Dies führt zu einer Abnahme der Sprödigkeit. Gleichzeitig gewinnt der Stahl etwas an Zähigkeit zurück. Die Härte nimmt dabei nur geringfügig ab. Auf blank geschliffenen Oberflächen bilden sich beim Erwärmen die *Anlassfarben*. Sie können zum Beurteilen der erreichten Temperatur mit der entsprechenden Farbtafel verglichen werden 22.

Unlegierte Stähle werden je nach Verwendungszweck bei 200°C bis 350°C angelassen. Der Meißel aus diesem Beispiel wird langsam vom Schaft ausgehend erwärmt, bis die blank, geschliffene Schneide goldgelb bis gelbbraun erscheint. Das sind rund 240°C. Die Kunst besteht darin, diese Wärme eine Weile zu halten, um dem Gefüge die notwendige Zeit zur Veränderung zu geben. Eine gute Wahl für regelbare Wärmequellen sind Herdplatte oder Backofen.

Härteprüfung

Um die erzielte Härte eines Werkstücks zu bestimmen, wurden verschiedene, dem Werkstoff angepasste Verfahren entwickelt, die meist nach ihrem Entwickler benannt sind, etwa Brinell, Vickers und Rockwell. Meist verwendet man einen anderen, härteren Körper, den man versucht, in die Probe eindringen zu lassen, wenn eine definierte Zeit eine festgelegte Kraft statisch wirkt. Der entstandene, bleibende Abdruck wird messtechnisch ausgewertet und mittels Formeln oder Tabellen in „Härtegrade“ umgerechnet. Für den Maker sind diese Methoden mangels Ausstattung nicht anwendbar. Für den Heimgebrauch genügt die sogenannte „Feilprobe“: Mit einer besonders harten Feile versucht man das Werkstück anzufeilen. Rutscht die Feile, liegt die Rockwell-Härte des Werkstücks über ca. 60 HRC.

Ausblick

Die hier behandelte Umwandlungshärtung ist nur eines von vielen Wärmebehandlungsverfahren als Teilgebiet der Werkstofftechnik. Durch Wärmebehandlung lassen sich bestimmte Eigenschaften von Werkstoffen gezielt verändern bzw. für den jeweiligen Einsatzzweck optimieren. Die Verfahren können dabei auf den gesamten Querschnitt oder nur auf die Randschicht (Oberfläche) des Werkstücks wirksam sein. —pek

der Bereich bis 2,06% C und die Linie G-S-K als Härtetemperaturlinie.

Härten eines Meißels aus C60

Einfache Werkzeuge wie Körner, Reißnadel oder Meißel können aus unlegiertem Werkzeugstahl mit 0,5 bis 1,5% Kohlenstoff (Carbonstahl) selbst angefertigt und gehärtet werden. Diese Stähle sind Kaltarbeitsstähle, also nicht für Betriebstemperaturen über 200°C geeignet. Sie sind vergleichsweise billig und härten je nach Dicke nicht vollständig durch. Dadurch behalten sie einen zähen Kern.

Anhand eines praktischen Beispiels werden im Folgenden die einzelnen Arbeitsgänge beim Härten – Erwärmen, Abschrecken und Anlassen – beschrieben.

Erwärmen auf Härtetemperatur

Bei unlegierten Stählen ist die Härtetemperatur nur vom Kohlenstoffgehalt abhängig und soll etwa 40°C über der G-S-K-Linie des Eisen-

Kohlenstoff-Diagramms liegen – für C60 mit 0,6% C also bei etwa 800°C. Die Wärme kann z.B. mit einem Gasbrenner (Propan oder Butan) zugeführt werden. Gut geeignet ist auch ein Holzkohlenfeuer; das Vorhandensein von Kohlenstoff verhindert ein Entkohlen der Randschicht des Werkstücks bei längerem Erwärmen. Die Temperatur kann anhand der Glühfarbe mit speziellen Farbtafeln 22 verglichen werden. 800°C entsprechen dabei einem hellem Kirschrot.

Abschrecken auf Raumtemperatur

Das rasche Abkühlen des Werkstücks muss in einem geeigneten Medium erfolgen. Unlegierte Werkzeugstähle wie C60 werden durch Eintauchen und Bewegen in Wasser abgeschreckt und deshalb auch *Wasserhärter* genannt. Auch die Eintauchrichtung ist wichtig, um Härteverzug zu vermeiden. Der Meißel wird mit der Schneide zuunten senkrecht eingetaucht und dann kreisförmig in Bewegung gehalten, damit die sich bildenden Dampfblasen von der Oberfläche abgelöst werden.

Klein – aber oho!

Mit MicroPython spielend leicht
Mikrocontroller programmieren

und exklusiv im heise shop
NEU



Heft + PDF
mit 29%
Rabatt

Make Micropython Special

Diese Make-Sonderausgabe zeigt Ein- und Umsteigern, wie man mit MicroPython leicht und schnell eigene Projekte mit dem ESP32 umsetzt. Wie immer in Make Specials geht's sofort in die Praxis mit Audio-Projekten, einer CO2-Ampel und mehr.

Auch als einzelnes Heft erhältlich.

shop.heise.de/make-micropython

Heft + PDF
für nur

19,90 € >

 heise Shop

shop.heise.de/make-micropython >

> Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 €. Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

© Copyright by Maker Media GmbH

Stahl-Challenge: Die Gewinner

Make: Projects

Ob schweißen, schneiden, schleifen, schmieden, sägen, bohren, biegen, oder gießen: Wir wollten von Euch sehen, was Ihr alles aus Metall zaubern könnt. Eure Einreichungen auf *Make Projects* haben nicht enttäuscht und unsere drei Favoriten haben wir zu Siegern gekürt und mit Preisen geehrt. Diese drei Projekte haben unsere Herzen geschmolzen.

Alle Projekte
im Netz unter
make-magazin.de/x8jp

von Rebecca Husemann

Natürlich gab es auch was zu gewinnen: Der erste Platz hat ein *Tuxedo InfinityBook Pro 15 v5* in der *RED Edition* erhalten, das freundlicherweise von *Tuxedo* bereitgestellt wurde. Die beiden zweiten Plätze haben jeweils ein *Make Miniabo Plus* bekommen.



1. Platz: Effizienter Holzofen aus Stahlfelgen

André (@goebelandrecreate) hat mit seinem eleganten Holzofen aus Stahlfelgen den ersten Platz abgeräumt. Hier haben uns besonders die liebevollen Details begeistert, die den Holzofen ganz besonders machen: Das ist natürlich zum Beispiel die im Titel genannte Felge, die als

Brennraum dient. Außerdem ist der Türgriff ein ehemaliger Mausschlüssel und der Ofen dank einer Lösung aus Essig und Wasserstoffperoxid mit einer gleichmäßigen Rostschicht überzogen. Laut André ist der Ofen – nach Vorbild eines *Bullerjan-Ofens* – besonders effizient, da die

kalte Luft in die unteren Öffnungen einströmt, im Brennraum erwärmt wird und der Luftstrom anschließend oben erwärmt wieder austritt. Das konnten wir leider nicht persönlich testen, hätten aber nichts gegen ein paar gemütliche Stunden vor dem warmen Ofen einzuwenden.

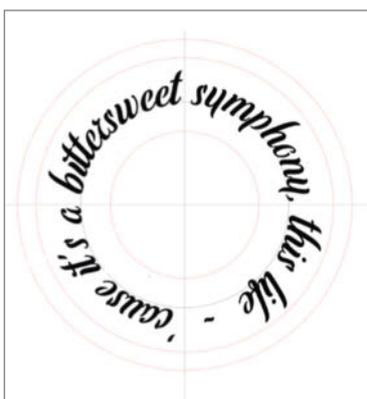


André Göbel



2. Platz: Grillplatte für Feuerschale mit personalisiertem Schriftzug

Dieses umwerfende Geburtstagsgeschenk ist eine Feuerschale, die @c10 mit einer per Plasmaschneider geschnittenen Grillplatte ausgestattet hat. Zu sehen ist eine Liedzeile, die @c10 in liebevoller Kleinarbeit in *Inkscape* erstellt, mit *FreeCAD* testweise in die Platte modelliert und dann in *Fusion 360* für den CNC-Plasmaschneider vorbereitet hat. Mega spannend!



@c10



Auch 2. Platz: Rose aus Stahl und Kupfer

Tim (@cast_and_forge) hat diese Rose aus Metall in liebevoller Handarbeit gefertigt. Auf *Make Projects* hat er eine ziemlich narrensichere Anleitung verfasst, die Lust aufs Nachbauen macht. Die Rose besteht aus geschmiedeten Stahl- und getriebenen Kupferteilen. Beim Schmieden wird es natürlich aufregend, denn nicht jeder hat Amboss, Hammer, Zange und ein Schmiedefeuer zu Hause. Für die Blütenblätter braucht man dagegen nur einen Hammer und eine Blechschere. Also schnell zum Schmiedekurs!
—rehu

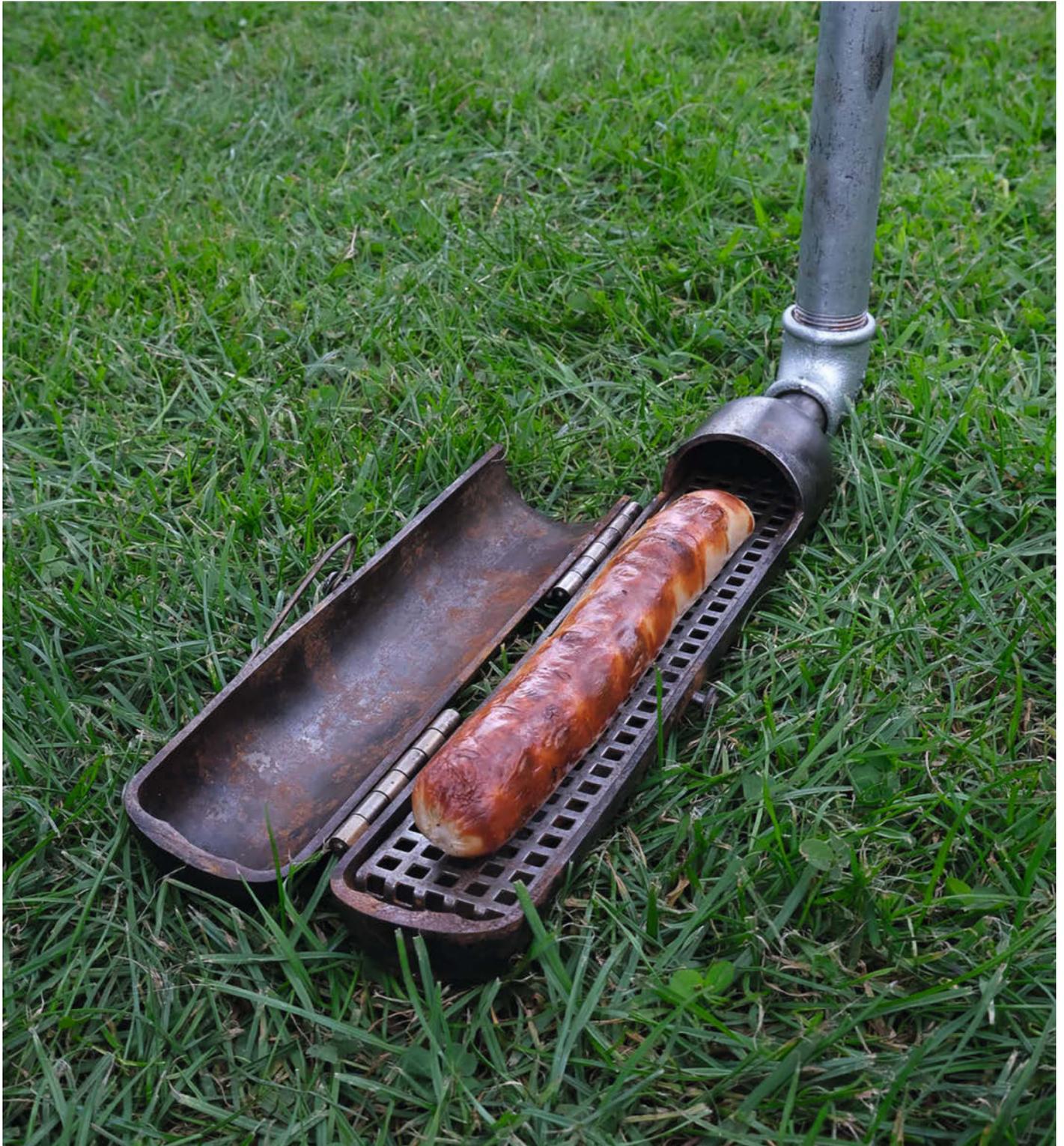


cast_and_forge

Der Ein-Wurst-Grill

Findet der Maker Bastelmaterial, muss er einfach loslegen, auch wenn die Idee ein wenig verrückt und unpraktisch ist. Aber wenn die Bastelei funktioniert und das Ergebnis schmackhaft ist, wird sich niemand beschweren.

von Jan Peter Kutzt



Wie kommt man eigentlich auf so eine bescheuerte Idee? Vor wenigen Jahren hatte jemand ein *SodaStream*-Gerät wild entsorgt. Ohne Quittung wird ein CO₂-Zylinder nicht nachgefüllt, ich entsorgte den Rest und behielt den Stahlzylinder. Irgendetwas musste daraus doch zu machen sein; der schöne Stahlzylinder schrie förmlich nach einem Grill.

Als erstes habe ich durch Betätigung des Ventils überprüft, ob der Zylinder vollständig entleert war. Dann habe ich das Ventil herausgeschraubt und anschließend die Lackierung mit der Stahlbürste auf dem Winkelschleifer entfernt.

Jetzt wurde der zukünftige Deckel mit der Trennscheibe sorgfältig herausgeschnitten und entgratet. Danach habe ich zwei Edelstahlscharniere angebracht. Diese Reihenfolge war ein Fehler, den ich in der zweiten Version aktuell korrigiert habe.

Die Verriegelung des Deckels sollte einfach, robust und im heißen Zustand ohne Verbrennungen zu bedienen sein. So bin ich auf die Lösung mit der Fahrradspeiche (mein Lieblingsuniversalwerkzeug) gekommen. Eine Öse, die genug Spiel bietet, um nicht zu klemmen, und ein Bogen mit Hinterschnitt, der eine Rastung am Gegenstück ermöglicht. Dass diese Lösung noch Schwächen hat, zeigte sich erst sehr viel später.

Um die Wurst grillen zu können, musste ich zahlreiche Luftlöcher in den Boden des Grills bohren, da es das Ziel war, mit nur wenig Glut eine Wurst zu grillen. Als Grillrost habe ich einen Streifen Lochblech verwendet. Benötigte Länge ausmessen, mit Verrundungen an den Enden ausschneiden und die Enden um 90° abwinkeln. Unterhalb des Rostes kann ich zwei zerkleinerte Briketts entzünden.

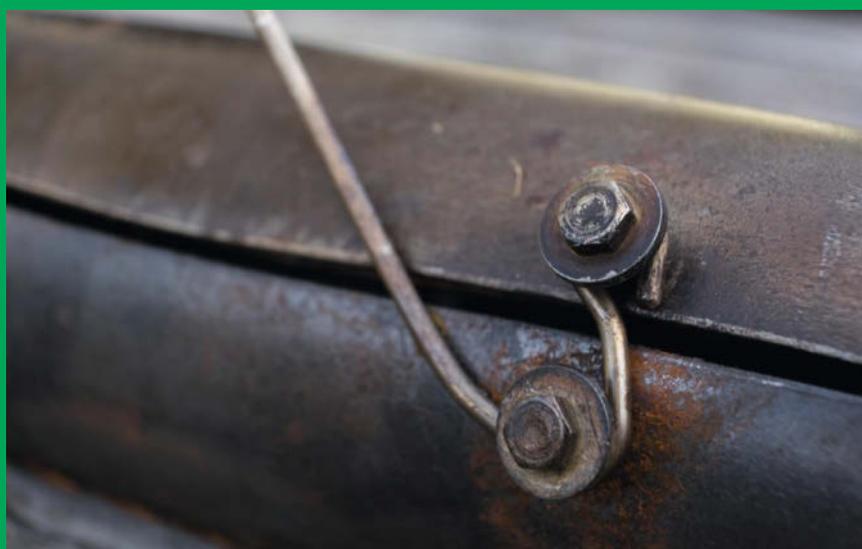
Ich hatte noch den Gedanken, ein längeres Rohr nach oben abgewinkelt zu montieren, um einen Kamineffekt für die Glut zu erhalten. Theorie und Praxis würden vielleicht passen, wenn ich wirklich Ahnung von Thermodynamik oder so etwas hätte. So habe ich jetzt einen brauchbaren Griff, wenn ich die Glut eines Lagerfeuers direkt nutze. Bei dem Experiment mit dem Lagerfeuer zeigte sich im Übrigen die Schwäche der Fahrradspeiche: Sie wurde zu warm und verlor ihre Festigkeit.

Inzwischen habe ich einen weiteren gebrauchten Zylinder erhalten. Da dieser jedoch aus Aluminium ist (guter Wärmeleiter), habe ich sehr starke Zweifel daran, dass die Wärme der inneren Glut meine Wurst erreicht. Dieser Ein-Wurst-Grill soll von Anfang an eine Lagerfeuer-Version sein. Vorerst verzichte ich auf die Belüftungslöcher am Boden und mache mir Gedanken über einen alternativen, einfach herzustellenden Verschluss.

Abschließend ist festzustellen, dass dieser Grill ein netter Hingucker ist – wenn ich Grill-Wurst-Hunger habe, nehme ich aber doch lieber meinen kleinen Kohlegrill. —caw



Der fertige Grill noch ohne Luftlöcher für den Einsatz am Lagerfeuer



Verschluss aus Fahrradspeiche



Grillwürstchen auf Stahl- und Aluminiumversion

Der Brassberry

Steampunk-Raspberry-Pi-Mediacentrum im Jules-Verne-Stil aus Material vom Schrott. Der Maker und Steampunker Joachim Buff erschafft Geräte, die einer alternativen Gegenwart zu entstammen scheinen.

von Carsten Wartmann



Joachim Buff ist in der Maker- und Steampunk-Szene kein Unbekannter, er war sowohl im Fernsehen zu Gast als auch in diversen Zeitungsartikeln präsent. Mit dem Alias *Genius Immanuel von Heddernheim* produziert er seit Jahren erstaunliche Geräte im Steampunk-Design.

Seit seiner Kindheit ist Joachim Buff ein Fan der Jules-Verne-Romane und fasziniert von dieser Zeit, auch wenn natürlich Roman und historische Wirklichkeit sehr verschieden sind. Aber die Ästhetik alter Maschinen und Geräte ließ ihn nicht los. Wie wurden diese Geräte früher entwickelt und produziert? Wie würden Geräte in einer alternativen Gegenwart mit der viktorianischen Ästhetik aussehen? In der *Frankfurter Rundschau* las er dann einen Artikel über das Maker-Genre *Steampunk* und war von nun an nicht mehr allein mit seinem Hobby – Internet und Maker-Faires sei Dank.

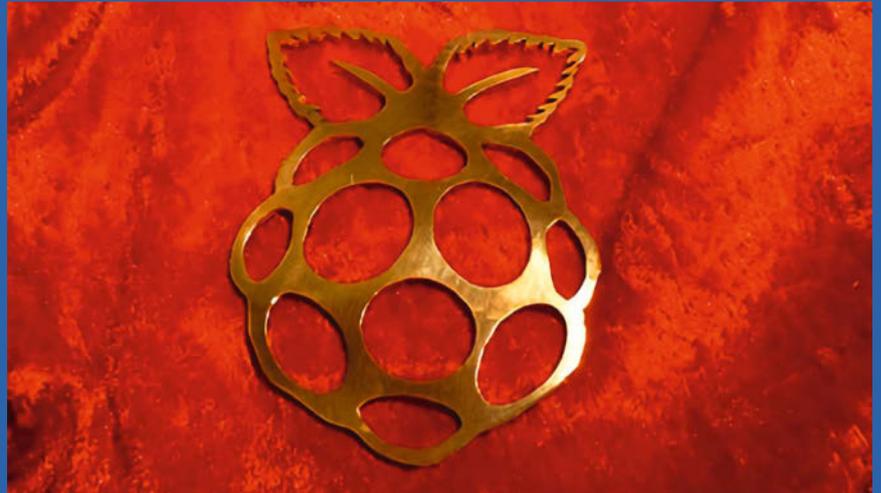
Seine Apparate wie der *Sphärenklangfänger*, das *Pädagophon* oder die *Nerv-Gun-Kamera* sind Projekte, deren Materialien vom Sperrmüll, Schrottplatz oder Flohmarkt stammen. Beherrschendes Material ist dabei Messing, oder zumindest nach Messing aussehende Materialien. In diesem Metall-Sonderheft mussten wir einfach seinen *Brassberry* (Kunstwort aus *Brass*, engl. *Messing*, und *Raspberry*, wie Himbeere und Name des uns allen bekannten Bastelcomputers) vorstellen. Messing ist ein sehr dankbares Material für Maker, es lässt sich relativ leicht bearbeiten und hat ein tolles Aussehen. Selbst wenn es korrodiert, ist das eher eine Patina denn ein Korrosionsschaden.

Ausgangspunkt für den *Brassberry* war eine 5kg schwere Messinguhr vom Schrottplatz. Bis sie wieder schön aussah, wurden viel Schleifpapier, Poliertücher, Messingpolitur und Muskelkraft benötigt. Dieses Gehäuse war dann der Ausgangspunkt für ein Multimediacenter auf Basis eines *Raspberry Pi*. Ein Video, in dem man den *Brassberry* zusammen mit einer stilechten Steampunk-Tastatur und dem *Mausoleum* in Aktion sehen kann, gibt es auf der Website des Makers. Hier erfährt man auch mehr über den Aufbau und die Bearbeitungsschritte.

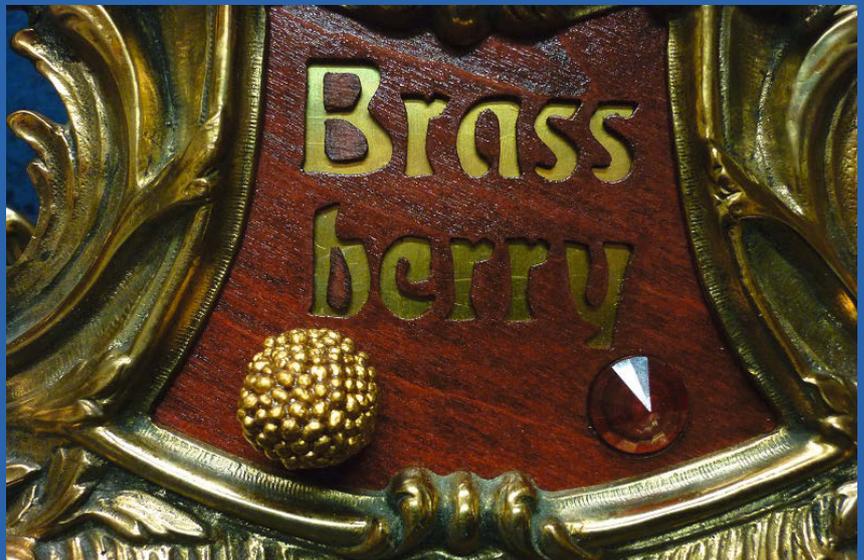
Das *Raspberry-Pi-Messinglogo* wurde nach einer ausgedruckten Vorlage aus 2mm Blech mit der Laubsäge ausgeschnitten, geschliffen, poliert und auf das neue Holz-„Ziffernblatt“ geklebt. Mit Geduld, Schablone und Laubsäge entstand auch der *Brassberry-Schriftzug*.

Erklärtes Ziel war es, das Uhrengehäuse ohne Veränderungen zu benutzen. Auch für die Verdrahtung wurden Kabel vom Schrott und ausgeschlachteten Geräten benutzt. Als Taster sollten Messing-Himbeeren dienen. Aber die waren nirgendwo zu bekommen, weshalb *Genius Immanuel von Heddernheim* dann eine Kaubonbon-Himbeere trocknen ließ, mit Messinglack bemalte und auf den Taster klebte. Genial! —caw

► vonheddernheim.de



Raspberry-Pi-Logo in Messing



Himbeertaster und Edelstein-LED



Anschlüsse hinten am Uhrengehäuse

Treiben – Metalle formen mit Hammer und Punzen

Beim Treiben bringt man mit gezielten Hammerschlägen Bleche in eine neue Form.
Die traditionelle Technik ist eine Form des Schmiedens, man kommt aber ohne
Esse aus – wenn auch nicht ganz ohne Hitze. So geht's.

von Andreas Bochmann



Das Treiben ist eine Technik des Schmiedehandwerks. Während beim Schmieden ein Werkstück durch Hämmern grundlegend seine Form ändert, also etwa eine runde Eisenstange schrittweise in ein Hufeisen umgewandelt wird, geht es beim Treiben um die Umformung von Blech. Aus einem glatten Blech wird dabei beispielsweise eine Schale oder ein Kessel, aber diese sind weiterhin aus Blech.

In vorindustriellen Zeiten gab es eine Vielzahl von Spezialisierungen des Schmiedehandwerks. Die Berufsbezeichnungen wurden teilweise aus den produzierten Gegenständen abgeleitet, wie beim *Hufschmied*, häufig aber auch aus dem Metall, das verarbeitet wurde. Das *Goldschmiedehandwerk* hat sich bis heute gehalten, der Beruf des *Kupferschmieds* ist hingegen in Vergessenheit geraten (ein Video gibt es über den Kurzinfo-Link).

Auf den Spuren eines Handwerks

Nördlich von Flensburg, direkt an der dänischen Grenze, gibt es einen Ort namens Kupfermühle. Im dortigen Museum kann man in die Geschichte des Treibens von Kupfer und Messing eintauchen ① ②. Dort wird in einem Video gezeigt, wie Joseph Plunser, der letzte Kupferschmied, einen Kupferkessel für die Käseproduktion fertigt. Nach 33.000 Hammerschlägen mit der Hand ist der Kessel fertig. Danach geht der Meister in den Ruhestand und zurück bleibt ein wehmütiges Gefühl.

Oder es siegt die Neugierde und der Gedanke, es einfach selbst auszuprobieren. Für weitere Inspiration besuche ich die Hamburger Goldschmiedin Birgit Engelmann in ihrer Werkstatt. Zu meiner Überraschung finde ich dort viele Werkzeuge aus dem Museum wieder ③ und stelle fest, dass die Technik des Treibens noch lange nicht ausgestorben ist.

Kurzinfo

- » Kältes Umformen von Blechen aus NE-Metallen
- » Ausglühen für weicherer Material
- » Wie man die nötigen Werkzeuge und Vorrichtungen selber baut

Checkliste



Zeitaufwand:
ein Nachmittag



Kosten:
ab wenige Euro fürs Material, professionelle Hammer etwa 30 Euro pro Stück

Werkzeug

- » Hammer ggf. mehrere Exemplare
- » Gummihammer
- » Punzen oder modifizierter Durchschlag/Durchtreiber
- » Feile und andere Schleifmittel
- » Schraubstock
- » Heißklebepistole
- » Lötlampe zum Ausglühen und feuerfeste Unterlage (etwa Grill)

Material

- » Kupferblech etwa 1mm stark
- » Holz etwa für Treibstock und Unterlagen

Alles zum Artikel im Web unter [make-magazin.de/xjyv](https://www.make-magazin.de/xjyv)

Ich selbst habe das Treiben vor langen Jahren einmal gelernt, bin aber zugegebenermaßen etwas aus der Übung. Für dieses Make-Sonderheft habe ich mir deshalb zwei einfache Projekte vorgenommen: Ich möchte ein kleines Schild mit einem Schriftzug herstellen, der sich plastisch abhebt. Die hierfür verwendete Technik nennt sich *Ziselieren*. Dabei werden die Hammerschläge indirekt über einen sogenannten *Punzen* an das Blech weitergegeben. Die direkte Einwirkung von Hammerschlägen demonstriere ich hingegen an einem zweiten Projekt, indem ich ein flaches Blech in eine Halbkugel bzw. eine Schale umwandle, die



1 Museum Kupfermühle: Holzform zum Treiben des Kesselbodens

Industriemuseum Kupfermühle

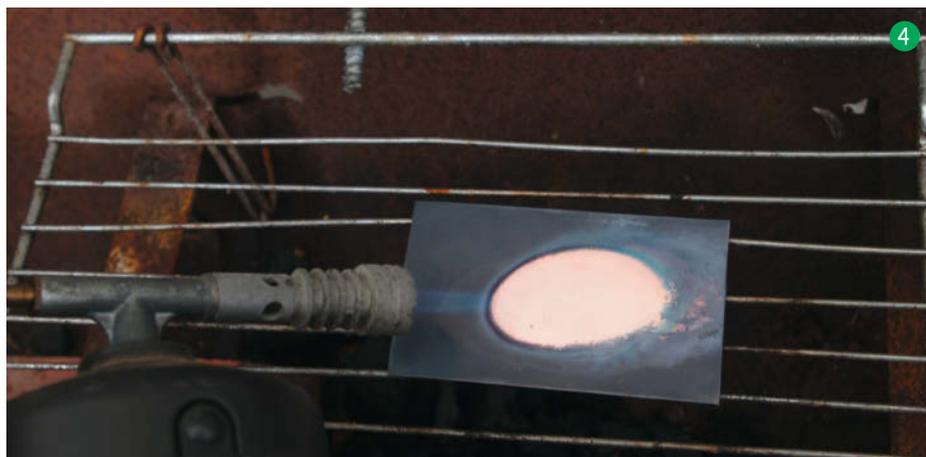


Industriemuseum Kupfermühle

2 Museum Kupfermühle: Elektrisches Hammerwerk



3 Verschiedene Hämmer aus der Goldschmiedewerkstatt



mir später als Reflektor für eine Lampe dienen soll.

Bei beiden Projekten versuche ich, möglichst einfache und wenige Werkzeuge zu verwenden, damit die Hürde zum Nachmachen nicht zu hoch ist.

Was möglich ist

Die Technik des Treibens lässt sich auf alle NE-Metalle anwenden. NE steht für *Nicht*

Eisen. Eisen fällt etwas aus dem Rahmen, weil es sich in heißem Zustand deutlich besser schmieden lässt. Das Bild des Hufschmiedes, der ein glühendes Eisen direkt aus dem Feuer holt und sofort darauf hämmert, haben wir alle vor Augen. Die NE-Metalle hingegen lassen sich auch in kaltem Zustand gut verformen. Für uns hat das den Vorteil, dass wir auf Esse und Schmiedefeuern verzichten können und die Gefahr von Verbrennungen deutlich geringer ist.



Ganz ohne Flamme kommen wir allerdings nicht aus. Vor dem Bearbeiten müssen die Bleche ausgeglüht werden (4). Durch Druck verfestigt sich das Metallgefüge. Bleche werden im Allgemeinen durch mehrfaches Walzen zwischen zwei großen Rollen hergestellt, bis sie die gewünschte Dicke erreicht haben. Deshalb ist frisch gekauftes Blech eher schwer zu verformen. Durch Glühen wird das Metall weich und lässt sich nach dem Abkühlen auch leicht mit der Hand verbiegen. Beim Hämmern oder Ziselieren wird das Blech dann wieder steif und lässt sich zunehmend weniger verformen, so dass für eine weitere Bearbeitung das „Zwischenglühen“ notwendig wird. Je stärker das Blech verformt werden soll, desto häufiger muss geglüht werden. Bei meinem Beispielschild hat ein einmaliges Glühen schon ein gutes Ergebnis geliefert. Beim Reflektor war immerhin achtmaliges Zwischenglühen nötig, um zum gewünschten Ergebnis zu kommen.

Werkzeugwahl

Was mit dem Blech beim Bearbeiten passiert und welche Art von Umformung eintritt, hängt sehr von der Härte und der Kombination der Werkzeuge ab: Kommt das Blech zwischen zwei harten Werkzeugen zu liegen (klassischer Fall: Hammer und Amboss), wird es durch den Schlag dünner und dehnt sich aus. Außerdem verfestigt sich, wie schon beschrieben, das Metallgefüge und ein zweiter Hammerschlag an derselben Stelle hat fast keinen weiteren Effekt.

Die Verwendung von weicheren Werkzeugen wie eines Gummihammers bewirkt mehr eine Verformung des Blechs, ohne dass sich seine Härte ändert. Ein Beispiel wäre das Ausbeulen eines Kotflügels. Bei den Beispielprojekten werden wir verschiedene Kombinationen von harten und weichen Werkzeugen einsetzen und jeweils erläutern, welcher Effekt sich dadurch ergibt.

Es ergibt durchaus Sinn, einige Werkzeuge selbst herzustellen oder zu modifizieren. Auch darauf wird bei den Beispielprojekten näher eingegangen. Vorab sei aber gesagt, dass die Werkzeuge aus Eisen – wie Hammer oder Punzen – keine scharfen Kanten haben sollten. Diese drücken sich beim Bearbeiten im Blech ab und die entstehenden Scharten lassen sich am Ende nicht mehr beseitigen. Das gleiche gilt auch für schadhafte Stellen im Werkzeug. Hat etwa der Hammer eine Delle, wird sich diese bei jedem Schlag in die Oberfläche des Metalls einprägen. Andererseits kann man mit einem sogenannten *Polierhammer* eine glänzende Oberfläche erzeugen.

Als Material für die beiden folgenden Projekte habe ich 1mm dickes Kupferblech gewählt. Es ist deutlich günstiger als das vergleichbar gut zu bearbeitende Silber oder



11



12



13

sogar Gold. Bei Aluminium und Messing gibt es eine Vielzahl von Legierungen und die Zusammensetzung beeinflusst die Verformbarkeit. Aluminium hat zudem einen niedrigen Schmelzpunkt und ist zum Ausglühen nur bedingt geeignet.

Projekt 1: Blechschild

Die Idee ist, einen Schriftzug als Relief aus einem Blech herauszuarbeiten. Es muss natürlich nicht immer das Logo der *Make* sein. Aber wie wäre es mit einem schönen Klingelschild zu Weihnachten? Irgendwann hat sich der selbst getöpferte Vorgänger doch überlebt!

Es macht Sinn, das Design vorher einmal am Computer zu entwerfen und eine Schablone auszudrucken. Je nachdem, auf welcher Seite des Blechs man mit dem Ziselieren beginnen möchte, kann auch ein gespiegelter Ausdruck sinnvoll sein.

Als erstes wird das Blech auf die richtige Größe zugeschnitten. Je nach Verfügbarkeit kann dazu eine Blechschere oder eine Metallsäge verwendet werden. Für die Planung gut zu wissen: Die Größe des Bleches ändert sich durch die Bearbeitung nur unwesentlich – mit kleinen Toleranzen sollte man aber rechnen.

Der nächste Schritt ist wichtig: das Ausglühen. Um ein Gefühl für die Wirkung des Ausglühens zu bekommen, empfehle ich einen Biegeversuch mit der Hand vorher und nachher **5**. Zum Erhitzen des Kupfers reicht eine Lötlampe mit Gaskartusche aus dem Baumarkt. Die Unterlage muss feuerfest sein und es sollten sich keine brennbaren Gegenstände in der Nähe befinden. Ein Grill ist gut geeignet: Der Grillrost bietet den Vorteil, dass das Blech nur an wenigen Stellen aufliegt und damit die Wärme nicht so schnell abgeleitet wird.

Laut Literatur erfolgt das Weichglühen zwischen 400 und 500°C für eine halbe Stunde. Da wir aber nicht die industriell geforderte Homogenität des Prozesses benötigen reicht es, das Blech etwa fünf Minuten mit der Gasflamme zu bestreichen. Ein langsames Abkühlen verlängert den Prozess der Rekristallisation, der jetzt im Kupfer stattfindet. Auch ein Abschrecken mit kaltem Wasser wäre möglich. Im Gegensatz zum Abschrecken von Stahl hat dies aber keinen Einfluss auf die Materialeigenschaft

des Kupfers. Beim Abschrecken des Blechs kann man sich aber zumindest sicher sein, dass man es für die weitere Verarbeitung anfassen kann. Ein Nachteil ist dann allerdings, dass man das heiße Blech etwa mit einer Zange zum Wasserbehälter transportieren muss. Auch das birgt eine gewisse Unfallgefahr.

Nach dem Glühen ist das Blech mit einer schwarzen Oxidschicht überzogen – dem Zunder. Um unser erstes Projekt möglichst einfach zu halten, verzichte ich hier auf die Entfernung des Zunders und spekuliere darauf, dass die Oberfläche am Ende im *Vintage Look* erscheint.

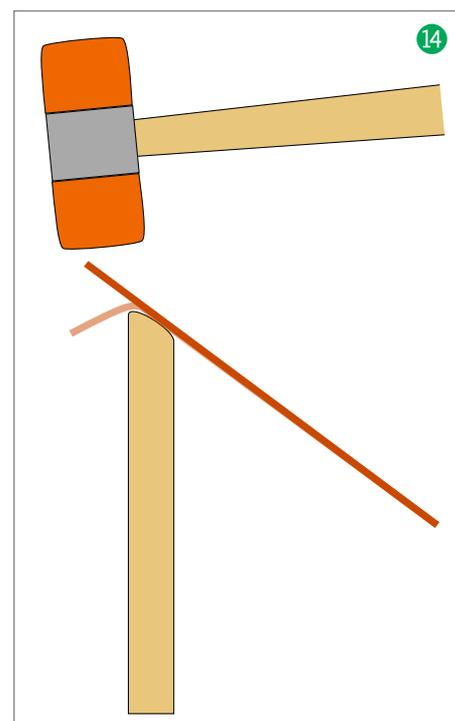
Als nächstes wird die Zeichnung auf das Kupfer übertragen. Ich habe mich inzwischen für eine Bearbeitung von der Vorderseite aus entschieden, deshalb wähle ich den nicht gespiegelten Ausdruck. Der Ausdruck wird auf das Blech gelegt und die Ränder des Schriftzuges mit einer Nadel in regelmäßigen Abständen durchgestochen. Der Vorteil der Methode ist, dass die Markierungen auch bei einem weiteren Glühvorgang erhalten bleiben. Drückt man die Nadel zu tief ein, kann die Beseitigung der kleinen Löcher am Ende schwierig sein. Die Fertigung einer Sprühschablone oder ein Nachzeichnen mit einem Marker sind durchaus denkbare Alternativen.

Jetzt wird noch eine Unterlage benötigt, die beim Treiben mit dem Punzen etwas nachgibt. Goldschmiede verwenden hierfür Ziselierkitt, in den das Werkstück eingebettet wird. Einige Schmiede mischen den Ziselierkitt nach einer eigenen, geheimen Rezeptur an, um genau die richtige Konsistenz zu erhalten. Der erwärmte Kitt wird dann in eine sogenannte Ziselierkugel **6** gefüllt, die das Ziselieren durch ein schnelles Verstellen des Arbeitswinkels erleichtert. Die Anschaffung lohnt sich aber erst, wenn auch alle Nachbarn ein schönes handgetriebenes Klingelschild in Auftrag geben. Zum Ausprobieren der Technik fand ich Heißkleber gut geeignet, mit dem ich das Blech auf eine kleine Holzplatte geklebt habe. Dazu habe ich die Klebestange in Stücke geschnitten und mit der Heißluftpistole erwärmt **7**. Es sollte sich am Ende eine 3-4mm dicke Klebstoffschicht zwischen dem Holz und dem Kupferblech befinden.

Nun benötigen wir einen oder mehrere *Punzen*. Wir erinnern uns, dass die Treibwerk-

zeuge gerundete Kanten haben sollten. Da Punzen nicht zum Standardsortiment von Baumärkten gehören, fertigen wir uns einfach einen selbst. Dem Punzen sehr ähnlich ist ein sogenannter *Durchtreiber* oder *Durchschlag*, den man im Baumarkt für wenig Geld bekommt. Die Kante kann ganz einfach mit einer Feile oder der Schleifmaschine abrunden **8**. Es empfiehlt sich eine Nachbearbeitung mit feinem Schmirgelpapier für eine glatte Oberfläche.

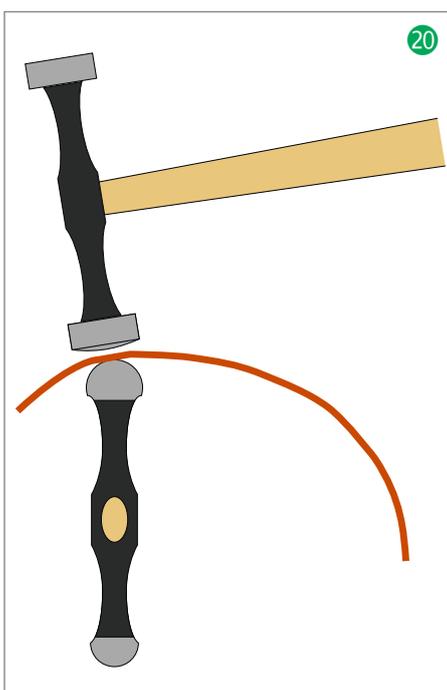
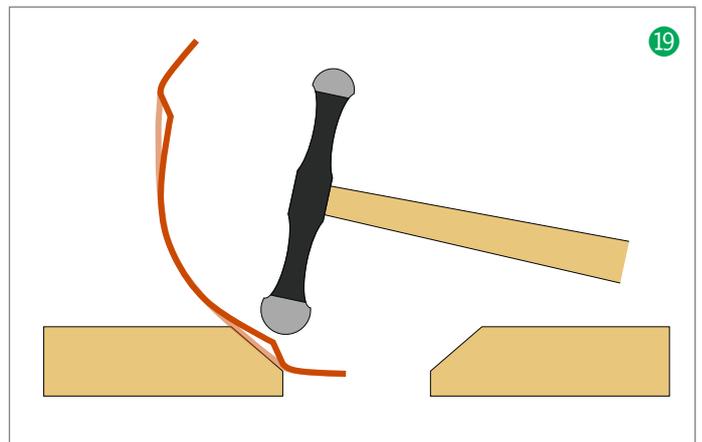
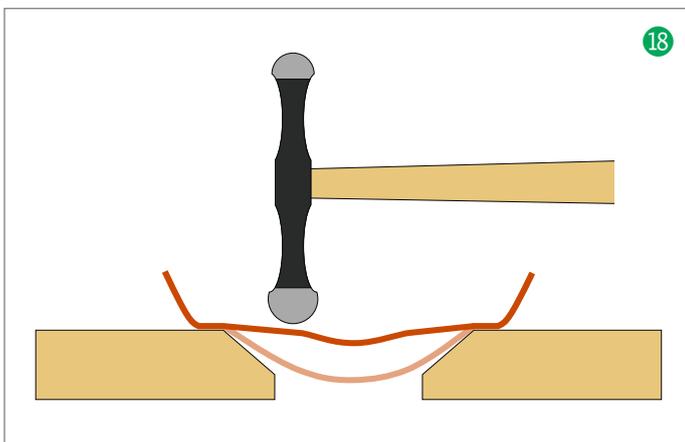
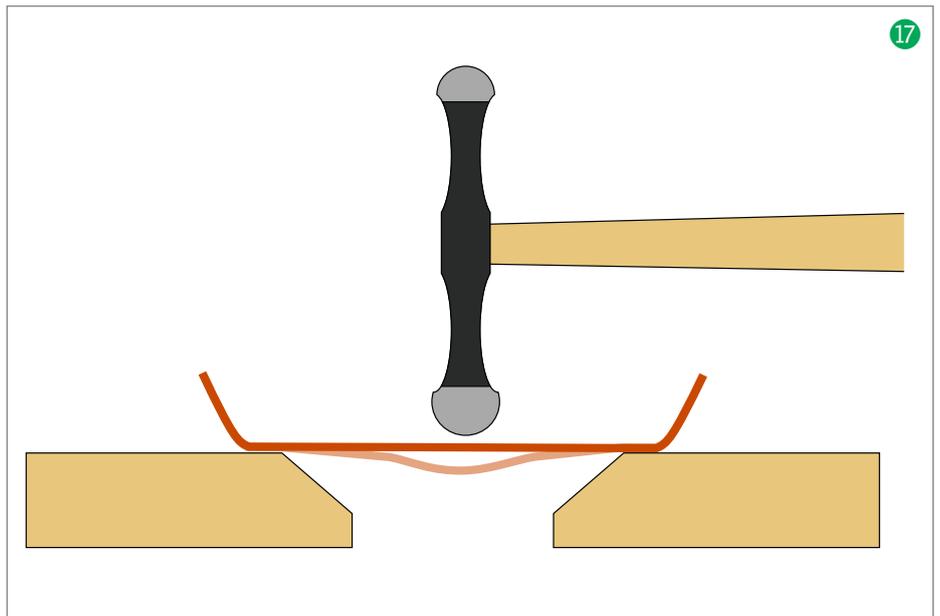
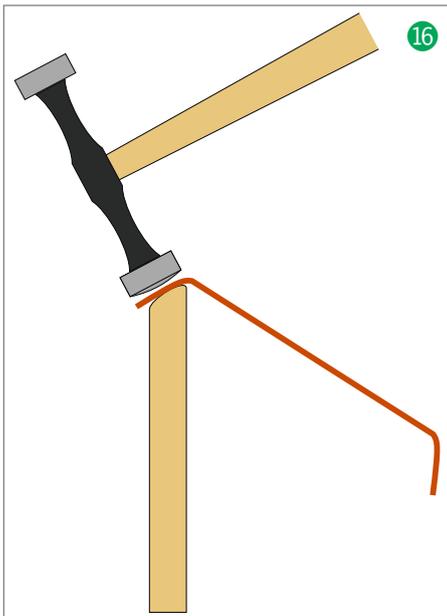
Jetzt kann das eigentliche Ziselieren beginnen. Ich bearbeite zunächst die Kanten der



14



15



Schrift. Da die Schrift in diesem Fall erhaben sein soll, vertiefe ich mit dem Punzen die Flächen zwischen den Buchstaben. Dabei wird der Punzen leicht schräg aufgesetzt, so dass er bei jedem Schlag etwas nach vorne rutscht **9**. Mit etwas Übung können so Linien auf dem Blech „gezeichnet“ werden.

Wird der Punzen senkrecht auf das Blech aufgesetzt, entsteht bei jedem Schlag eine kleine Delle – eine Technik, mit der Flächen strukturiert werden können. Das Blech kann sich bei der Bearbeitung etwas wölben, vielleicht sogar von der Heißkleberunterlage ablösen. Aber keine Angst, das lässt sich am Ende mit einem Gummihammer wieder richten.

Beim Ziselieren merkt man schnell, dass sich Stellen, die bereits mit dem Punzen bearbeitet wurden, bei einem erneuten Schlag fast nicht mehr verändern. Das vormals weichgeglühte Metall hat sich hier wieder verfestigt. Wenn man mit der Bearbeitung fertig ist und alle gewünschten Flächen vertieft hat, kann der Heißkleber durch Erwärmen wieder ver-

flüssig werden. Beim Ablösen sollte man das Blech nicht direkt anfassen, sondern ein Hilfsmittel benutzen. Ich habe Küchenpapier verwendet, mit dem sich dann auch gleich die Klebstoffreste entfernen lassen.

Mit ein wenig Glück und Geschick ist das Schild jetzt schon fertig. Wer mit seiner Arbeit noch nicht zufrieden ist, kann das Kupfer erneut ausglühen und die oben genannten Schritte wiederholen. Dabei wäre z.B. auch eine Bearbeitung von der Rückseite möglich. Sollen die Umrisse der Schrift schärfer erscheinen, kann man sich auch weitere Punzen z.B. mit geraden Kanten fertigen. Für das erste Projekt habe ich es bei einem Arbeitsgang belassen, weil mir die Patina auf dem Schild gefiel **10**. Außerdem wartet ja noch das zweite Projekt.

Projekt 2: Reflektor

Wir steigern die Herausforderung etwas und geben einem ebenen Blech eine deutlich andere Form: Wir wandeln es in eine Halbkugel

um. Diese soll später als Reflektor für eine Lampe verwendet werden.

Zunächst benötigen wir ein kreisförmiges Kupferblech. Auch in diesem Fall habe ich zum Ausschneiden eine Blechschere verwendet. Im Gegensatz zum ersten Projekt habe ich das Blech aber *vor* dem Schneiden ausgeglüht. Wenn es beim Schneiden um die Kurve geht, ist das bei einem weichen Blech deutlich leichter 11. Das Ausglühen erfolgt wie im ersten Projekt. Da ich für den Reflektor eine glänzende Oberfläche brauche, habe ich das Blech direkt nach dem Glühen in kaltem Wasser abgeschreckt. Dabei platzt ein Teil des schwarzen Kupferoxids von der Oberfläche ab.

Zusätzlich habe ich das Blech in einem Säurebad „abgebeizt“ und anschließend noch mit einer Drahtbürste gereinigt. Zum Abbeizen können verschiedene Säuren verwendet werden, in denen sich Kupferoxid gut löst: Meine Goldschmiedin nimmt 10%ige Schwefelsäure, in manchen Baumärkten ist Salzsäure <25% erhältlich, die einfachste Möglichkeit ist Essigessenz 25% aus dem Supermarkt. Egal, welche Säure verwendet wird: Die gebrauchte Lösung sollte nicht in den Abfluss geschüttet, sondern beim nächsten Recyclinghof abgegeben werden. Der Vorteil einer sorgfältigen Entfernung des Kupferoxids ist, dass man beim Hämmern besser erkennen kann, wo schon Schläge auf das Blech getroffen sind. Außerdem arbeitet sich der Zunder nicht in die Kupferoberfläche ein.

Für das Umformen des Blechs werden sogenannte *Treibhämmer* verwendet. Typischerweise sind die Flächen der Hämmer gerundet. Ich habe für den Lampenreflektor zwei Hämmer benutzt 12. Leider gehören beide Hämmer nicht zum Standardsortiment der Baumärkte, müssen also online im Schmiedebedarf bestellt werden. Mit ca. 30 Euro pro Stück sind sie deutlich teurer als ein normaler Hammer. Um die Investitionen für Werkzeug in dieses Projekt zu reduzieren, kann man den flacheren der beiden Hämmer durch einen normalen Haushaltshammer ersetzen, dem man dann aber mit der Feile eine leicht gerundete Fläche verpassen sollte. Außerdem sollte man Scharten und Dellen vom früheren Gebrauch abschleifen, damit sie sich nicht auf das Kupferblech abdrücken.

Die übrigen Hilfsmittel können ebenfalls selbst hergestellt werden. Wir benötigen noch einen *Treibstock*, möglichst aus einem Hartholz, und einen Holzklotz mit Mulde, ähnlich wie auf Bild 1. Für den Treibstock genügt ein Kantholz, das wir an einem Ende mit einer Raspel etwas abrunden 13. Wer gerade keinen Baum gefällt und einen Holzklotz übrig hat, kann sich auch mit dickerem Sperrholz behelfen, in das mit einer Lochsäge Löcher geschnitten und deren Ränder dann mit der Raspel abgeschrägt werden.

Beginnen wir mit der Arbeit: Zunächst wird der Rand des Bleches *gebördelt*. Dazu wird der



Treibstock in einen Schraubstock gespannt. Das Blech wird auf die gerundete Kante gelegt, wobei es ca. einen Zentimeter über die Kante heraussteht. Mit dem Hammer schlägt man auf den überstehenden Teil des Blechs, so dass ein Knick entsteht 14. Das Blech wird nach jedem Schlag etwas gedreht bis am Ende die Kante komplett bearbeitet ist. Ich habe für diesen ersten Bearbeitungsschritt einen Gummihammer verwendet. Dadurch wird das Kupfer beim Bearbeiten noch nicht zu sehr verfestigt und man hat Korrekturmöglichkeiten in weiteren Durchgängen.

Der Rand wird nach diesem ersten Arbeitsschritt noch recht wellig sein 15. Im zweiten Durchgang legen wir das Blech so auf die gerundete Kante des Treibstocks, dass der wellige Rand des Blechs zwischen Holz und Hammer zu liegen kommt. Das Blech wird erneut bei jedem Schlag gedreht und dabei werden die Wellen geglättet. Auch diesen Schritt habe ich noch mit dem Gummihammer durchgeführt. Das Kupfer wird bei diesem Arbeitsschritt gestaucht, das heißt, der Rand des Blechs wird durch die Bearbeitung dicker. In einer dritten Runde habe ich den Rand dann noch einmal mit einem flachen Metallhammer bearbeitet 16. Dadurch wird das Metallgefüge am Rand fest und es bildet sich sozusagen ein stabiler Rahmen für die Bearbeitung der Mitte. Das hat den Vorteil, dass das Blech nicht so leicht seine runde Form verliert.

Bei der Bearbeitung der Mitte wird das Blech in die Mulde des Holzklotzes gelegt oder auf das Loch der Holzplatte. Mit dem kugelförmigen Kopf des Treibhammers arbeiten wir jetzt von der Mitte spiralförmig nach außen. Gleich beim ersten Schlag sehen wir, dass eine Beule entsteht 17. Da die Beule eine größere Oberfläche als das ebene Blech hat, wird das Material an dieser Stelle dünner.

Wenn beim „Ausbeulen“ des Blechs die Kante der Unterlage erreicht ist 18, kann die sich jetzt abzeichnende Schale etwas geneigt werden, so dass die Hammerschläge weiterhin auf einen Hohlraum als Unterlage treffen 19.

Wenn jede Stelle des Kupfers bearbeitet ist, wird es Zeit für ein erneutes Ausglühen. Die Schritte *Ausglühen* und *Treiben* werden so-



lange wiederholt, bis die gewünschte Form erreicht ist. Dabei wird immer zuerst der Rand bearbeitet.

Auf das Bördeln sollte die meiste Sorgfalt verwendet werden. Beim Ausgleichen der Wellen am Rand ist es wichtig, dass sich keine Falten bilden. Denn diese lassen sich nicht wieder entfernen. Bei der Bearbeitung der Mitte gibt es im Prinzip zwei Techniken: Die des „Ausbeulens“ kennen wir bereits. Eine weitere Technik besteht darin, dass man den Treibhammer in einen Schraubstock einspannt und die Schale mit der Innenseite darauf legt. Mit dem flachen Hammer schlägt man dann von außen auf die Rundung der Schale 20. Liegt das Blech beim Auftreffen des Schlages genau zwischen den beiden Hammerflächen, wird es dünner und die Fläche entsprechend etwas größer.

Ich habe beim Treiben des Reflektors beide Techniken eingesetzt – wobei ich meistens zunächst mit etwas größeren Hammerschlägen ausgebeult habe und danach mit dichteren und leichteren Hammerschlägen auf dem Treibhammer eine gleichmäßigere Oberfläche erzielt habe. Bis zur endgültigen Form waren acht Durchgänge von Ausglühen und Treiben erforderlich. Die Arbeit ließ sich an einem Nachmittag gut bewältigen. Das Ergebnis sieht man in den Bildern 21 (Außenansicht) und 22 (Innenansicht).

Ausblick

Am Ende wurden beide Projekte zu einem Lichtobjekt zusammengefügt. Die traditionell hergestellten Teile werden mit moderner Technik bestehend aus Arduino und Neopixel LEDs versehen, damit das Kupfer in „neuem Licht“ erstrahlt – ich finde, die Technik des Treibens hat das verdient. Ein wenig erinnert die selbstgehämmerte Lampe an Steampunk und wir hoffen natürlich, dass die Fans desselben bald zum Hammer greifen, um eigene Ideen zu verwirklichen. Egal, ob Steampunk oder Klingelschild zu Weihnachten – es wäre schön, wenn die Technik des Treibens nicht nur im Museum zu besichtigen ist, sondern sie auch weiter praktisch eingesetzt und weitergegeben wird. —pek

Metall ganz oberflächlich

Verzinkt, galvanisiert, poliert, gelasert, geätzt, eloxiert,
gebürstet, brüniert – wie man die Oberflächen erkennt
und was das für den Maker bedeutet.

von Ulrich Schmerold

Nachdem man mühevoll ein Bauteil aus Metall hergestellt hat, stellt sich fast immer die Frage der Oberflächenbehandlung. Egal, ob nun die Oberfläche gegen Korrosion (Rost z. B.) geschützt, die Optik aufgewertet oder die Eigenschaften der Oberfläche verändert werden sollen. Hierfür stehen zahllose Möglichkeiten zur Verfügung, die sich prinzipiell in drei Gruppen gliedern:

- Der Maker kann die Oberflächenbehandlung selbst vornehmen.
- Die Oberflächenbehandlung lässt sich als Dienstleistung einkaufen.
- Die Behandlung ist dem professionellen Bereich vorbehalten.

Und noch eines: Die folgende Liste stellt natürlich nur eine grobe Auswahl an Verfahren dar. Würden alle Oberflächenbehandlungsmethoden beschrieben werden, würde dies mehrere Bücher füllen.

Lackieren

Starten wir mit einem Verfahren, das sicher jeder kennt. Lackieren ¹ gehört zu den wohl weit verbreitetsten Verfahren und wurde vermutlich schon von fast jeder oder jedem einmal angewandt (und sei es im Kindergarten). Die Lackschicht kann Metalle vor Korrosion schützen und eine optisch ansprechende Oberfläche erzeugen. Sie ist relativ leicht auszuführen (bis auf die leidigen Tropfnasen) und sehr vielfältig.

Lackieren wird in sehr vielen Bereichen angewandt und ist nicht nur auf Metalle beschränkt. Beim Lackieren von Metallen sollte man jedoch unbedingt einige Punkte beachten:

- Der Untergrund muss sauber, staubfrei und vor allem fettfrei sein. Alte Lackreste sollten vorher entfernt werden.
- Bei einigen Untergründen wie z. B. Zink und verzinktem Stahl sollte vor dem Lackieren ein Haftgrund aufgetragen werden. Andernfalls hält die Lackierung nicht vernünftig.
- Auch NE-Metalle (Nichteisen-Metalle) müssen unter Umständen vor dem Lackieren



Kurzinfo

- » Oberflächenveredelungen bei Metall
- » Verfahren kennen und erkennen
- » Selber machen oder Dienstleister beauftragen

Mehr zum Thema

- » Ulrich Schmerold, Sandstrahlkabine für zu Hause, Make 2/16, S. 120
- » Guido Körber, Plexiglas sandstrahlen, Make 1/19, S. 112

Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xkht

vorbehandelt werden, z. B. durch Entfernen der Oxidschicht oder durch Grundieren.

Pulverbeschichten

Beim Pulverbeschichten wird Farbpulver auf ein metallisches Objekt aufgetragen. Damit das Pulver am Objekt kleben bleibt, wird das Bauteil mit elektrischen Feldkräften aufgeladen. Anschließend wird das Objekt in einem Ofen bei 160–200 °C erhitzt, wobei das Farbpulver schmilzt und daraus eine edle und hochwertige Farbschicht entsteht.

Die Pulverbeschichtung kann man auch in der heimischen Werkstatt ausführen. Dazu benötigt man eine Pulversprühpistole, einen Kompressor und einen alten Elektroherd.

Wem die einzelnen Arbeitsgänge zu aufwendig sind, kann auch die Dienste von spezialisierten Firmen in Anspruch nehmen.

Pulverbeschichtete Gegenstände sind sehr hochwertig gegen Korrosion geschützt und haben ein edles Aussehen. Alle Farben sind dabei möglich.

Schleifen

Zum Schleifen gibt es zahlreiche Gerätschaften, die die Arbeit erleichtern: Einhandwinkelschleifer (Flex), Bandschleifer, Extenderschleifer, Schleifbock, Schleifklotz, Fächerschleifer,

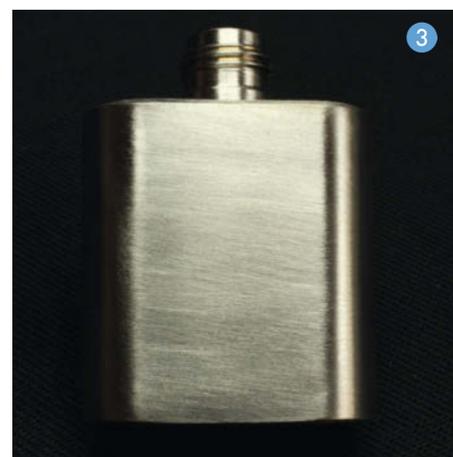
Schleifzylinder u.v.m. Diese dienen zum Entfernen von Lackresten, von Rost oder Unebenheiten. Nach dem Schleifen folgt meist eine weitere Oberflächenbehandlung, die die nun freiliegende Oberfläche gegen Korrosion schützt.

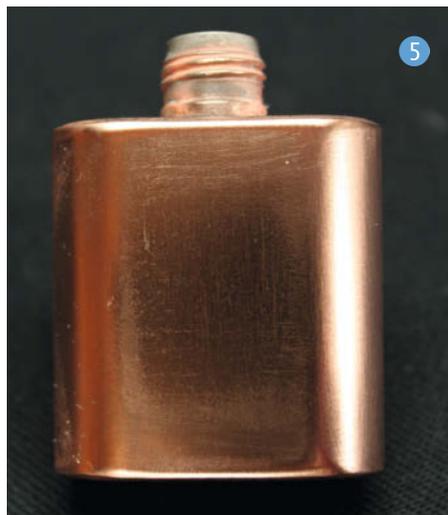
Wie grob oder fein ein Schleifmittel ist, gibt die Körnung an. So ist z. B. P40 ein sehr grobes Schleifpapier, P1000 ein sehr feines. Im Fachhandel erhältlich sind Schleifpapiere bis etwa P7000, wobei es sich hierbei schon eher um ein Polieren handelt.

Polieren

Prinzipiell ist das Polieren ² ein Schleifen mit sehr feinem Schleifmittel. Das Schleifmittel besteht aus sehr feinen Schleifkörnern, die mit einer Paste vermischt sind. Zum Schleifen wird das Poliermittel auf einen Lumpen (oder Lappen) oder auf eine Watte aufgetragen und in kreisförmigen oder geraden Bewegungen über das Werkstück gerieben. Dabei werden sehr geringe Mengen der Oberfläche abgetragen und auch Materialspitzen verformt bzw. geglättet. Vielen ist dieser Vorgang vom Autopolieren bekannt. Äußerst wichtig ist, dass sich keine Fremdkörper auf der Oberfläche befinden. Andernfalls ergibt dies unschöne Kratzer.

Wer auf die Schnelle ein einfaches Schleifmittel sucht, wird meist in der heimischen





Küche fündig. Als Behelfsschleifmittel eignet sich auch Scheuermilch, z. B. für Edelstahl (nicht fürs Auto!).

Nach dem Polieren ist unbedingt an die Anschlussbehandlung zu denken. Wird blankes Metall poliert, muss es im Anschluss unbedingt mit z. B. Zaponlack geschützt werden, damit die glänzende Oberfläche auch dauerhaft erhalten bleibt und nicht sofort wieder korrodiert.

Bürsten

Das Bürsten ³ kommt hauptsächlich in zwei Anwendungsgebieten vor: Zum einen werden mit Stahlbürsten Oberflächen von z. B. alten Lacken oder Verzunderungen befreit und damit für eine Weiterbehandlung vorbereitet. Zum anderen wird durch Bürsten den Oberflächen ein edler, matter Schliff gegeben. Diese Optik kennen die meisten wohl von Edelstahlspülbecken.

Als Werkzeug gibt es für den Maker jede Menge Bürsteneinsätze für die Bohrmaschine, Scheiben für die Flex und natürlich die gute alte Handbürste.

Sandstrahlen und Kugelstrahlen

Mit dem Sandstrahlen ⁴ lassen sich wieder mehrere Arbeiten bewerkstelligen. Auch hier ist es möglich, metallische Objekte für die Weiterverarbeitung vorzubereiten, indem die Oberfläche von Lack oder Zunder befreit wird. Zudem lässt sich auch eine schöne, matte Oberflächenoptik an z. B. Aluminiumbauteilen erzeugen. Selbst wenn das Aluminium vorher ungleichmäßig oxidiert war, sieht die Oberfläche nach dem Sandstrahlen sehr edel und gleichmäßig aus. Sandstrahlen in der heimischen Werkstatt ist dabei auch an vielen weiteren Materialien möglich wie an Plexiglas, Acrylglas, echtem Glas, Holz ...

Eine Sandstrahlbox lässt sich problemlos selbst anfertigen, wie wir in Make 2/16 zeigten (*Sandstrahlkabine für zu Hause*, siehe Kurzinfo).

In Fachbetrieben können Werkstücke auch kugelgestrahlt werden. Dies ist prinzipiell der selbe Vorgang wie beim Sandstrahlen, jedoch nicht mit Sand, sondern mit kleinen Stahlkugeln. Durch die hohe kinetische Energie,

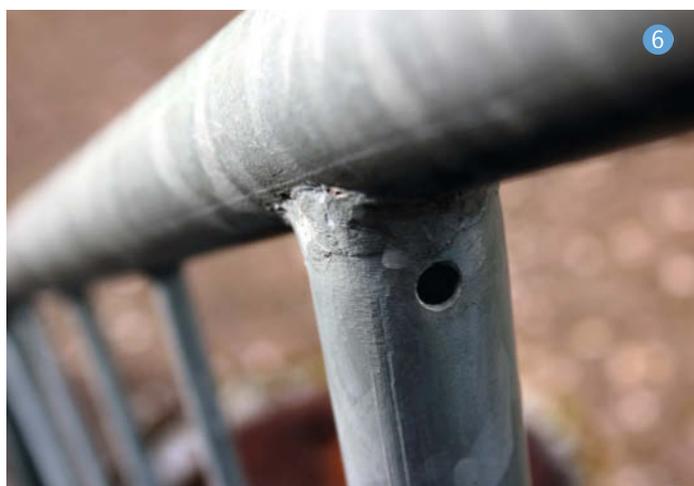
die beim Strahlen auf das Werkstück gebracht wird, kommt es unter anderem zu einer Verfestigung der Oberfläche.

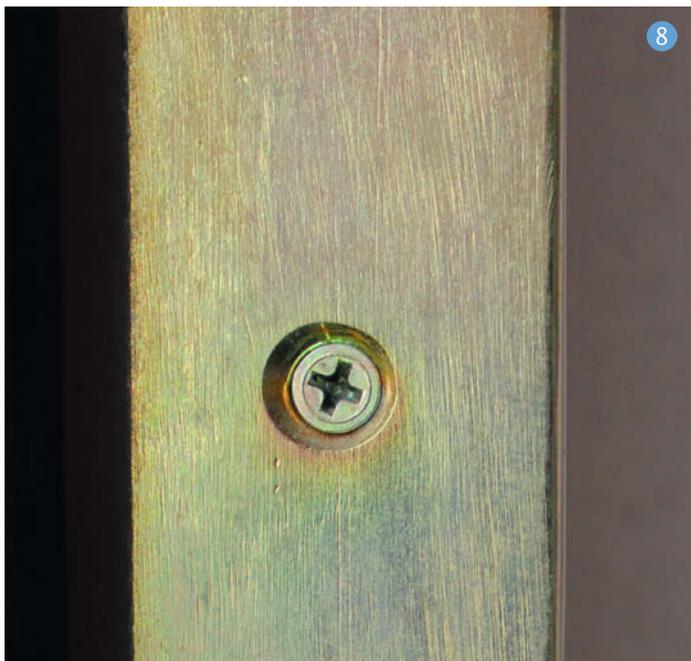
Durch die hohe Energie, die beim Kugelstrahlen frei wird, aber auch durch zahlreiche mögliche Fehler bei der Benutzung (falscher Abstand, zu geringer oder zu hoher Druck), ist das Kugelstrahlen eher Fachleuten vorbehalten.

Anlassen, Härten und Abschrecken

Einen dekorativen Effekt bekommt man durch das Anlassen von Metallen, insbesondere bei Stahl. Dabei wird das Metall auf eine definierte Temperatur erhitzt und langsam abgekühlt. Dabei entstehen bei Stahl blassgelbe (200°C), kornblumenblaue (300 °C) oder graue (500°C) Anlassfarben. Diese Schichten entstehen durch eine Oxidation und vermindern auch weitere Korrosion. Unter Umständen kann dabei auch eine Härtung der Oberfläche entstehen, besonders wenn in Wasser abgeschreckt wird.

Benötigt man ein Werkstück, das auch innen eine hohe Härte aufweisen soll, so lässt sich dies beim Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt von über 0,35% durch Härten erreichen. Das Bauteil wird dabei rot glühend erhitzt (über 723 °C), und anschließend möglichst zügig in Wasser abgekühlt. Dabei verändern sich die mikroskopischen Strukturen und Eigenschaften im Stahl. Der Stahl wird hart. Vor allem aus alten Schmieden in Filmen ist dieser Vorgang bekannt, er wird jedoch immer noch im Maschinenbau praktiziert. Wer die Möglichkeit besitzt, den Stahl (mit Schweißbrenner oder Esse) auf die benötigte Temperatur aufzuheizen, kann problemlos Stähle in der Garage härten. Wird ein bereits harter Stahl erhitzt und anschließend sehr langsam abgekühlt, wird er auch wieder weich. Das ist auch der Grund, weshalb Bohrer, die zu stark erhitzt wurden, anschließend weich und damit unbrauchbar werden.





Galvanisieren

Beim Galvanisieren werden dünne Schichten aus Metall mittels einer Salzlösung, die gelöste Metall-Ionen enthält, und einer Gleichspannung auf ein Träger-Metall aufgetragen. Die Metall-Ionen werden dabei von einer Opferanode gelöst und durch die Salzlösung auf das Bauteil übertragen.

Verkupfern

Am ehesten geeignet für Maker ist es, einen Kupferüberzug **5** zu erzeugen. Wie dies genau vonstattengeht, beschreibt der Artikel ab Seite 78 in diesem Sonderheft. Kupfer kann für dekorative Zwecke oder zur Erhöhung der Leitfähigkeit von Oberflächen genutzt werden.

Verzinken

Beim Verzinken **6** kommen wir jetzt in Bereiche, die sich nur bedingt für die heimische Garage eignen. Jedoch gibt es sehr viele Betriebe, die auch für Privatkunden ihre Dienste für relativ wenig Geld anbieten.

Beim Verzinken muss man zwischen drei Verfahren unterscheiden: dem *Feuerverzinken*, dem *Gelbverzinken* und dem *galvanischen Verzinken*.

– Beim *Feuerverzinken* wird ein Bauteil aus Eisen oder Stahl in geschmolzenes Zink (etwa 450 °C) getaucht. Dabei entsteht an der Berührungsfläche zwischen Eisen und Zink eine sehr widerstandsfähige Legierungsschicht und darüber eine sehr haltbare Schicht aus Zink. Es wird somit nicht nur eine Schicht wie beim Lackieren aufgetragen, sondern an der Grenzschicht zwischen Stahloberfläche und Zink eine ganz neue

Legierung erzeugt. Zinkdämpfe sind sehr giftig, daher bitten wir von Experimenten damit abzusehen.

– Beim *Gelbverzinken* entsteht eine goldgelbe, irisierende Oberfläche. Aufgrund der geringen Schichtdicke sind vorherige Bearbeitungsspuren noch deutlich zu erkennen. Bei dieser Beschichtung wird meist zuerst verzinkt und anschließend noch eine Chromatisierungsschicht aufgetragen. Dadurch erlangt das Werkstück eine ansprechende Optik und eine sehr hohe Korrosionsfestigkeit.

– Beim *galvanischen Verzinken* wird mittels Strom Zink auf dem Bauteil abgeschieden (siehe auch S. 78). Die Schichtdicke ist im Vergleich zum Feuerverzinken wesentlich dünner. Es entsteht eine fast wie Chrom glänzende Oberfläche.

Das Tolle an Verzinkungen ist, dass die Zinkoberfläche bei Beschädigungen auch als Opferanode fungiert und damit das Stahlbauteil weiter schützt. Somit ist ein gut verzinktes Bauteil für die Ewigkeit gemacht. Ein feuerverzinktes Bauteil weist eine sehr auffällige kristalline Struktur **7** auf.

Hier noch ein wichtiges Detail beim Feuerverzinken: Existieren bei dem Bauteil Sackstellen, also z. B. ein Rohr, das oben zugeschweißt ist, so muss vor dem Verzinken an der Sackstelle eine Bohrung (5 - 6mm) gesetzt werden, durch die beim Verzinken die Luft ein- und austreten kann. Andernfalls kann das Zinkbad nicht alle Stellen des Bauteils erreichen und somit auch nicht alle Stellen schützen.

Der Farbton beim Gelbverzinken **8** ist oft etwas uneinheitlich und kann stellenweise ins Rötliche oder Grünliche übergehen. Dieser Effekt wird als irisierend bezeichnet.

Ein galvanisch verzinktes oder auch glanzverzinktes **9** Bauteil kann auch wie verchromt oder aus Edelstahl wirken.

Die Schichtdicke ist erheblich dünner als beim Feuerverzinken und liegt bei nur ca. 5µm. Meist ist der Korrosionsschutz aber ausreichend.

Zum Schluss noch ein Warnhinweis: Verzinkte Bauteile dürfen nicht nachträglich geschweißt werden, da dabei giftige Dämpfe entstehen. Sollte dies dennoch erforderlich sein, so muss das Bauteil vor dem Schweißen großflächig von Zink befreit werden.

Verchromen

Eine verchromte Oberfläche zeichnet sich durch einen makellosen Glanz aus und ist besonders für Teile an Oldtimern und Motorrädern beliebt. Da die Chromschicht sehr dünn ist, bietet sie aber nur bedingt einen Korrosionsschutz.

Das Verchromen ist sehr aufwendig und erfordert mehrere Arbeitsschritte. Zunächst muss das Werkstück makellos poliert werden. Anschließend wird es sorgfältig entfettet und galvanisch verkupfert. Auch die Kupferschicht muss wieder poliert werden. Nun wird eine Nickelschicht aufgetragen und anschließend wieder poliert. Erst jetzt ist das eigentliche Verchromen z. B. in einer Chrom-III Lösung möglich.

Prinzipiell ist es möglich, alle diese Schritte zu Hause durchzuführen, dies erfordert aber ein hohes Maß an Know-how und den Umgang mit sehr gefährlichen Chemikalien. Leichter und professioneller ist es jedoch, das Verchromen einer Spezialfirma zu übergeben.



Beizen

Beim Beizen wird das Werkstück (meist Stahl oder Edelstahl) in aggressiven Säuren wie Salz-, Schwefel-, Fluss-, Phosphor-, Salpeter- oder Chromsäure und deren Gemische getaucht. Dadurch werden für das Bauteil schädliche Stoffe wie Rückstände vom Schweißen entfernt. Besonders zu erwähnen ist hierbei, dass das Entfernen von Schweißrückständen auch bei Edelstahl geboten ist. Andernfalls korrodiert auch Edelstahl.

Da die Säuren als Gefahrstoffe einzustufen sind und auch die bloßen Dämpfe gefährlich sind, ist von einem Gebrauch in der Garage oder heimischen Werkstatt abzuraten.

Für das Beizen von Buntmetallen gibt es im Internet Schwarzbeize, die auch zuhause angewandt werden kann. Das Beizen bei Buntmetallen dient meist dazu, dem Bauteil ein antikes Aussehen zu verleihen oder als Vorbereitung für Verklebungen (siehe S. 24), die bei NE-Metallen oft problematisch sind.

Brünieren

Brünieren dient zur Herstellung einer dünnen Schutzschicht (ca. 1-2µm dick) und zur Veränderung der Farbe von eisenhaltigen Werkstoffen (Stahl und Eisen). Dabei entsteht eine anthrazitfarbene bis mattschwarze Oberfläche, die jedoch nur einen relativ schwachen Korrosionsschutz bietet. Brünieren erfolgt etwa durch das Eintauchen in eine heiße alkalische Lösung. Früher wurde auch oft das Bauteil stark erhitzt und mit Leinöl übergossen. Heute gibt es unter anderem im Internet relativ günstige Lösungen (Flüssigkeiten) zum Streichen der Bauteile oder zum Schwenken der Bauteile in der Lösung. Dies ist in der heimischen Werkstatt leicht durchzuführen. In der Industrie wird das Brünieren häufig im Werkzeugbau und bei der Herstellung von Handfeuerwaffen angewandt.

Eloxieren

Eloxieren (**EL**ektrolytisches **OX**idieren von Aluminium) wird nur bei Aluminium **10** ein-

gesetzt. In Baumärkten bietet sich dem Kunden die Auswahl von rohen Alu-Profilen und eloxierten Alu-Profilen an. Eloxierete Bauteile haben eine leicht raue und feinporige Oberfläche, die etwas einer sandgestrahlten Oberfläche ähnelt. Eleoxierte Bauteile können gefärbt werden.

Das Eloxieren findet ähnlich wie das Galvanisieren statt, jedoch mit einem entscheidenden Unterschied: Beim Galvanisieren wird Metall aus einer Lösung auf das Bauteil aufgetragen, beim Eloxieren wird das Bauteil selbst an der Oberfläche verändert. Dazu wird das Bauteil in einer Lösung, die Sauerstoff liefern kann, eingebracht und wie beim Galvanisieren an Gleichstrom angeschlossen. Dabei wird die Oberfläche durch den Sauerstoff oxidiert und eine sehr dünne Schutzschicht (etwa 25 Mikrometer) entsteht. Diese verringert den Reibwert im Kontakt mit anderen Materialien, die Oberfläche wird härter und die chemische Beständigkeit ist höher. Zudem sieht die Oberfläche ansprechender aus. Da die Schichtdicken sehr gering sind, ist die Bearbeitung wie beim rohen Aluminium möglich.

Allerdings gelingt Lötten wegen der schlechten Benetzbarkeit der Eloxal-Schicht nicht oder nur mit speziellen Alu-Löten. Des Weiteren sind Eloxalschichten elektrisch nicht leitend, woran man bei elektrischen Basteleien denken sollte. Auf dem Bild **10** befindet sich rechts ein eloxiertes Alu-Profil und links ein rohes Alu-Bauteil. Seit kurzem tauchen in Baumärkten auch glanzeloxierte Aluprofile auf, die optisch wie polierter Edelstahl wirken. Eigene Bauteile als Dienstleistung eloxieren zu lassen, ist möglich, aber eher teuer.

Elektropolieren (Plasmapolieren)

Beim Plasmapolieren wird das anodisch gepolte Bauteil in ein elektrolytisches Bad gegeben. Das hierbei eingesetzte Elektrolyt besteht aus einer wässrigen Ammoniumsulfatlösung. Beim Eintauchen des Werkstückes in das Bad kommt es zu Entladungsvorgängen an der Anode. Diese lassen sich als punktuelle Kurzschlüsse beschreiben, die zur Plasmaentwicklung führen. In der dabei entstehenden Gaszone finden die eigentlichen Elektrolyseprozesse statt. Diese führen zum Materialabtrag und zur Glättung der Oberflächen. Zudem werden alle organischen und anorganischen Verunreinigungen entfernt.

Der Vorteil liegt in der besonders perfekten plasmapolierten Oberfläche. Weiter können auch Formen poliert werden, die mechanisch nicht erreichbar wären, etwa an engen Spiralen.

Nitrieren

Auch das Nitrieren ist mit erheblichem Aufwand verbunden und nicht in der Garage zu machen.

Beim Nitrieren wird ein Bauteil aus Stahl in einem Kessel für eine längere Zeit (im Bereich von Stunden) auf eine Temperatur von 500 °C aufgeheizt und Stickstoff zugeführt. Dabei wird die Oberfläche des Objekts sehr hart. Die Eigenschaften des Kerns ändern sich dabei aber nicht. Dieses Verfahren wird z. B. bei der Herstellung von Zahnrädern angewandt, wobei die Zahnflanken sehr verschleißfest, der Kern des Zahnrades jedoch zäh bleiben soll. Die Bearbeitung einer nitrierten Oberfläche ist nur noch durch Schleifen möglich.

Ich gehe davon aus, dass niemand vorhat, Bauteile selbst zu nitrieren. In der Getriebeindustrie ist das Nitrieren aber nicht wegzudenken.

Vielfalt

Die obige Auswahl der Verfahren stellen sicher nur eine kleine Auswahl von Oberflächenbehandlungen dar. Darüber hinaus gibt es noch zahllose weitere Verfahren, wie:

- **Heißtauchen:** Das Bauteil wird in ein flüssiges Metallbad getaucht. Dieses Metallbad kann aus Zinn, Blei, Zink oder Aluminium sein. Somit gehört hierzu auch das Feuerverzinken.
 - **Vakuumplattieren:** Vakuumbedampfen, Sputtern, Ionenplattieren, Ionennitrieren und Ionenimplantation sind einige der gebräuchlichsten Metalloberflächenveredelungsverfahren, die in einem Vakuum stattfinden. Ionisierte Metalle, Oxide und Nitride werden in einer Vakuumkammer auf das Bauteil abgeschieden, wodurch die Oberfläche genau definierte Eigenschaften erhält.
 - **Titan-Nitrit-Beschichtung:** Diese Beschichtung kennen wir von Bohrern, die eine goldgelbe Oberfläche besitzen. Solche Bohrer besitzen eine höhere Standfestigkeit und korrodieren nicht mehr. Zur Beschichtung werden Titan-Atome durch einen Lichtbogen herausgelöst und mittels einer Spannung auf das Bauteil gelenkt. Auf dem Weg zum Bauteil wird Stickstoff eingebracht, der sich mit den Titan-Ionen zur gewünschten TiN-Beschichtung (**Titan-Nitrit-Beschichtung**) verbindet.
 - **Noch mehr Verfahren sind:** chemisches Vernickeln, Duplexverzinnen, Nickel-Strike-Beschichtung, Schwarzverchromen, Schwarzvernickeln, Sudversilbern, Sudverzinnen, Sulvamatvernickeln, Zink- und Manganphosphatieren, Beizen von Buntmetallen, u.v.m.!
- Die Technik entwickelt sich immer weiter. Oft gibt es inzwischen Chemikalien im Fachhandel, die sich unter Beachtung der Sicherheitsvorschriften sicher in der Werkstatt einsetzen lassen.

—caw

Das bringt Licht ins Dunkel!

Heft + PDF
mit 29% Rabatt



shop.heise.de/ho-beleuchtung

Starten Sie mit dem Thema **Smarte Beleuchtung** in die **neue Heftreihe von heise online:**

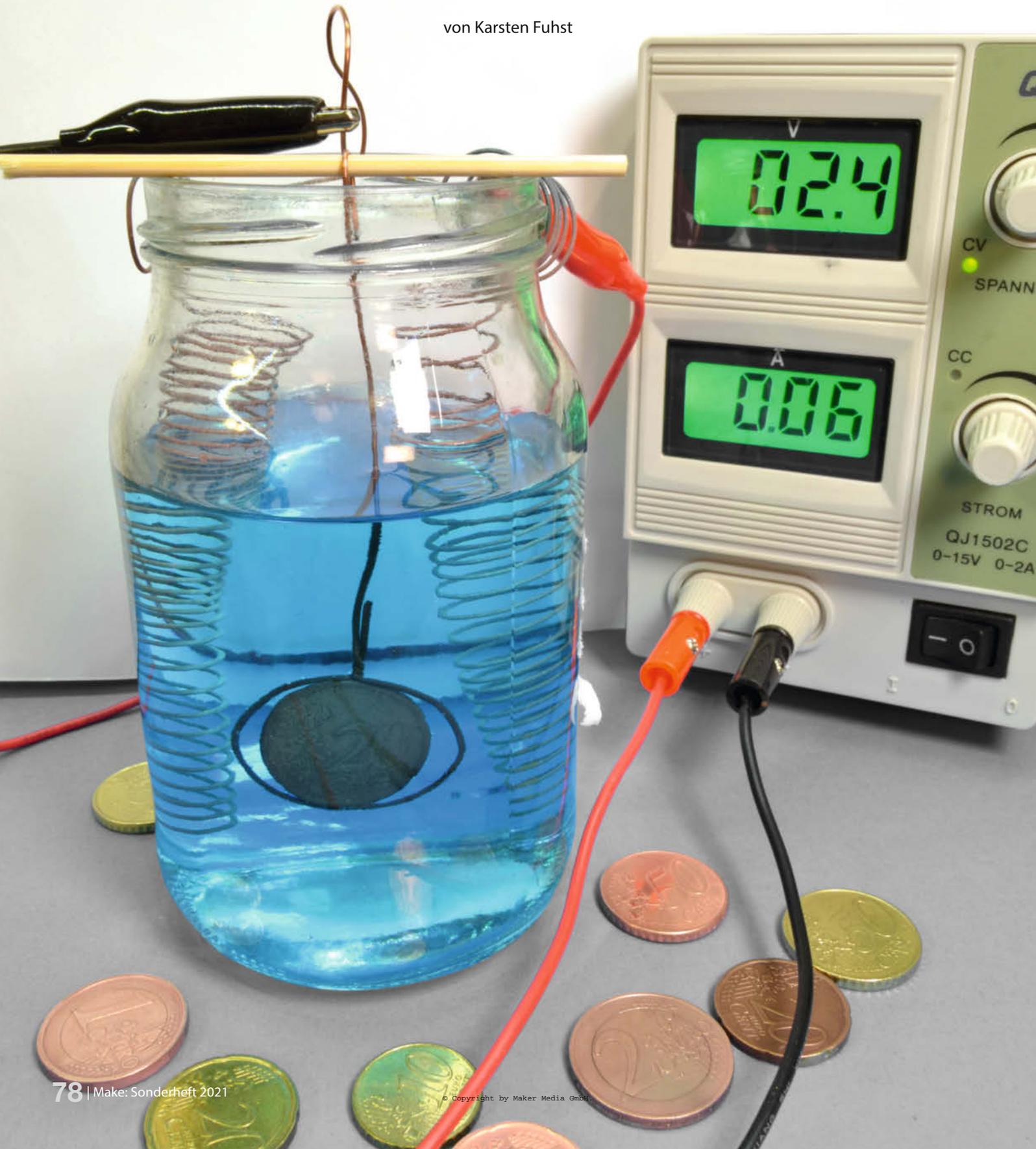
- ▶ Smartes Licht in Haus und Garten
- ▶ Auch im Set mit Smart Steckdose zum Sonderpreis
- ▶ Smarte LED-Lampen für E14 und E27 im Test
- ▶ Für Abonnenten portofrei

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Bundle Heft + PDF 19,90 €

Galvanisieren auf Maker-Art

Mit einfachen Mitteln ist es möglich, auch größere Objekte galvanisch zu beschichten und damit etwa wirksam vor Korrosion zu schützen.

von Karsten Fuhst



Galvanik ist die Abscheidung metallischer Schichten auf einem Werkstück mittels elektrochemischer Prozesse. Mit dem Galvanisieren können ganz unterschiedliche Ziele verfolgt werden. Beim Verzinken von Metalloberflächen etwa geht es darum, das Grundmaterial vor chemischen Angriffen zu schützen, beim Vergolden möchte man ein hochwertiges Aussehen erzielen oder bei Steckern einen guten elektrischen Kontakt ohne störende Oxidschicht erreichen. Auch die Dimensionen von Bauteilen können bei einer Reparatur mittels Galvanisieren wieder leicht vergrößert werden. Dies ist dann schon der Übergang in die *Galvanoplastik*, bei der durch größere Schichtdicken stabile Körper entstehen.

So vielfältig die Ziele sind, so verschieden kann auch die Arbeitsweise sein. Während im professionellen Umfeld häufig auch mit sehr giftigen Substanzen und entsprechend hohem Aufwand für Gesundheits- und Umweltschutz gearbeitet wird, kann und sollte man im DIY-Bereich auf relativ harmlose Chemikalien zurückgreifen. Aber damit geht auch schon einig.

Ein Blick in die Theorie

Um ein Metall mit einem anderen Metall galvanisch beschichten zu können, muss das aufzutragende Metall zunächst in gelöster Form vorliegen. Dafür benötigt man ein *Salz* des Metalls. Ein Salz ist, vereinfacht ausgedrückt, die chemische Verbindung eines Metalls mit einem Nichtmetall. Ein Beispiel haben wir alle in der Küche: Kochsalz hat die chemische Bezeichnung *Natriumchlorid* oder kurz *NaCl* – eine Verbindung des Metalls Natrium und dem Nichtmetall Chlor. Zum Galvanisieren ist es allerdings völlig ungeeignet. Zum einen gibt es wahrscheinlich niemanden, der irgendetwas mit dem sehr reaktiven Natrium beschichten möchte, zum anderen geht das aus einer wässrigen Lösung überhaupt nicht, weil das Natrium sofort wieder mit dem Wasser reagieren würde. Wesentlich praktischer wird es, wenn etwas verкупfert werden soll. Hier wird also ein Kupfersalz benötigt. Dieses muss gut in Wasser löslich sein, wie zum Beispiel *Kupfersulfat* – *CuSO₄*, also ein Salz der Schwefelsäure, das durch das Auflösen von Kupfer in Schwefelsäure entstand.

Löst man das Salz in Wasser auf, zerfällt es in seine Ionen: in positiv geladene Metallionen und negativ geladene Nichtmetallionen. Die Metall-Ionen haben ein unterschiedlich starkes Bestreben, im Wasser aufgelöst zu bleiben – das macht auch den Unterschied aus, ob ein Metall edel ist, wie etwa Gold, oder unedel, wie Natrium in unserem Kochsalz. Denn im Umkehrschluss bestimmt dies auch, wie leicht ein Metall mit anderen Stoffen reagiert. Da Gold unter alltäglichen Umge-

Kurzinfo

- » Werkstücke mit einfachen Mitteln metallisch beschichten
- » Verfahrensweisen und Sicherheitsmaßnahmen
- » Experimente und Praxis, Verzinken ohne Bad

Checkliste



Zeitaufwand:
4 Stunden



Kosten:
0 bis 30 Euro

Material

- » **Elektrodenmaterial** Zink, Kupfer, Nickel
- » **Kabel und Klemmen** geeignet für etwa 3-5A
- » **Behälter** Einmachgläser, Plastikwannen, verschließbar
- » **Entfettungsmittel** Isopropanol, Alkohol, Spiritus
- » **Essigessenz** oder Essig
- » **Wasser** vollentsalzt oder destilliertes Wasser
- » **Zinksulfat**

Werkzeug

- » **Einfache Metallwerkzeuge** Zangen, Säge, Blechschere
- » **Schleifmittel** Schleifpapier, Messingbürsten
- » **Gleichspannungsnetzteil** 12V, 3A, geregelt

Mehr zum Thema

- » Harald Winkler, Zink-Sauerstoff-Akku selber herstellen, *Make* 5/21, S. 78
- » Elke Schick, Helga Hansen, Volt statt Vitamine, *Make* 1/15, S. 142

Alles zum Artikel im Web unter [make-magazin.de/xns9](https://www.make-magazin.de/xns9)

bedingungen nicht mit den uns normalerweise umgebenden Stoffen reagiert, bleibt Goldschmuck über Jahrtausende glänzend und Goldnuggets in Flüssen lösen sich auch nicht auf, wenn sie über viele tausend

Jahre von Wasser umspült werden. Ganz anders die unedlen Metalle: Natrium reagiert bereits mit der Luftfeuchtigkeit und Eisen rostet unter dem Einfluss von Luftsauerstoff und Feuchtigkeit.



Sicherer Umgang mit Chemikalien

Beim Galvanisieren müssen wir mit Chemikalien umgehen, die nicht zum Alltagsbedarf gehören. Dabei gibt es ein paar grundlegende Dinge zu beachten, um diesen Umgang sicher zu gestalten.

Salze sind häufig gesundheitsschädlich. Genaue Angaben, was für die einzelnen Chemikalien zu beachten ist, findet man auf dem passenden Sicherheitsdatenblatt oder *MSDS* – vom englischen *Material Safety Data Sheet*. Wenn das Sicherheitsdatenblatt vom Kauf der Substanz nicht mehr vorhanden ist, sollte man es sich im Internet beschaffen.

Häufig sind die gelösten Salze dann gefährlich, wenn sie aus Versehen getrunken werden, in die Augen gelangen oder über die Haut aufgenommen werden. Daher sollte man beim Umgang mit Salzlösungen eine Schutzbrille und Gummihand-

schuhe tragen. Selbstverständlich sollte man dort, wo man mit Chemikalien umgeht, nicht essen und trinken. Auch müssen Chemikalien in deutlich und korrekt beschrifteten Behältern aufbewahrt und von Kindern ferngehalten werden.

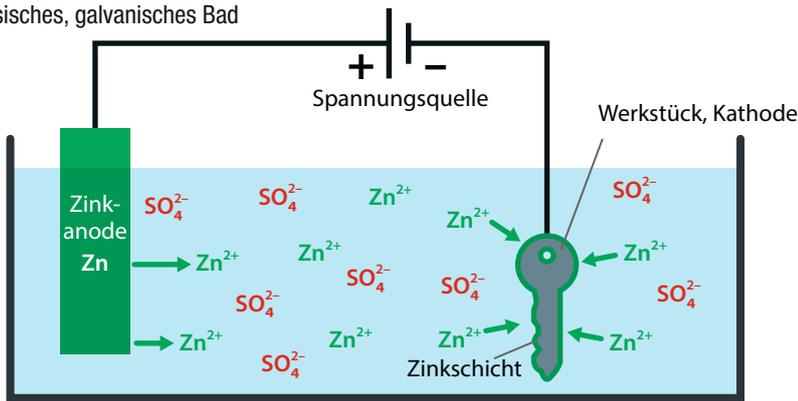
Für den Fall der Fälle ist es auf jeden Fall sinnvoll, die **Giftnotrufnummer 0551-19240** griffbereit zu haben. Das *Giftinformationszentrum-Nord* berät rund um die Uhr bei Vergiftungen oder dem Verdacht auf Vergiftungen.

Im Sicherheitsdatenblatt ist auch die fachgerechte Entsorgung beschrieben. Häufig steht darin: „Nicht in die Kanalisation gelangen lassen“. Diese Chemikalien gehören also keinesfalls in den Ausguss. Für Privatpersonen ist die Abgabe beim Wertstoffhof oder einem Schadstoffmobil kostenlos möglich.

Bad-Galvanik

Klassisches, galvanisches Bad

1



Goldene Regeln der Galvanik

Denken Sie immer an Ihre Gesundheit und die Umwelt. Tragen Sie Handschuhe und eine Schutzbrille. Entsorgen Sie Chemikalien fachgerecht.

In der Galvanik muss mit Sorgfalt und Sauberkeit gearbeitet werden, wenn eine gut aussehende und haftende Oberfläche erzielt werden soll. Der Überzug kann nur so gut werden, wie die Oberfläche es hergibt. Für glänzende Oberflächen werden spezielle Glanzmittel in den Bädern eingesetzt und die Werkstücke anschließend poliert.

Vor dem Galvanisieren muss das Werkstück sehr gut entfettet werden, danach

wird mit Wasser gespült und eventuell die Oberfläche mit Säure geätzt. Ohne dass das Werkstück trocknen kann, sollte sofort galvanisiert werden. Dies verhindert auch eine erneute Oxidation der Oberfläche.

Spülvorgänge sollten in zwei getrennten Bädern hintereinander erfolgen, damit erreicht man, dank der Verdünnungsreihe, besonders gute Reinheit, ohne viel Wasser zu verschwenden.

Eine Kreuzkontamination von Bädern mit verschiedener Chemie muss unbedingt vermieden werden, dies kann die Elektrolyte unbrauchbar machen.

Einige eigentlich unedle Metalle zeigen allerdings ein interessantes Verhalten, denn sie reagieren zum Beispiel mit dem Sauerstoff der Luft und bilden an ihrer Oberfläche eine schützende Schicht, die eine weitere Reaktion verhindert. Das ist beim Zink der Fall – dieses eigentlich unedle Metall bildet eine hauchdünne dichte Zinkoxidschicht, die es vor

weiterer Korrosion durch Sauerstoff und Feuchtigkeit zuverlässig schützt. Eine der Hauptanwendungen der Galvanik ist somit der Korrosionsschutz.

Auch Batterien (siehe unter *Mehr zum Thema* in der Kurzinfo) nutzen das Prinzip der unterschiedlich edlen Metalle. Diese Unterschiede kann man zahlenmäßig erfassen und

damit die elektrochemische Spannungsreihe der Metalle aufstellen. Der Wasserstoff ist hierbei als neutral definiert, zum Einsatz kommt hier die Wasserstoff-Normalelektrode, eine von gasförmigem Wasserstoff umspülte Platinelektrode. Man kann nun messen, wie weit die verschiedenen Metalle vom Wasserstoff entfernt sind, indem man das elektrische Spannungspotential misst. Zink hat gegenüber dem Wasserstoff beispielsweise minus 0,76 Volt und Kupfer plus 0,35 Volt. Daher kann man mit je einem Kupfer- und Zinkdraht oder -blech, beide in eine Zitrone als Elektrolyt gesteckt, eine elektrische Spannung erzeugen und geringe Ströme messen. Mit mehreren dieser Zitronenbatterien in Reihe kann man zumindest eine LED leuchten lassen. Dabei löst sich etwas vom Zink allmählich im Saft der Zitrone (Zitronensäure) auf.

Bei der Elektrolyse ist es genau andersherum. Eine elektrische Spannung wird benutzt, um die Ionen aus der Lösung wieder herauszubekommen. Wenn bei dieser Elektrolyse Metallionen abgeschieden werden, nennen wir den Vorgang Galvanisieren. Die Grafik 1 zeigt die Ionen in der Lösung – hier sind es positiv geladene Zink-Ionen (Zn²⁺) und negativ geladene Sulfat-Ionen (SO₄²⁻). Wenn eine Spannung anliegt, gehen weitere Zinkatome von der Anode in die Lösung und liegen darin ebenfalls als Ionen vor – gleichzeitig lagern sich Zink-Ionen in Form von metallischem Zink an der Kathode, also unserem zu verzinkenden Werkstück, ab. Die Sulfat-Ionen bleiben einfach in der Lösung. Diese wandernden Ionen sind das, was letztlich den Strom oder genauer: die elektrische Ladung transportiert. In einem Metall – zum Beispiel einem Draht – machen das die Elektronen, in einer Flüssigkeit übernehmen das die Ionen. Beim Galvanisieren mit einem Schwämmchen oder Wattebausch (der sogenannten *Tampon-Galvanisation*, dazu gleich mehr) bewegen sich die Metall-Ionen einfach durch die Flüssigkeit im Schwamm zum Werkstück und werden dort abgeschieden.

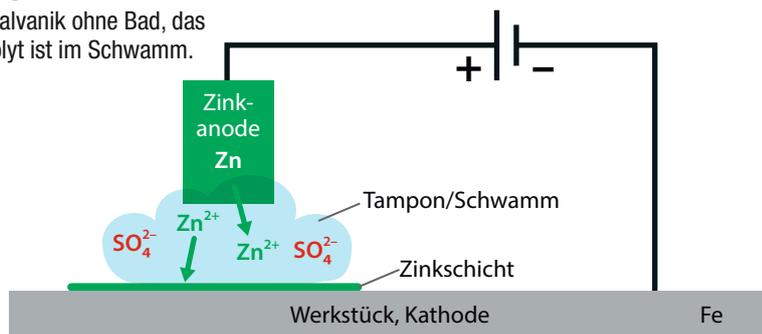
In der Praxis sieht das Ganze meist so aus, dass man eine wässrige Lösung aus einem geeigneten Salz des abzuscheidenden Metalls herstellt, diese nennt man dann *Elektrolyt*. Es gibt noch weitere Methoden, Elektrolyt herzustellen, siehe Kasten *DIY-Elektrolyte*. An den Minuspol einer Gleichstromquelle wird der zu galvanisierende Gegenstand angeschlossen und in den Elektrolyt eingetaucht. Um die Konzentration der Metall-Ionen im Elektrolyten konstant zu halten, wird am Pluspol ein Stück dieses Metalls angeschlossen und ebenfalls eingetaucht.

Nun werden am Minuspol (Kathode) Metallionen abgeschieden, während am Pluspol (Anode) der Nachschub an neuen Metallionen in den Elektrolyten wandern. Dieser Prozess dauert einige Zeit und hängt von verschiedenen Einflussgrößen ab. Auswirkungen auf die

Tampon-Galvanik

Zink-Galvanik ohne Bad, das Elektrolyt ist im Schwamm.

2



Geschwindigkeit und die Qualität der Oberfläche haben die Konzentration des Elektrolyts, dessen Temperatur, Zusatzstoffe für Glanz oder Färbung, die Bewegung des Elektrolyts oder des Objekts darin. Und natürlich auch die angelegte Spannung und die Stromstärke. Also viel zu experimentieren für Maker.

Tampon-Galvanisation

Eine einfache Variante ist die Tampon-Galvanisation ②. Der Elektrolyt wird hierbei in einem Schwämmchen oder Wattebausch, dem *Tampon*, aufgesaugt. Das zu galvanisierende Objekt ist wieder als Kathode am Minuspol angeschlossen und über ein Kabel zu einem Stück des Beschichtungsmetalls als Anode wird der Stromkreis geschlossen. Der in Elektrolyt getränkte Wattebausch befindet sich also einfach zwischen den beiden Polen. Man kann auf diese Weise zum Beispiel direkt mit einer Autobatterie Stellen an der Karosserie (die ja ohnehin mit dem Minuspol der Batterie verbunden ist) neu verzinken. Einfach ein Stück Zink mit dem Pluspol verbinden, mithilfe eines Zinksulfat-getränkten Wattebausches an der zu verzinkenden Stelle etwas hin und her wischen. Der herausragende Vorteil der Tampongalvanik ist, dass besonders große Teile, die nicht in ein Tauchbad passen, ganz oder teilweise galvanisiert werden können.

Neben dem *elektrolytischen Galvanisieren* gibt es auch das *chemische Galvanisieren*. Was in der Industrie das galvanische Behandeln von Edelstahl ermöglicht, stellt uns Maker vor Probleme. Sobald man ein Stahlteil in den Elektrolyt taucht, lagert sich darauf Kupfer ab. Diese Schicht haftet allerdings schlecht und kann leicht wieder abgerieben werden. Wenn die dann folgende elektrolytische Beschichtung auf dieser schlecht haftenden Kupferschicht aufbaut, hat sie natürlich ebenfalls keine feste Bindung zum Untergrund und ist daher nicht haltbar.

Zur Anschauung kann das ganz leicht ausprobiert werden. Ein Nagel wird zunächst mit etwas Spiritus entfettet, am besten mit feinem Schmirgelpapier noch von Anhaftungen und Oxidschichten befreit. Wenn man nun diesen Nagel in ein Bad aus Kupfersulfat eintaucht, sieht man schnell, wie die Oberfläche immer mehr die Farbe des Kupfers annimmt.

Experiment: Verzinken eines Messingbleches

Um zeigen zu können, wie die Zinkschicht entsteht, wurde ein Messingblech per Tamponverfahren verzinkt. In einem Fall wurde das Blech nur mit Spiritus entfettet, aber nicht von der Oxidschicht befreit. An einer anderen Stelle wurde die Oberfläche entfettet und mit feinem Schleifpapier gereinigt. Die Testfläche wurde mit PVC-Klebeband ③ begrenzt, um exakte Kanten zu erhalten.

Beschaffung der Materialien

Zinksulfat (Salz der Schwefelsäure) kann man für circa 15 Euro pro Kilogramm kaufen. Ein Kilogramm des Zinksulfat-Heptahydrat – also mit sieben Teilen Kristallwasser – enthält etwa 226 Gramm Zink. Für die Verkupferung ist natürlich auch Kupfersulfat verfügbar.

Zinksulfat wird auch für Pflanzen verwendet oder für die Huf- und Klauenpflege. Vielleicht lohnt es sich, bei entsprechenden Betrieben nach kleinen Mengen zu fragen. Zinkblech für die Tampongalvanik

kann man sich vom Schrottplatz holen, etwa ein Stück Zinkrohr oder Dachrinne. Natürlich gibt es auf den üblichen Marktplätzen im Internet auch alle möglichen Anodenmaterialien zu kaufen.

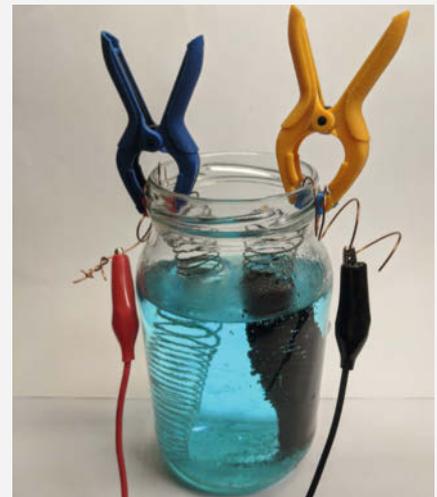
Neben solchen Salzen gibt es auch fertige Elektrolyte für Hobbyisten zu kaufen, die einfach und sicher eingesetzt werden können. Für die ersten Experimente kann man sich die Elektrolyte aber auch auf Maker-Art selbst machen, siehe Kasten *DIY-Elektrolyte*.

DIY-Elektrolyte

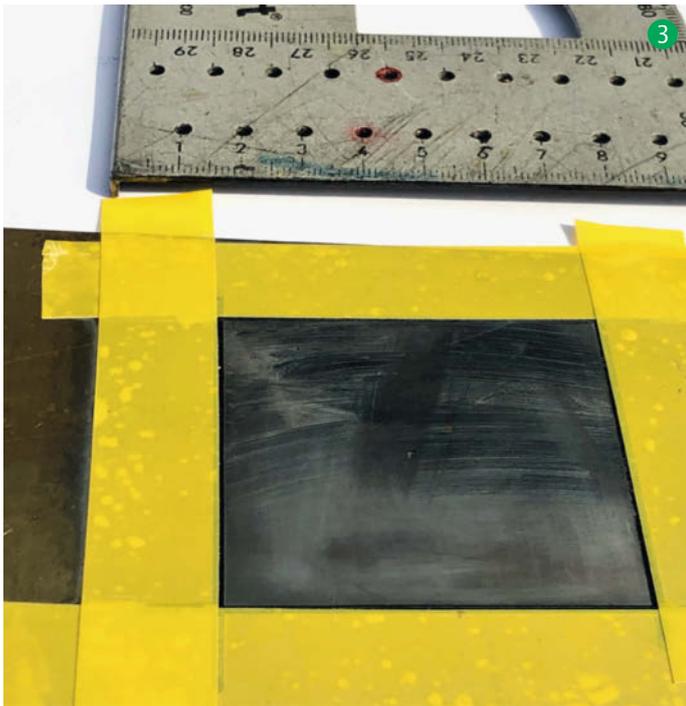
Um *Kupferacetat* als Elektrolyt für die Verkupferung selbst herzustellen, benötigt man Kupfer und Essigsäure. Das Kupfer sollte in Stückchen mit möglichst großer Oberfläche vorliegen, um die Reaktion schneller ablaufen zu lassen. Hier bietet sich beispielsweise Kupferlitze mit möglichst feinen Drähten an, die nach dem Abisolieren in kleine Stückchen geschnitten oder zu einem Knäuel gewickelt wird. 25prozentige Essigessenz zur Verwendung in der Küche funktioniert hervorragend. Es dauert allerdings einige Zeit, bis genug Kupfer mit der Säure reagiert hat. An der zunehmenden Blaufärbung erkennt man den Fortschritt der Reaktion. Das Foto zeigt die entstandene Lösung nach fünf Wochen.



Ein weiterer spannender Weg, um an Elektrolyte zu gelangen, ist direkt die Elektrolyse zu verwenden. Man taucht zwei Elektroden des gewünschten Metalls in ein Bad aus Essigessenz oder Essig und einem Teelöffel Kochsalz. Dann lässt man einen Gleichstrom zwischen den Elektroden fließen. Am negativen Pol bildet sich Wasserstoff (auf Lüftung achten, Gefäß nicht verschließen). Je nach Fläche der Elektroden und Behältergröße kann sich die Lösung durch die hinein geschickte Energie stark erwärmen, dies ist bei der weiteren Behandlung zu beachten. Im Laufe von Stunden wird so eine Elektrode gelöst und an der anderen Metall abgeschieden. Im Elektrolyt entsteht ein Gleichgewicht zwischen der Anreicherung der Metall-Ionen und dem Abscheiden. Nickel-Elektrolyt zeigt eine grünliche Farbe, Kupfer-Elektrolyt wird bläulich, Zinkelektrolyt bleibt farblos. Diese Elektrolyte sollten nun gefiltert werden und können dann immer wieder für die Galvanik benutzt werden. Der Kupfer-Elektrolyt aus



dem unteren Bild entstand innerhalb einer Stunde bei 9 Volt und 0,8 Ampere. Damit konnten anschließend erfolgreich Münzen verkupfert werden, allerdings sollte man wegen der noch recht geringen Kupfer-Konzentration nicht mit zu hohen Strömen arbeiten, ansonsten zerstört die Gasbildung die Kupferschicht.



Als Anode (+) dient ein Zinkstück, als Schwamm etwas Watte (siehe Bild 4 für den Aufbau des Tampons). Das Blech, die Kathode (-), wird an den Minuspol des Netzteils angeschlossen. Das verwendete Netzteil kann in der Stromstärke begrenzt werden. Hier muss man etwas experimentieren. Die Spannung stellt sich entsprechend selbst ein, die tatsächliche für das Galvanisieren anstehende Spannung wird von der Konzentration der Zinksulfatlösung und der Dicke der Flüssigkeitsschicht bzw. des Lappens (Tampongalvanik) zwischen Werkstück und Anode beeinflusst. Als grober Anhaltspunkt sollte die Spannung etwa im Bereich von 2 bis 5V liegen.

Mit kreisenden Bewegungen wird dann bei eingeschaltetem Strom über das Werkstück gefahren. Zunächst entsteht in beiden Fällen

eine schöne Zinkschicht, die mit weiterer Kontaktdauer dicker wird. Das Zink von der nur entfetteten Oberfläche lässt sich aber relativ leicht abkratzen, während die metallisch reine Oberfläche das Zink gut annimmt und eine stabile Schicht entsteht. In 15 bis 20 Minuten ist hier eine Schichtstärke 5 von 50 bis 100 Mikrometern entstanden. Diese Schicht kann auch spiegelnd poliert werden 6.

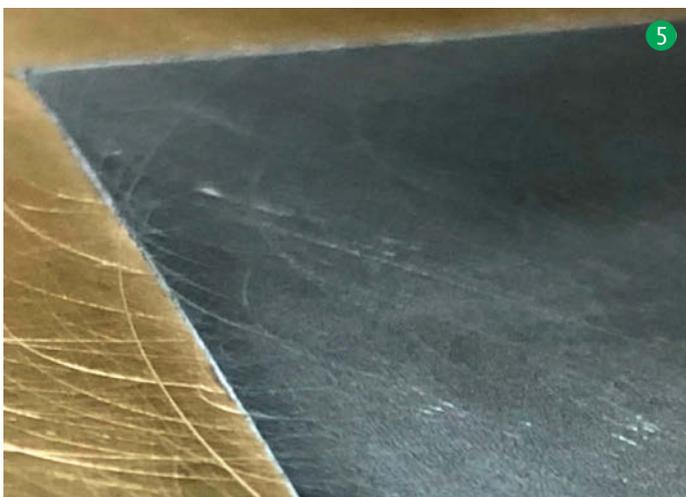
Experiment: Verzinken einer Feuerschale

Eine Feuerschale 7 aus unbehandeltem Stahlblech, bereits seit einem Jahr in Gebrauch und im Freien gelagert, war schon sehr rostig. Ein Teilbereich wurde mit Drahtbürste und Schmirgelleinen grob entrostet. Mittels Tam-

ponverfahren wurde direkt auf diese noch leicht rostigen Flächen verzinkt. Es entstand relativ schnell eine grau-silbrige Oberfläche, die etwa 20 Minuten weiter aufgalvanisiert wurde 8. Nach vier Wochen Lagerung im Freien, bei teils feuchtem Wetter, stellte ich fest, dass in den nur dünn beschichteten und kaum entrosteten Randbereichen das Eisen weiter rostet. Bevor ein solches Objekt also dauerhaft und mit tatsächlichem Schutz vor Korrosion verzinkt werden kann, muss die bestehende Rostschicht sorgfältigst entfernt werden.

Experiment: Verzinken einer alten Schneiderschere

Diese robuste, etwa 100 Jahre alte, Schere 9 lag, solange ich mich erinnern kann, stets in





einer Kellerschublade und wurde für alle möglichen Zwecke verwendet, manchmal auch im Garten. Eigentlich ist sie zum Zuschneiden festerer oder etwas dickerer Stoffe gedacht. Wie auf dem Foto zu sehen, war die Oberfläche mehr oder weniger stark korrodiert. Geschnitten hat sie aber tatsächlich immer noch sehr gut. Ich habe die Schere zerlegt, mit Schleifvlies und feinem Schmirgelpapier entrostet und die alte Farbe vom Griff entfernt. An-

schließend habe ich die Schere mit Spiritus gründlich entfettet und gereinigt.

Als Kathode wurde ein kleiner Zinkbarren verwendet und als Elektrolyt eine Zinksulfatlösung mit ca. 200g Zinksulfat pro Liter, mit dem der Tampon getränkt wurde.

Mit zügigen, kreisenden Bewegungen über das Werkstück hat eine eingestellte Stromstärke von 1,5 Ampere sehr gut funktioniert. Es bildete sich eine gleichmäßige, stabile Zink-

schicht, die stetig an Schichtstärke zunahm. Die Kratzer auf den Scherenoberflächen ¹⁰ blieben natürlich bestehen und prägten auch die Optik der Zinkschicht. Anschließend habe ich die Zinkoberfläche mit einer Polierpaste zum Glänzen gebracht, die Griffe der Schere lackiert und die Schere wieder zusammengesetzt. Sie schneidet nach wie vor hervorragend. Mal sehen, ob die Schere ¹¹ noch einmal 100 Jahre durchhält. —caw



Leichter bauen mit Profilen

Sägen, Schweißen und Schleifen ermöglichen tolle Projekte mit sehr stabilen Ergebnissen. Was aber, wenn in der heimischen Werkstatt Platz, Spezialwerkzeug oder Können fehlen, um einfach mal ein paar Winkeleisen aneinander zu schweißen? Konstruktionsprofile bieten eine leicht zu verarbeitende, schraubbare Alternative.

von Joachim Haas



Mit den klassischen Konstruktionsprofilen aus Aluminium, landläufig auch *Bosch-Profile* genannt, kommt man schon ganz schön weit: Rahmen, Kästen, Gestelle, selbst komplexe Konstruktionen sind dank standardisierter Verbindungselemente kein Problem. Ihren Ursprung haben diese Profile in der Industrie. Dort werden die Profile als eine Art Baukasten verwendet, um Prüfplätze, Maschinengestelle und sogar ganze Fertigungslinien ① zusammenzubauen und diese immer wieder anpassen zu können.

Wie viele andere Dinge auch, sind die Profile aus der Industrie vor einigen Jahren im Maker-Umfeld angekommen. Zum Beispiel bei vielen 3D-Druckern finden sie sowohl im Drucker selbst, aber auch für Gehäuse regelmäßig Verwendung. Allerdings beträgt die typische Länge unbearbeiteter Profile rund 6m, so sind sie weder für den Hausgebrauch noch für den vorherigen Transport besonders gut geeignet.

Praktischerweise gibt es Anbieter, die die Profile auf Wunschmaß zuschneiden – fast so, wie beim Holzzuschnitt im Baumarkt. Dieser Zuschnittservice ist nicht nur für den Versand günstig. Für das Zusammenfügen der Einzelteile sind genau abgemessene Längen ebenso wichtig wie ein glatter, exakt rechtwinkliger Schnitt. Beides übernehmen die Versender sehr zuverlässig. Für einen laufenden Meter 20mm x 20mm Profil zahlt man rund 6 Euro, Zuschnitte bereits inklusive. Profil 30mm x 30mm gibt es für rund 8 Euro, 40mm x 40mm ab ca. 13 Euro.

Bei der Bestellung lohnt immer wieder ein genauer Blick in die Artikelbeschreibung, denn natürlich gibt es auch bei Konstruktionsprofilen mehr als eine Sorte. Und leider lassen sich die Profile, Zubehörteile und Verbinder nicht beliebig mischen. Besonders gebräuchlich sind *Bosch-(B)* und *Item-(I)*-Profilquerschnitte.

In ② lassen sich im Vergleich zweier 30mm-Profile die Unterschiede (siehe Tabelle) gut erkennen, links das B-Profil, rechts das I-Profil. Nutbreite, Kernlochdurchmesser und Außenradius unterscheiden sich und müssen zum Zubehör passen.

Für den weiteren Text verabschieden wir uns nun von den I-Profilen und schauen uns die Familie der B-Profile etwas näher an.

Neben den Unterschieden beim Grundmaß ③ gibt es weitere Wahlmöglichkeiten bei der Ausführung des Profils. Neben der Standardvariante mit quadratischem Querschnitt und vier gleichen Seitenflächen kann man das Profil auch mit einer, zwei oder drei geschlossenen Seitenflächen bekommen. Damit kann man seinen Konstruktionen eine sehr dezente und leichter zu reinigende Außenseite verpassen. Wer es größer oder stabiler braucht, bekommt die Profile auch in doppelter Breite ④. Darüber hinaus gibt es weitere Varianten wie Montageplatten, Viertelstäbe usw.

Kurzinfo

- » Diese Profile gibt es und dafür setzt man sie ein
- » So verbindet man Profile miteinander
- » Beispielgehäuse und Rahmen aus Profilen

Checkliste



Zeitaufwand:
ein Wochenende



Kosten:
130 Euro für Werkstattwagen

Werkzeug

- » Säge
- » Akkuschrauber

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xrs7

Material

- » Aluprofil Typ B 30mm x 30mm
- » 5 x 270mm
- » 4 x 500mm
- » 4 x 640mm
- » 2 x 580mm
- » 4 Eckwürfel, 3D
- » 6 Winkel innenliegend
- » 6 Winkel außenliegend
- » 2 Siebdruck 270mm x 500mm
- » Siebdruckplatte 305mm x 500mm
- » Schrauben
- » Leisten

Hat man die richtigen Profile für sein Projekt gefunden, geht es ans Zusammenfügen und Verbinden. Die überwiegende Zahl der Verbinder ist für rechtwinklige Ecken gemacht,

einzelne abweichende Winkel wie 45° gibt es zusätzlich. Bei der Wahl der richtigen Verbindung stellen sich verschiedene Fragen. Wird die freie Nut in der Ecke gebraucht – zum Bei-

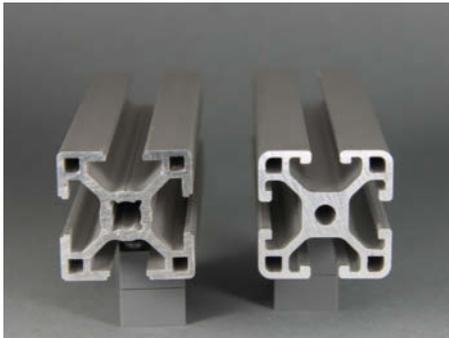


Bosch-Rexroth

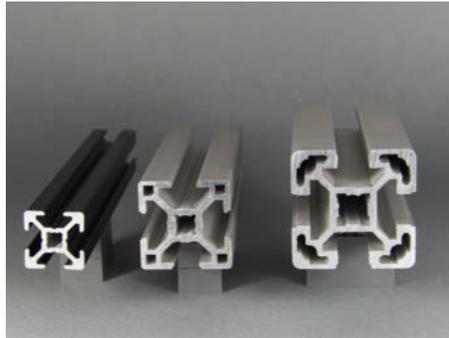
① Bosch-Fertigungslinie, aufgebaut aus Profilen

Maße verschiedener Profile

Profil	Bosch (B)		Item (I)	
	Nutbreite	Kernloch	Nutbreite	Kernloch
20 x 20mm	6mm	5,5mm für M6	5mm	4,3mm für M5
30 x 30mm	8mm	6,8mm für M8	6mm	5mm für M6
40 x 40mm	10mm	10mm für M12	8mm	6,8mm für M8



2 B-Profil und I-Profil im Querschnitt



3 B-Profile 20, 30, 40 im Vergleich



4 Verschiedene Ausführungen von Profilen



5 Ein 3D-Eckwürfel zum Verbinden von drei Profilen. Es gib sie auch als 2D-Würfel.



6 Innen- und außenliegender Eckwinkel zum senkrechten Verbinden von Profilen.



7 Abdeckkappen für die Profilen den hübschen den Aufbau etwas auf.

spiel für eine Seiten- oder Rückwand? Wie viele Profile kommen an der Stelle zusammen? Darf der Profilquerschnitt sichtbar sein? Ist das eine Verbindung auf Stoß?

Als formschöne Außenecke bietet sich ein Eckwürfel an. Den gibt es für zwei oder drei Profile 5. Einziger Haken: Der Würfel wird mit dem Profilkern verschraubt. Entweder bringt man sich das Gewindeschneiden anhand des Artikels auf Seite 44 selbst bei oder man kauft die Profile mit eingeschnittenem Gewinde – das gibt's bei manchen Anbietern gegen einen mehr oder weniger saftigen Aufpreis für jedes einzelne Gewinde.

Weitere Möglichkeiten, um die Ecke zu verbinden, sind innenliegende bzw. außenliegende Eckwinkel 6 oder eine Winkelplatte 8 9 zum Aufschrauben. Formschön abschließen kann man ein Profil mit Abdeckkappen 7.

Alle diese Eckwinkel lassen sich ohne Bohren oder Gewindeschneiden anbringen. Dazu gleich mehr.

Auch für den 3D-Eckwürfel gibt es einen Ersatz, der ohne Gewinde auskommt 10. Die Ecke wird dann nicht ganz so stabil und man muss bei den Zuschnittmaßen etwas mehr aufpassen, weil eines der drei Profile nur teilweise überlappt 11. Je nach Anwendungsfall wird die Ecke aber auch damit stabil genug.

Mit Profilen und Verbindern haben wir die wesentlichen Bestandteile für unseren Rahmen zusammen. In den Abbildungen kann man sehen, dass teilweise Madenschrauben genutzt werden, um die Bauelemente in der Nut des Profils festzuklemmen. Für die anderen Schrauben werden aber keine Löcher gebohrt, sondern sogenannte Nutensteine 12 in das Profil eingesetzt. Nutensteine haben ein

Gewinde (Durchmesser beachten!) und teilweise eine Feder oder eine Kugel, um sie an einem bestimmten Platz festzuklemmen 13.

Abhängig von der Größe sind die Nutensteine unterschiedlich stark belastbar. Und noch etwas gilt es zu beachten: Die großen Nutensteine 12, links) müssen während des Zusammenbaus eingeschoben werden. Die Varianten mit Feder und zum Eindrehen (auch *Hammermutter* genannt) können auch nachträglich in die Profile eingesetzt werden, wenn die Enden schon „zu“ sind.

Die Auswahl an weiterem Zubehör ist zu groß, um hier alles näher zu beschreiben: Es gibt Rollen, Füße, Abdeckschienen, Endkappen 14, Profile, um Platten oder Scheiben in die Nut einzusetzen 15, Scharniere, Gelenke, Halteblöcke für Kabel 16 und vieles mehr. Tipp: Beim Zubehör lohnt sich der Vergleich verschiedener



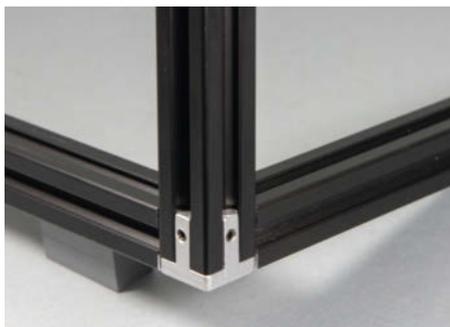
8 Die Eckplatte ist sehr massiv.



9 Leider schließt sie nicht bündig ab.



10 3D-Ecke ohne Bohren und Gewindeschneiden



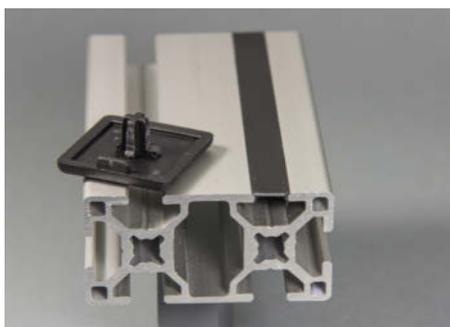
11 Hier muss man genauer messen, weil eines der Profile etwas kürzer wird.



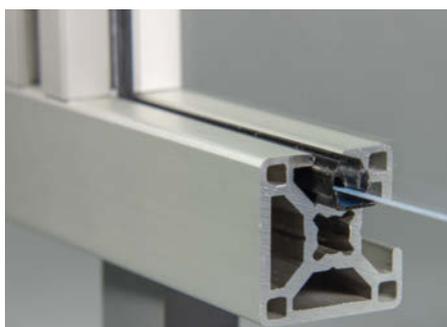
12 Nutensteine mit Kugel, Feder und zum Eindrehen



13 Platzbedarf der Nutensteine im Profil



14 Das Abdeckstück hält sich in der inneren Kernführung.



15 Mit solchen Profilen lassen sich Platten und Glasscheiben in den Nuten befestigen.



16 Mit Scharnieren kann man Profile auch in beliebigen Winkeln montieren.

Anbieter. Auch wenn es nahe liegt, gleich alles aus einer Hand zu kaufen, kommt es bei den Profilanbietern schon mal vor, dass das Zubehör wie Nutensteine, Eckwürfel, Innen- oder Außenwinkel deutlich teurer ist, als wenn man anderswo zugreift. Hammermuttern gibt es in Sortimentsboxen zum Preis von rund 10 Euro für 100 Stück, man findet aber auch einzelne zum Stückpreis von 30 Cent.

Genauso vielfältig wie die Auswahl an Bauteilen sind die Einsatzmöglichkeiten. 3D-

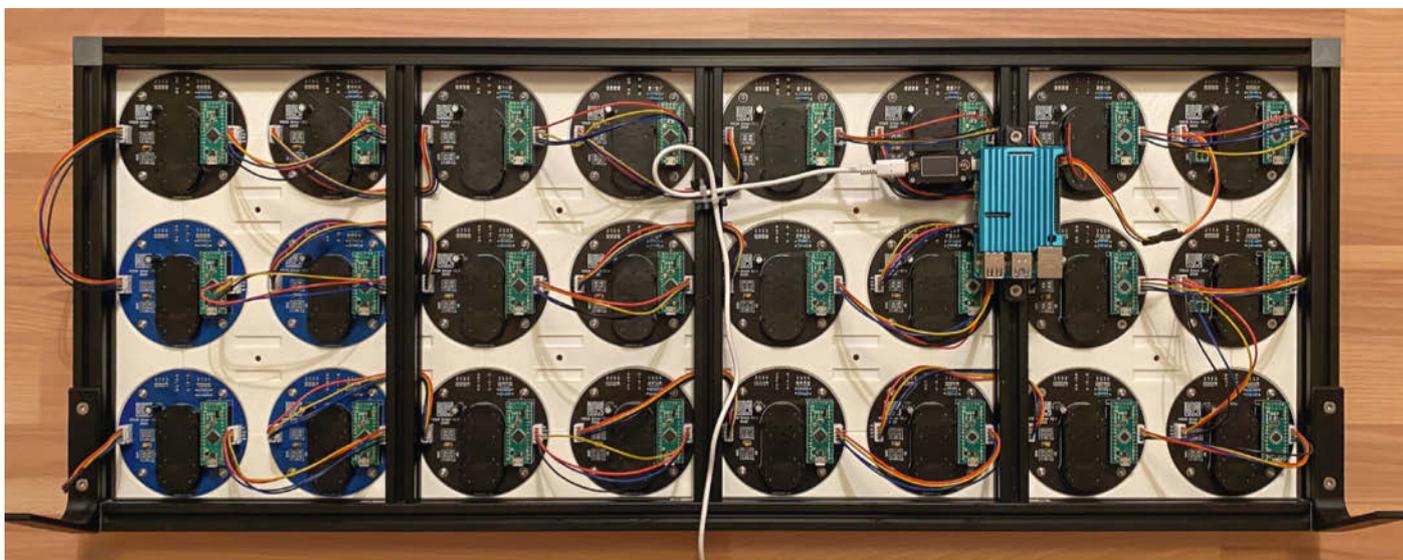
Drucker, Rahmen, Gehäuse, Möbel – oder wie die eingangs beschriebenen Fertigungsstraßen – mit den Profilen kann man schnell zu stabilen Lösungen kommen.

Beispielprojekte

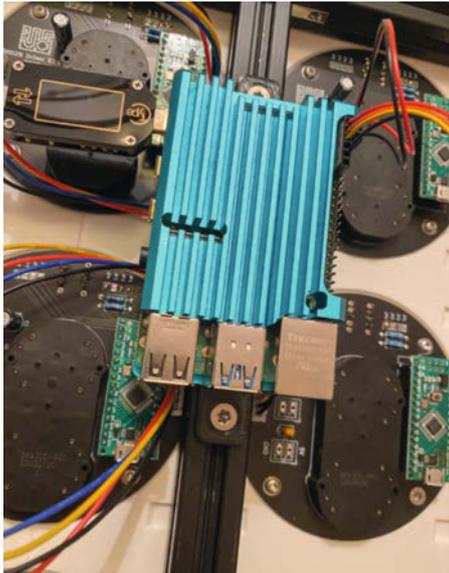
In meinem Fall ist als erstes ein Trägerrahmen für ein Uhrenprojekt entstanden, der 24 Platinen und einer Hand voll 3D-gedruckter Teile den nötigen Halt gibt 17. An einer der Ver-

strebungen hängt an zwei Nutsteinen ein Raspberry Pi 18, und in den unteren Ecken sind noch zwei 3D-gedruckte Füße angeschraubt.

Nachdem ich im kleinen Rahmen erfolgreich war, habe ich mich an etwas größeres herangewagt. Bei jedem Hobby gibt es Material, Werkzeug oder was auch immer wegzuräumen. In meinem konkreten Fall war Grillzubehör wie Schalen, Thermometer, Handschuhe, Trennspray, Putzmittel usw. zu verstauen. Das



17 Ein Rahmen für ein Uhrenprojekt



18 An zwei Nutensteinen hängt ein Raspberry Pi.



19 Der Grillzubehörmwagen mit Euroschubladen



20 Leisten halten die Platten im Profil fest.

ganze möglichst so, dass kein zusätzlicher Platz verbraucht wird. So entstand die Idee für einen fahrbaren Beistelltisch 19, der möglichst passgenau unter einem der Seitentische des Grills verschwindet und idealerweise von der ohnehin vorhandenen Abdeckplane geschützt wird. Aluminium als nicht rostende Konstruktion bietet sich dafür ohnehin an.

Als Schubladen kommen Euronorm-Behälter zum Einsatz. Die sind günstig, gut sauber zu halten und ebenfalls nicht wetteranfällig. Als Deckel habe ich ein Stück Bambus-Arbeitsplatte verwendet, die ist hart, sieht gut aus und dient als Arbeitsfläche. Seitlich findet eine Küchenrolle Platz, der Raum darunter soll für einen kleinen Abfallbehälter genutzt werden.

Die für Seitenwände und Rückwand verwendeten Siebdruckplatten habe ich ein wenig „frisirt“, damit sie in den Alu-Profilen Halt finden. In meinem Fall habe ich 3D-gedruckte Leisten auf die Schnittkanten

geschraubt 20, deren Steg so sitzt, dass die Platten innen bündig mit dem Profil abschließen 21.

Diese Leisten müssen natürlich nicht aus dem 3D-Drucker kommen. Holz, Alu oder eine gefräste Kante machen den Job ebenso. Das gilt gleichermaßen für die Leisten, auf denen die Euroboxen laufen. In meinem Fall: 3D-Drucke, Holz oder ein Aluwinkel tun es auch. Der obere Rahmen wird mit den Eckwürfeln montiert 22. Das bedeutet, dass in die Profilen jeweils ein M8-Gewinde geschnitten werden muss. Der untere Rahmen ist überwiegend mit außenliegenden Eckwinkeln verbunden 23. Dadurch, dass die Rollen ebenfalls mit M8 Gewinde in den Profilkern geschraubt werden, waren dort keine Eckwürfel mehr möglich. Durch das Ausweichen auf die Eckwinkel erklärt sich auch das Überstehen der Beine über die untere Querstrebe hinaus: Irgendwo müssen die Winkel ja angeschraubt werden. —dab



21 Die Platten sind innen bündig mit den Profilen.



22 So sieht der obere Rahmen aus.



23 Der untere Rahmen mit den montierten Rollen

secIT by Heise

Der Treffpunkt für Security-Anwender und -Anbieter

29. – 31.03.2022,
Hannover

SAVE THE DATE

Seien Sie dabei und profitieren Sie als Besucher von neuesten Trends, Produkten und Software-Lösungen in der IT-Security.

Das erwartet Sie:

- Große Ausstellung in zwei Hallen
- Spannende Fachvorträge auf drei Bühnen
- Praxisnahe Workshops mit Security-Experten
- Informative Expert-Talks der wichtigsten Security-Anbieter
- Austausch mit der Community vor Ort

Am **13. und 14. September 2022**
findet zusätzlich eine **digitale secIT** statt.

Veranstalter

 Heise Medien

© Copyright by Maker Media GmbH.

Mehr zu den
Highlights finden Sie hier:

sec-it.heise.de

Schaber

von Andreas Bochmann

Der Schaber ist eines der ersten Werkzeuge der Menschheit: Schon in der Steinzeit wurden scharfe Kanten von Feuersteinen etwa zum Abschaben von Tierhäuten verwendet. Auch der Schaber in meinem Handwerkskasten ist historisch: Der mittlere der drei Schaber auf dem Bild ist ein Erbstück von meinem Großvater.

Zuerst war mir der Sinn und Zweck dieses Werkzeuges selbst nicht ganz klar. Im Laufe der Zeit habe ich aber eine Vielzahl von Verwendungszwecken entdeckt.

Die gebräuchlichste ist das Entgraten von Werkstücken aus Metall. Wenn man feilt, sägt oder bohrt, entstehen an den Bearbeitungskanten Grate, die scharfkantig sind und eine Verletzungsgefahr darstellen. Indem man den Schaber über die jeweilige Kante zieht, wird

das überschüssige Metall abgetragen und damit „entschärft“.

Ein weiteres Einsatzgebiet ist das Abtragen und Einebnen von Metallflächen. Zum Beispiel können nach dem Lötten von Metallteilen Reste vom Lot auf der Oberfläche zurückbleiben. Mit dem Schaber lassen sich diese sehr punktuell abtragen, ohne die übrige Oberfläche zu beschädigen. Manchmal verwende ich den Schaber meines Großvaters auch, um den Lötstopplack von den Leiterbahnen auf Platinen abzukratzen, um diese zu reparieren – eine Anwendung, von der mein Großvater vermutlich noch nichts geahnt hat.

Und dann zweckentfremde ich den Schaber auch manchmal: Zum Beispiel, indem ich ihn an Stelle eines Körners verwende, um Bohrlöcher zu markieren. In diesem Fall schlage

ich dann allerdings **nicht** mit dem Hammer auf das Ende, sondern setze die Spitze auf und erzeuge dann mit einer Drehbewegung ein kleines Loch (ähnlich wie mit dem selbstgemachten Spitzbohrer von Seite 23). Zur Vorbereitung sehr präziser Bohrungen kann man damit genauer arbeiten als mit dem Körner, der beim Schlag mit dem Hammer manchmal auch verrutscht.

Für mich ist der Schaber ein Universalwerkzeug, bei dem man durch häufigen Gebrauch auch auf neue Anwendungsideen kommt. Deshalb ist er nicht nur aus nostalgischen Gründen mein Lieblingswerkzeug.

Schaber gibt es in vielen verschiedenen Bauformen. Einen Dreikanthohlschaber in der klassischen Form bekommt man im Baumarkt für unter 10 Euro. —pek



betterCode()

PHP 2021

Die Heise-Konferenz zu PHP

25. November 2021 – Online

Die neue PHP-Version 8.1 steht vor der Tür. Ein guter Anlass, um die eigenen Anwendungen genau unter die Lupe zu nehmen und zukunftssicher zu machen.

- ⊙ Die neuen Features von PHP 8.1
- ⊙ Die Vorteile und Stolperfallen von Concurrent PHP
- ⊙ Testing mit dem neuen PHPUnit 10
- ⊙ Microservice-Architekturen mit PHP

Jetzt
Tickets zum
**Frühbucher-
Rabatt**
sichern!

Kooperationspartner:



Veranstalter:



@ heise Developer



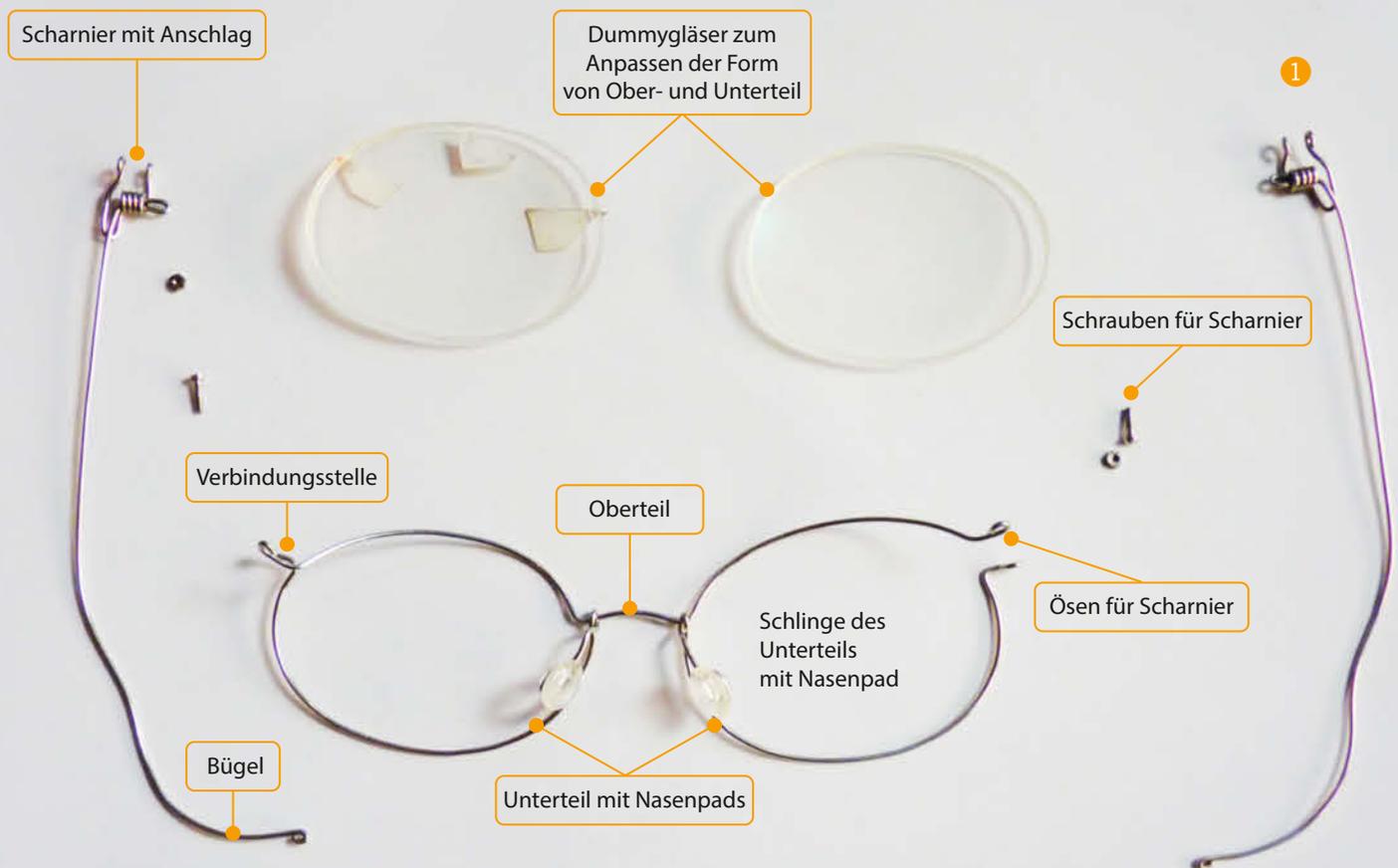
dpunkt.verlag

php.bettercode.eu

Brille aus Federstahl

Stahl ist universell einsetzbar, nicht zuletzt aufgrund der vielfältigen Legierungen. Draht mit den erforderlichen Eigenschaften ermöglicht die Verwirklichung einer alltagstauglichen Brille im eigenen Design.

von Georg Zimmermann



Mit dem Draht verbindet mich eine lange, alte Liebe. Als Improvisations-Allrounder sollte er in keinem Werkzeugkasten fehlen. Dort mag er das anarchisch-archaische Flair von trivialen Flickern haben. Draht ist jedoch für Höheres geeignet. In seinen zahlreichen Härten und Durchmesser ist er vielfältig einsetzbar. Weiche Varianten lassen sich mit bloßen Händen formen, ansonsten stellen Zangen das Grundwerkzeug. Die Formgebung hat für mich etwas Sinnliches, in einem gewissen Sinne etwa wie Malen im Raum. Die quasi eindimensionale Grundform wird zum komplexeren 3D-Gebilde. Enorm, was man so realisieren kann.

Motivation Brille

Als Beispiel der edleren Art mag diese Brille dienen: eigener Entwurf, selbstgebaut, ein Einzelstück. Ohne maschinelle Unterstützung, per Hand mit üblichem Standardwerkzeug umgesetzt. Bei heutigen Brillengestellen spielt gerade das Design eine besondere Rolle – nicht nur zwei Gläser zu halten mitsamt Nasen- und Ohraufgabe. Die Prämisse „Form follows Function“ ergibt da zumindest für mich eine eher minimalistische Bauform, bei der sich der Charme durch die – mitunter eigenwillige – Art der Umsetzung einzelner mechanischer Details ergibt.

Materialwahl

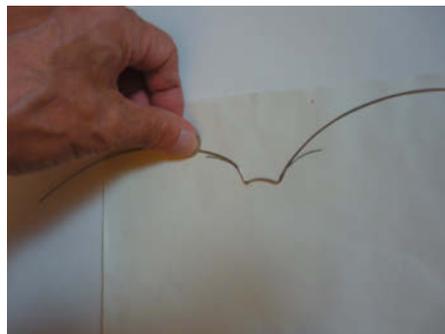
Neben der Federstahlhärte zählt insbesondere Hautverträglichkeit zu den Anforderungen an das Material. Drähte für Zahnspannen mit ihrer Rost- und Nickelfreiheit sind da eine sichere Wahl. Die dort häufig verwendete Legierung *Menzanium* weist diese Eigenschaften verlässlich auf, und es gibt eine federharte Variante im gewünschten Durchmesser (1mm). Das Biegen mit dieser Härte fordert heraus, dafür aber ist das Ergebnis alltagstauglich.

Design

Die Entwicklung eines eigenen Modells empfiehlt sich zunächst mit weichem Draht, der



2 Bei kleinen Biegeradien sind zwei Zangen notwendig. Spitzzangen in unterschiedlicher Ausführung, auch gewinkelt, sind dabei sehr nützlich.



3 Die kleine Zeichnung mit den Umrissen der Gläser am Steg ist beim Anpassen des Oberteils sehr hilfreich.



4 Draht formen direkt an den Gläsern: Da der Draht ja später in der Nut der Gläser liegt, wäre eine Umrisszeichnung hier zu ungenau.

Kurzinfo

- » Biegetechniken bei Federdraht
- » Scharniere und Federn selbstgefertigt
- » Komplette Brille aus Draht herstellen

Checkliste



Zeitaufwand:

1 bis 2 Tage



Kosten:

50 Euro (zzgl. Kosten für Gläser)

Werkzeug

- » Schraubstock
- » Schraubzwinde
- » Stahl Nagel 2mm Durchmesser
- » 2 Spitzzangen 200mm lang
- » 2 Rohrzangen 250mm und 180mm lang
- » Kneifzange

Material

- » Nickelfreier federharter Stahldraht 1 mm z.B. Menzanium aus dem Dental-Fachhandel
- » Schrauben M1.4 x 6 mit Muttern
- » Runde Nasen-Pads zum Eindrücken

Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xhqv

schon mal ein Gefühl für die resultierende Form und Schrittfolge vermittelt. Da haben wir die Nasenaufgaben, die Bügel und ihre Scharniere und insbesondere die Gläser. Bei den Überlegungen zu deren Form und Größe können die vielen frei zugänglichen Brillenbilder als Orientierung dienen. Für die Maße des geplanten Gestells mag eine gutsitzende Brille als Vorlage dienen (Bügelänge, Brillenbreite ...).

In diesem Modell werden die Gläser über die umlaufende Nut gehalten und kommen so ohne Bohrungen oder Einkerbungen aus. Das Ganze halten zwei Schrauben (und Muttern), was mehr Toleranz erlaubt, die der Herstellung von Hand entgegenkommt.

Die Bügel bestehen aus einem Draht mit splintartiger Umbiegung am Ende, die in das Scharnier eingezogen ist. Der Bügel-Anschlag ist Bestandteil der Scharniere. Neben

den Gläsern stellen diese eines der ins Auge springenden Design-Elemente dar. Die Halterung der Nasen-Pads bildet eine Umschlingung, die mit einer Öse endet. Dort werden runde Nasen-Pads aus Silikon mit ihrem Fuß eingedrückt. Wenn man möchte, dass das Gestell weniger glänzt, kann man den Draht vor dem Biegen mit feinem Schleifpapier abziehen.

Vorgehen

Nach dem Festlegen der Gläserform lässt man sich vom Optiker entsprechende Dummygläser mit Nut schleifen; preiswerte, nicht optische für Sonnenbrillen tun es auch. Die Dummygläser sollten möglichst genau den späteren Gläsern entsprechen. Wegen der fehlenden Krümmung ist zum Beispiel planes Plexiglas suboptimal.



5 An der Stelle, wo der Draht die Nut verlässt, darf kein Spalt entstehen, sonst sitzen später die Gläser locker.



6 Für die kleine Schlinge des Unterteils am Steg braucht man etwas Kraft und einen Schraubstock zum Halten.



7 Durch diese Öse wird später das Oberteil gefädelt. Der kurze Drahtabschnitt hält das Nasen-Pad.

Nach der Formvorgabe der Dummygläser und den weiteren gewünschten Maßen wird dann das Gestell gebogen und letztendlich verschraubt. Mit der fertig montierten Brille geht's wieder zum Optiker zur Auswahl der echten Gläser, die dann die Dummygläser ersetzen.

Werkzeuge

Weichen Draht hat wohl schon jeder mal von Hand gebogen. Bei Federstahl geht das nur mit entsprechendem Werkzeug. Warmverformen ist nicht angeraten, da Federstähle, wenn man diese so weit erhitzt, dass das Biegen leichter wird, ihre Elastizität verlieren können. Wichtig sind die Haltestrategie und die daraus resultierende Grifftechnik. Im Standardfall stellt die festgehaltene Zange den fixen Part, als beweglicher Part drückt der Daumen mit seiner Kraft den Draht in den angestrebten Winkel.

Bei Bedarf hilft eine Markierung für den Zangenansatz mit einem Stift. Diese sollte abwischbar sein, aber nicht schon bei leichter

Berührung abgehen. Die Zange setzt man in der Regel so an, dass die Markierung an der Zangenkante noch sichtbar ist.

Es gibt viele verschiedene Spezialzangen, deren Anschaffung dann lohnt, wenn man häufiger mit dem Material zu tun hat. Verwendet habe ich hier jedoch bewusst kein Spezialwerkzeug, sondern einen Schraubstock sowie je zwei Spitz- und Rohrzangen. Beim Zusammendrücken etwa einer Öse hilft eine Rohrzange aufgrund ihrer Rillen. Liegen die beiden gegenüberliegenden Drähte darin, bietet das guten Halt. Hilfreich sind zudem Stahlnägel als Gegenpart zum Formen wie etwa beim Federwickeln. Bei aller Kraft, Konzentration und Geduld weist das Ergebnis aufgrund der Handarbeit natürlich Unregelmäßigkeiten auf. Bleiben diese in einem gewissen Rahmen, ergibt sich ein besonderer Reiz und macht das Ganze zum Unikat. Um in diesem Rahmen zu bleiben, hilft es, einige Prinzipien zu beachten. Die Drahtstücke anfangs sehr großzügig abzuschneiden, versteht sich von selbst.



8 Die Öse für das NasenPad ist deutlich größer.

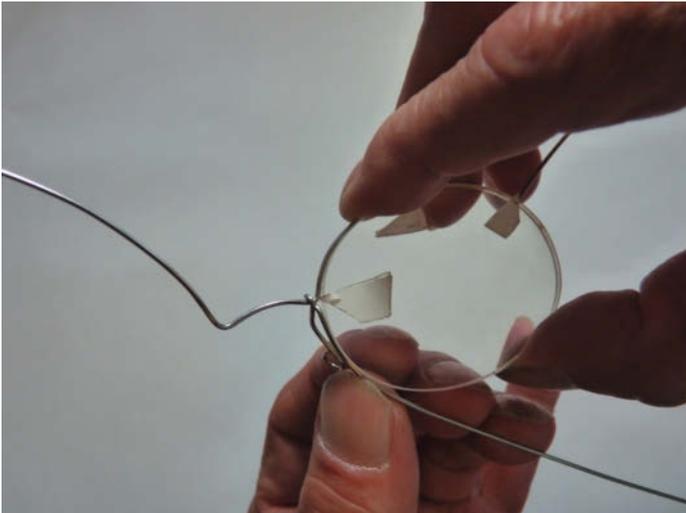
Biege-Basics

Auch und gerade bei Drahtobjekten wie diesem sind die Raumrichtungen zu beachten: die frontale Aufsicht, die Ansicht senkrecht von oben und die der Flucht entlang. Oft liegt das Objekt in einer Ebene; im Beispiel Brille ist diese wegen der Gläser- und Kopfform ein wenig gekrümmt. Einigermaßen in der Ebene zu bleiben, erfordert das Biegen mit Zangenansatz im möglichst rechten Winkel zu dieser – mit vorhergehender und nachfolgender Korrektur diesbezüglicher Abweichungen. Anlegen eines Lineals oder einfaches Legen auf den Tisch hilft bei der Beurteilung. Im Fortlauf der Biegungen ist so die Gesamtform immer wieder zu prüfen und zu korrigieren.

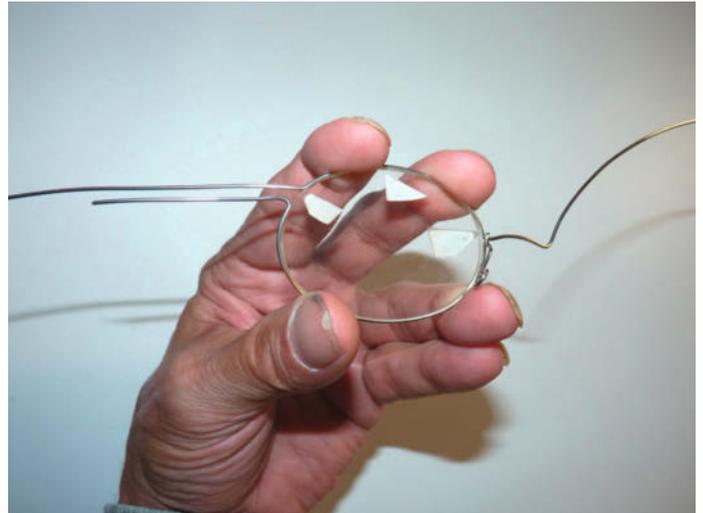
Je härter das Metall, desto mehr Überbiegen ist erforderlich. Das gilt insbesondere für Federstahl. Peu à peu nähert man sich dem gewünschten Ergebnis an, die am Ende einen Hauch zu starke Biegung formt man etwas zurück. Eine Vorübung des jeweiligen Schritts an einem Stück Probedraht ist bei sehr hartem Material angeraten. Dieser lässt sich wiederholen, bis man das im gewünschten Rahmen liegende Ergebnis sicher erreicht. Dann führt man das am Objekt „in Produktion“ aus. Mehrmalige Korrekturen in kleinen Winkeln stellen kein Problem dar. Leichte Knicke lassen sich mit geeigneter Zange wieder flachdrücken. Bei Biegungen etwa im rechten Winkel vor und wieder zurück reichen jedoch nur wenige Korrekturen, um federhartes Material brechen zu lassen, was an dessen Sprödigkeit liegt.

Standard

Im oben erwähnten Standardfall hält man mit der Zange in der einen Hand den Draht und biegt mit dem Daumen der anderen in den angestrebten Winkel. Der Biegeradius bestimmt dabei den Abstand des Daumens von der Zange, beim Knick (rechter Winkel) ganz nahe, je nach Bogengröße weiter weg. Eine zweite Zange ersetzt den Daumen, wenn es ein kleiner Bogen (= kleiner Radius) werden



9 Das Oberteil wird so ins Unterteil eingefädelt und dann das Unterteil ans Glas angepasst.



10 Auch beim Unterteil darf kein Schlitz zwischen Draht und Glas entstehen, der später zu lockerem Sitz führen würde.

soll. Ein Bogen mit großem Radius lässt sich optional mit beiden Daumen formen. Natürlich geht das auch mit Zange und Daumen: biegen, Zange ein Stück weiter ansetzen, biegen, Zange ein Stück weiter, biegen ...

Feder

Die manuelle Herstellung einer Schraubenfeder (siehe Abschnitt *Scharnier*) geht mit einem Schraubstock vorstatten. Zusätzlich bedarf es eines Stahlnagels, um den dann der Draht gewickelt wird, hier mit dem fürs Scharnier benötigten Durchmesser von circa 2mm. Der Nagel wird mit dem Kopf nach außen eingespannt, zunächst so knapp, dass eine Windung hineinpasst und der Draht nicht ausweichen kann. Im Fall der Schraubenfeder hält eine Schraubzwinde das eine Ende des Drahtes am Schraubstock. Das Winden um den Nagel erfolgt mit möglichst viel Kraft im rechten Winkel und in kleinen Schritten (etwa eine Drittelwindung). Nach jeder Umwindung spannt man den Nagel etwas mehr nach außen ein – Raum für die nächste Windung. Beim Scharnier der Brille beläuft sich die Anzahl auf viereinhalb.

Öse

Natürlich lassen sich auch Ösen und Schleifen (= einzelne Windung) mit obiger Technik herstellen. Zwei Zangen ziehen dann den Draht um den Nagel. Das geht, wenn genug Drahtlänge zum Halten und Ziehen am Schraubstock zur Verfügung steht, was nicht immer der Fall ist. Dann hält man den Draht im oberen Bereich einer Spitzzange, biegt das Ende um die Spitzzange herum und zwickt das Überflüssige ab. Nun drückt man die Öse mit einer Rohrzange umlaufend kleiner, bis der Durchmesser erreicht ist. Hat man zu wenig abgezwickelt: nochmal mit Stahlnagel aufweiten, zwicken und wieder kleiner drücken. Bilder dazu folgen gleich in der Anleitung zum Biegen des Brillengestells.

Strategie und Reihenfolge

Das Gestell wird von innen (kleiner Bogen Mitte, Nasensteg) nach außen aufgebaut. In den Bildern ist jeweils die Fertigung der linken Seite gezeigt. Nach dem Oberteil folgen Unterteil, Scharnier mit Anschlag und Bügel 1

(siehe Titelfotos des Artikels). Diese drei Teile müssen Sie je zweimal spiegelbildlich für rechts und links anfertigen.

Auf dem Dummyglas sind die Verbindungsstellen außen und innen mit Klebeband markiert. Eine Zeichnung (Glasbogen – Steg – Glasbogen) dient als Orientierung hinsichtlich der Stegbreite und dem Biegeanfang um das jeweilige Glas. Der Draht von der Rolle weist schon eine Krümmung auf, das gibt die Ebene vor, in der auch die Gläser liegen.

Oberteil

Das Oberteil beginnt mit zwei Knicken im annähernd rechten Winkel je links und rechts von etwa der Drahtmitte. Der Abstand (hier etwa 18mm) hängt von der nötigen Stegbreite und der gewünschten Stegkrümmung ab, die danach erfolgt. Knick-Erstellung ist Standardtechnik: Zange hält Draht, Daumen biegt 2. Für die kleine Stegkrümmung allerdings bedarf es zweier Zangen.

Ist der resultierende Bogen nicht ebenmäßig genug, Knick rausdrücken und nochmal nachbiegen, bis Abstand und Krümmung



11 Die Nasen-Pads müssen sicher in den Ösen sitzen.



12 Die Feder muss eng gewickelt sein, die Windungen direkt aneinander liegen.



13 Links der Bügelansschlag, rechts die Ösen für die Verschraubung von Ober- und Unterteil



14 Um die beiden Drahtenden richtig zusammenzubringen, sind Rohr- und Spitzzange im Einsatz.



15 Die beiden Drahtenden müssen eng aneinanderliegen, die Öse darf aber nicht zerquetscht werden.



16 So steckt der Bügeldraht im Scharnier.



17 Das andere Ende des Bügels wird erst zum Schluss angepasst.

passen. Das Gebilde sollte einigermaßen in einer Ebene (Gläser ebene) liegen, ansonsten korrigieren.

Nun gilt es, die Bögen an die Gläser anzupassen. Die oben erwähnte Zeichnung gibt die Startform vor 3.

Die weitere Anpassung geht an den Nuten der Gläser vorstatten bis zur markierten Verbindungsstelle 4.

Hier kann man neben Zange und Daumen auch beide Daumen einsetzen, insbesondere wenn eine Krümmung nur minimal geändert werden soll. Draht- und Nutrichtung sollten übereinstimmen, ansonsten korrigieren.

An der Verbindungsstelle (siehe Bild 1) angekommen, biegt man den Draht in etwa 90 Grad ab, später wird er – in die Waagerechte gebracht – mit der Öse versehen 5.

Hierbei entsteht (wo der Draht die Nut des Glases verlässt) oft ein Spalt, der nochmal nachzubiegen ist, sodass der Draht auch dort gut anliegt. Die Ösen links und rechts zum Verschrauben mit dem Scharnier kommen später dran, damit die als Nächstes folgenden Unterteile während ihrer Anpassung noch eingefädelt werden können.

Unterteil und Nasen-Pads

Die Schlinge, die Ober- und Unterteil am Steg zusammenhält, lässt sich – wie oben beschrieben – mit Schraubstock und Stahlnagel herstellen, wobei genügend Drahtlänge für den Nasen-Pad-Arm einzukalkulieren ist. Mit der Rohrzange lässt sich deren Durchmesser verkleinern 6.

Neben der Öse fürs Pad sind zunächst zwei Biegungen nötig, die eine in Richtung Nut, in die der Unterdraht weiter eingepasst wird, die andere für den Abstand des Pad-Arms vom Glas 7.

Stimmt die Form, geht es an die Öse fürs Nasen-Pad 8.

Nach dem Einfädeln des Oberteils ins Unterteil kann dessen Anpassung stattfinden 9.

Zum Abschluss wird, wie beim Oberteil, an der Scharnieranschlussstelle in etwa waagerechter Richtung abgebogen 10.

Bei den beiden etwa parallel nach außen gehenden Drähten fehlen nun noch die Ösen. Die Öse des Nasen-Pads sollte so bemessen sein, dass das Silikon-Pad – einmal eingedrückt – gut hält 11, dabei aber beweglich bleibt und sich an die Nase anschmiegt.



18 Achtung: Wenn Schraube oder Mutter herunterfällt, sind sie kaum noch wiederzufinden.



19 Beim Ausrichten darauf achten, dass die Bügel parallel laufen.

Scharnier mit Anschlag

Jetzt folgt das Wickeln der Schraubenfeder und der Anschlag für den Bügel 12.

Das Ergebnis zeigt zwei parallel abgehende Drähte. Daraus werden die Ösen, links und rechts zwei pro Scharnier 13, und je eine am Oberteil und eine am Unterteil, über die das Gestell verschraubt wird. Die Größe der Ösen ist so bemessen, dass die ausgesuchten Schrauben passen (1,4mm).

Bügel

Als Erstes wird der vom Wickeln gekrümmte Draht in gerade Form gebracht und am Ende umgebogen. Hält man das Bogenende mit einer Rohrzange fest und biegt es davor zusammen 14, resultiert dort die Form eines Splints mit sehr kleiner Öse 15.

Das kürzere Drahtende wird nun auf Scharnertiefe abgeschnitten und der Bügel ins Scharnier eingezogen 16. Der heraus-schauende lange Draht wird rechtwinklig umgebogen 17. Die Formung der Bügelenden empfiehlt sich später mit der montierten Brille.

Fertigstellung

Jetzt können die Gläser eingesetzt und Ober- sowie Unterteil mithilfe des Scharniers verschraubt werden. Ein kleiner Gummiring ist dabei sehr hilfreich 18.

Nach Montage der Brille 19 und – falls nötig – einigen Richtarbeiten werden noch die Bügelenden in Länge und Höhe auf den richtigen Sitz der Brille angepasst 20.

Eine abschließende kleine Umbiegung am Bügelende entschärft das spitze Drahtende. Dann geht's zum Optiker, der die endgültigen Gläser schleifen und einsetzen sollte.

Schlussakkord

Das Aufeinandertreffen von Technik und Design hat bei Brillen einen eigenen Charme. Eine Version beispielsweise ganz ohne Schrauben stellt eine interessante Herausforderung dar. Sicherlich gibt es eine Menge weiterer Ideen, manche vielleicht nur realisierbar durch spezialisierte Werkzeuge. Dabei gibt der Draht mit seinen Eigenschaften Grenzen vor. Genau darin allerdings liegt – zumindest für mich – der Reiz. —hgb



20 Das fertige Brillen-Model

Der beste Weg zum Clean-Code



Heft + PDF mit 29 % Rabatt

Dieses Sonderheft verschafft Ihnen einen umfassenden Überblick, welche Programmiersprachen, Tools und Methoden den Weg zu besserem Code ebnen.

- ▶ Tutorial Clean Code in C++20
- ▶ KI-Unterstützung beim Schreiben von Code
- ▶ GitOps für den automatisierten IT-Betrieb
- ▶ Für Abonnenten portofrei
- ▶ Auch im Set mit Heft + PDF + Buch „Der pragmatische Programmierer“

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 €
Bundle Heft + PDF 19,90 €

 shop.heise.de/ix-dev-code21

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 €. Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

Praxis mit der Flex

Manchmal muss es etwas gröber sein: Mit der Flex lassen sich Aufgaben beim Metallbau zwar nicht unbedingt elegant, aber schnell lösen. Wir zeigen, was man damit alles anstellen kann.

von Georg Haug



Hab ich Cabrio gemacht mit de' Flex! Schon *Mundstuhls* alter Ego „Dragan und Alder“ wusste das Werkzeug richtig einzusetzen. Und auch unter vielen Heimwerkern, Makern und in vielen Werkstätten gehört dieses vielseitig verwendbare Werkzeug zur Grundausrüstung. Sie selbst haben aber noch keines? Vielleicht kommen Sie ja auf den Geschmack.

Der Name *Flex* stammt ursprünglich von der schwäbischen Werkzeugfirma *Flex-Elektrowerkzeuge*, die schon 1922 gegründet wurde und nach gut zehn Jahren ihren ersten Winkelschleifer auf den Markt brachte ①. Und der hat es sogar in den Duden geschafft, wie auch das zugehörige Verb *flexen*, was so viel bedeutet wie *trennschleifen*.

Der Aufbau dieser Maschine ist immer der gleiche; die von der Motorwelle ausgehende Leistung wird über ein Winkelgetriebe auf das aufgesetzte Werkzeug (Zubehör) umgelenkt. Die Flex hat zwischenzeitlich viele Änderungen und Verbesserungen über sich ergehen lassen und sich zu einem genialen Allrounder entwickelt. Es gibt zwei verschiedene Größen, die kleine mit einem Scheibendurchmesser bis 125mm und die große mit Scheiben bis 230mm im Durchmesser.

Einsatz

Der Blick auf das vielfältige, in vielen Baumärkten und im Internet erhältliche Zubehör ② lässt erahnen, was die Flex alles kann: trennschleifen, schleifen, sägen, fräsen, bürsten, raspeln, etc. Und bei der breiten Palette von bearbeitbaren Werkstoffen wie Holz, Kunststoff, Keramik, Feinsteinzeug, Stein und Metall sind die Anwendungsmöglichkeiten fast grenzenlos. Einzig bei sehr weichen, leicht schmelzbaren oder zum Schmelzen neigenden Werkstoffen ist Vorsicht geboten.

① Der erste hochtourige Winkelschleifer



DeKollehaber, Wikipedia, CC-BY-SA 4.0

Kurzinfo

- » Aufbau und Funktion der Flex
- » Sicherheitstipps fürs Flexen
- » Welche Trennscheibe für welches Material

Werkzeug

- » Schraubstock oder Schraubzwinde
- » Reißnadel und Lineal
- » Schutzbrille und -kleidung

Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xugw

Es handelt sich bei der Flex also um ein Allround-Werkzeug, das mit den entsprechenden Scheiben montiert sehr viele Arbeiten beschleunigen und erleichtern kann. Gerade beim Thema Metallbearbeitung ist dieses Gerät eigentlich ein absolutes Muss! Hier verwende ich gerne die kleine, handliche Flex, um Metallprofile, im Fachjargon auch *Halbzug* genannt, abzulängen und anschließend

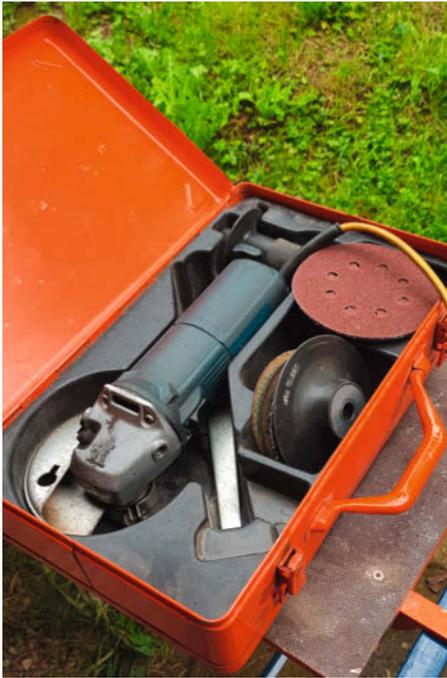
zu entgraten. Nach dem Schweißen sind die Schweißnähte schnell gesäubert, oder auch Roststellen schnell wieder blank.

Vorbereitung

Bevor ich mit meiner Flex irgendetwas bearbeiten kann, kommt der Zusammenbau. Im Aufbewahrungskasten finde ich die Flex, den



② Zubehör zum Trennen, Polieren, Schärfen



3 Mein Aufbewahrungskasten: Flex, Adapter, Scheiben

Schutz, Werkzeug, einen anschraubbaren Griff und gebrauchte Scheiben **3**. Der Schutz hat mehrere Funktionen: Ich kann die Flex nach dem Ausschalten relativ gefahrlos ablegen und vor allem soll er verhindern, dass mir während der Arbeit Späne und heiße Funken vom Werkstück oder eventuelle Splitter von der Scheibe um die Ohren fliegen.



4 Unerlässlich: Schutzausrüstung zum Flexen

Schutzbekleidung bestehend aus strapazierfähiger Kleidung, die nur schwer entflammbar ist. Schutzbrille und Handschuhe sind ebenso ein Muss, damit man vor Verletzungen geschützt ist **4**. Hier gilt: Jegliche verdeckte Haut kann nicht direkt getroffen werden. Ich verwende hier auch gerne meine Lederschürze, die ich immer zum Schweißen

trage; spätestens nach den ersten Schleifversuchen an einem Stück Stahl weiß das jeder zu schätzen.

So schön der Funkenstrahl von weitem auch aussehen mag, so unangenehm brennt er sich in die getroffene Haut oder auch andere Oberflächen ein. Neugierig herumstehende Kinder und Haustiere oder auch Wertgegenstände wie Autos oder Motorräder sollte man vor den Flex-Arbeiten in Sicherheit bringen. Die herumfliegenden Funken brennen sich nämlich ganz schnell in Lacke oder auch Glasscheiben ein, hinterlassen also irreparable, bleibende Schäden! Ebenso sollte man auch leicht entzündliche Dinge wegräumen; umsichtige Leute, dazu zähle ich mich, stellen sich sogar einen Eimer mit Wasser neben den Arbeitsplatz, und vorsichtige positionieren gar einen Feuerlöscher in Reichweite, was ein Freund von mir (ein Feuerwehrmann) absolut befürwortet.

Noch eins will ich auch nicht unerwähnt lassen: Wer längere Zeit mit der Flex arbeiten möchte, sollte unbedingt einen geeigneten Gehörschutz tragen, die Auswahl ist riesig. Ein großer Kopfhörer ist auch nicht schlecht, doch *Heavy Metal* zum Übertönen ist nicht gerade förderlich.

Haltung

Bei der Montage des Schutzes kann ich mir gleich überlegen, wie ich die Flex auf dem Werkstück aufsetzen will und wohin die Funken sprühen sollen. Ist er fest montiert, suche



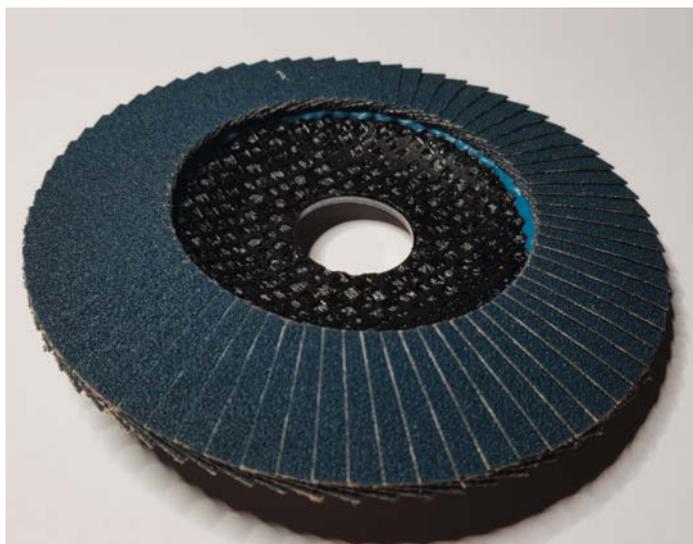
5 Vor dem Bearbeiten muss man Werkstücke immer einspannen.



6 Mit der Reißnadel markiert man die Trennlinie, an der das Profil abgeflex werden soll.



7 Schmale Trennscheibe, schmale Schnitte, geringer Materialverlust



8 Eine Fächerscheibe zum Abtragen von Rost und zum Verschleifen von Schweißnähten



9 Ein Reinigungsvlies zum Bearbeiten von feineren Werkstücken.

ich mir die geeignete Scheibe aus und montiere diese mit der dafür vorgesehenen Unterscheibe, indem ich sie sauber in deren Zentrierung einlege und dann mit der Ringmutter flächig klemme. Dazu verwende ich den Knopf am Kopf des Winkelschleifers, um die Welle zu arretieren, während ich mit dem Schlüssel die Ringmutter gut anziehe. Ein letzter prüfender Blick auf die Maschine und die Kontrolle, ob sich die Scheibe korrekt und ohne irgendwo zu schleifen dreht, kann nie schaden.

Bevor es jedoch losgehen kann, ist noch eine wichtige Kleinigkeit zu bedenken. Wer seine Werkstücke, die er eben mal schnell abschleifen oder entgraten will, mit einer Hand festhält und mit der anderen versucht, die Flex festzuhalten, der kennt wahrscheinlich eine gute Unfallklinik. Nein, Spaß beiseite, das ist absolut uncool. Das Werkstück gehört immer fest und sicher eingespannt und die zweite Hand am besten auch an die Flex, schließlich gibt es ja extra einen zweiten Griff zum Anschrauben, das kann nie schaden 5. Die eine Hand hält den Griff mit dem Schalter in Reichweite und mit der anderen Hand halte ich häufig das Getriebegehäuse. So lässt sich die Flex ruhiger führen.

Ein Schraubstock zum Spannen des Werkstücks ist immer eine gute Wahl, doch ein stabiles Holzbrett mit einer stabilen Anschlagleiste und Schraubzwingen können hier auch gute Dienste leisten. Selbstverständlich ist auch das Brett sicher fixiert. Damit sind die Vorbereitungen abgeschlossen und los geht's! Oder?

Gerade bei größeren Hohlprofilen ist es sinnvoll, die Schnittkante vor dem Kürzen anzureißen 6. Dazu benutze ich eine spitzige

und gehärtete Anreißnadel und einen Anschlagwinkel. Somit kann ich das Rohr Seite für Seite durchtrennen und komme schlussendlich wieder am Ausgangspunkt heraus.

Praxis

Ich verwende meine Flex vorwiegend für meine Arbeiten mit Metall (Stahl). Bei anderen Werkstoffen funzt das prinzipiell gleich; ich setze vorsichtig an und erhöhe dann langsam den Druck, sodass sich die Scheibe ohne zu schlagen oder zu rütteln ins Material frisst. Mit Gewalt riskiert man die Scheibe, und die Verletzungsgefahr steigt. Beim Abschneiden von Metallstäben oder Rohren verwende ich dünne Trennscheiben (für Metall), die allerdings schnell reißen und wegfliegen können, falls ich die Scheibe verkante. Dabei wird nur die Stirnfläche der Trennscheibe benutzt 7.

Die ebenen Flächen bleiben ungenutzt, auch nicht zum Verbreitern des Schlitzes, eben weil das die Scheibe belastet. Da steche ich lieber noch ein zweites Mal ein. Zum Abschleifen und Entgraten verwende ich dann die dickeren Schleifscheiben, mit denen man auch mal etwas kräftiger Material schrappen kann, indem man den Druck einfach etwas erhöht, die kann das ab. Gearbeitet wird jetzt vorwiegend über die vordere Kante 5, die sich rasch zur Fläche abschleift. Um die bearbeitete Fläche wieder zu glätten, bevorzuge ich die Fächerscheiben, die sich auch hervorragend zum Verschleifen von Schweißnähten und zum Entrostern eignen 8.

Und wenn Rost von Flächen entfernt werden soll, ohne größere Materialmengen abzutragen, dann greife ich gerne zum Reinigungsvlies, das wie ein Schwamm aufgebaut ist 9.

Hier sollte mit möglichst wenig Druck auf das Werkstück gearbeitet werden, vor allem auch dann, wenn man Gitter oder Metallroste aus dünnen Stäben reinigen oder entrostern will.

Trennscheiben

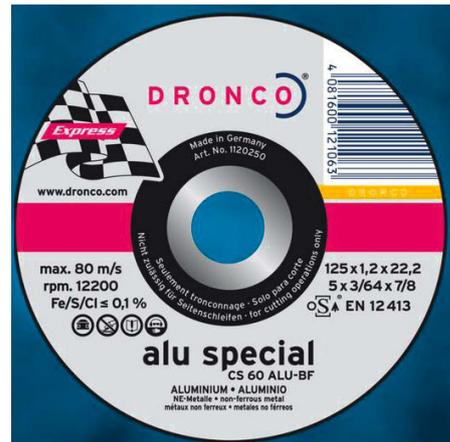
Auf den letzten Bildern war immer Baustahl zu sehen, der sich für Gartenpfosten, Balkongeländer, Lastenregale, oder ähnliches eignet. Daneben gibt es auch Leichtmetalle wie beispielsweise Aluminium- oder Kupferlegierungen. Und da wird es spannend. Schleif- und Trennscheiben für Metall haben hier nichts verloren.

Wenn wir uns ein Sägeblatt für Holz (auf einem Alu-Rohr aufliegend) und Metall (flach liegend) anschauen 10, dann sehen wir sofort den Unterschied: Metallsägeblätter haben viel kleinere und feinere Zähne, und die verstopfen bei zu weichem und leicht schmierendem Werkstoff wie Aluminium. Deshalb ist man hier mit einem größeren Sägeblatt besser bedient und beim Schneiden von Alu-Legierungen ist das nicht anders.

Klar, es gibt auch Alu-Legierungen, die sehr hart sind und auch mit Trennscheiben für Metall geschnitten werden können. Doch für weichere Alu-Sorten gibt spezielle Trenn- und Fiberscheiben, die man auch verwenden sollte, wenn man häufiger Teile aus Aluminium schneiden oder schleifen will 11. Wenn ich mal Aluprofile zu trennen habe, dann kommt bei mir auf die Kappsäge ein scharfes und nicht zu grobes, schmales Sägeblatt drauf. Aber das geht auch mit der Flex, wenn man ein passendes Holzsägeblatt einsetzt – natürlich ein für die Flex geeignetes, keins für die Stichsäge. Eine große Flex ist hier nicht sinnvoll, da diese



10 Metall- und Holzsägeblätter: Je härter der Werkstoff, desto feiner die Zähne.



11 Nein, keine CD-ROM. Eine Trennscheibe zum Flexen von Aluminium und anderen Metallen.



13 Der Funkenflug beim Flexen ist nicht zu unterschätzen.

sen, sodass ich, wenn's mal trocken war, gleich den Rasenmäher rauszog, um es im Schach zu halten. Dazu brauchte ich ein scharfes und möglichst glattes Messer, das sich gut durch das saftige Grün durchfraß. Und schon wieder sind wir bei meiner geliebten Flex! Messer und Klingen aller Art kann ich mit einer feinkörnigen Schleifscheibe ganz einfach schärfen und den feinen Grat anschließend mit einem nassen Abziehstein entfernen 12. Bei diesen Scheiben scheiden sich allerdings die Geister: Die einen bevorzugen Schleifscheiben mit Klett und die anderen wollen ihre gute alte Gummi-Schwabbel – dürfen sie auch.



12 Auch Äxte und Beile lassen sich mit der Flex und einer Schleifscheibe wieder scharf machen.

eine noch höhere Umfangsgeschwindigkeit hat und somit noch mehr Reibungsenergie in Wärme umsetzt.

Schärfen

Ganz klar, wir haben hier das Thema Metallbearbeitung. Trotzdem möchte ich anmerken, dass es auch spezielle Scheiben für die Bearbeitung etwa von Stein und Keramik gibt. Das sind Trenn- und Schruppscheiben, gekennzeichnet mit „Stein“, dann Diamanttrenn- und Schleifscheiben, sowie Fächerschleifscheiben diamantbesetzt, Diamant-Nasspolierscheiben und Diamant-Schleiftöpfen. Letztere erinnern in ihrer Form ein wenig an Autofelgen.

Weiterhin gibt es für Arbeiten mit Holz diverse Kettenschleuder- und Kettenfrätscheiben, Holzfrätscheiben, Fächerscheiben, Holzschnitt- und Raspelscheiben. Aber bitte verwendet keine Scheiben für Stein oder Holz, wenn ihr Metall bearbeiten wollt. Die Verletzungsgefahr durch platzende Scheiben ist einfach zu groß. Im schlimmsten Fall rutscht die Flex aus den Handschuhen, beispielsweise wegen eines Sägeblatts mit großen Zähnen, und dann will ich nicht mehr dabei sein!

Apropos Wärme – manche mögen's scharf! Gut, der Sommer hat dieses Jahr nicht unbedingt zum Dauergrillen eingeladen, aber das Gras ist regelrecht aus dem Boden geschos-

Gefahr

Abschließend möchte ich nochmals auf den Funkenflug eingehen 13. Diese glühenden Metallspäne haben es in sich, denn sie können selbst stabile Lederhandschuhe in relativ kurzer Zeit durchbrennen. Deshalb empfehle ich grundsätzlich zwei verschiedene Techniken, die zum einen das Material und zum anderen die Finger schonen. Beim Trennen lasse ich den Funkenstrahl an mir vorbeiziehen, indem ich mich seitlich aufstelle und ich in den Fingern einen leichten Zug der Flex spüre.

Sollte sie aus irgendwelchen Gründen klemmen, dann zieht es die Maschine von mir weg und die Finger bleiben unverletzt. Würde sie aber zu mir hin stoßen, hätte ich die drehende Scheibe in den Fingern und da schmerzt schon der Gedanke. Beim Schleifen arbeite ich dagegen, das heißt die Scheibe wirft den Strahl nach vorne von mir weg. Ein Verklebmen der Schleifscheibe ist so sehr unwahrscheinlich.

Eine Flex ist kein Spielzeug, und bei Maschinen mit sich schnell drehenden Scheiben oder Wellen, die man berühren kann, ist immer Vorsicht geboten – jeglicher „Feindkontakt“ ist daher unbedingt zu vermeiden. Eine richtig und mit dem nötigen Respekt eingesetzte Flex dagegen ist ein wunderbares Werkzeug. Ich möchte sie nicht mehr missen! —dab

Ihr Erste-Hilfe-Set:

Das Notfall-System für den Ernstfall

Heft + PDF
mit 29 % Rabatt



Mit der neuen Version **c't Desinfec't 2021/22** sind Sie für den Ernstfall bestens gerüstet:

- ▶ Vier der neuesten Viren-Scanner
- ▶ Notfallarbeitsplatz
- ▶ Notfallsystem, das Ihre Daten retten kann
- ▶ Verbesserte Hardware-Kompatibilität

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Bundle Heft + PDF 19,90 € • Desinfec't-Stick 19,90 €



shop.heise.de/desinfec't21

Einstieg ins Schweißen

Dank blendender Helligkeit und brutzelnder Geräusche ist Schweißen immer ein großes Spektakel. Mit den richtigen Geräten und etwas Übung macht es außerdem süchtig.

von Moritz Metz



Schau nicht in das Helle, sonst wirst du blind! Schon Kinder lernen, dass Schweißen große Energien freisetzt, von blendendem Licht, beindruckendem Knattern und Zischen bis zu Dampf, Düften und glühendem Stahl. Vielleicht sind solche Kindheitserlebnisse der Grund, weshalb viele Maker in erfurchtsvoller Faszination vor der Vorstellung verharren, glühendes Metall auf ewig miteinander zu verbinden, anstatt sich einfach an das Schweißen heranzuwagen. Dabei bringt das multisensorische Erlebnis riesigen Spaß, endlose Möglichkeiten – und ist einfacher denn je.

Ab ein paar Hundert Euro bieten Online-Shops Geräte und komplette Schweiß-Sets, mit denen Makerinnen und Maker, die bisher nur den Lötkolben geschwungen haben, nach etwas Übung absolut achtbare Schweiß-Erfolge erreichen können. Dank Mikroprozessor-Steuerung mit IGBT-Transistoren und für Heimwerker absolut akzeptabler China-Fertigung sind heutige Schweißgeräte kompakter, leichter und einfacher zu bedienen als altherrwürdige, tonnenschwere Trafo-Geräte, die zudem meist einen Drehstrom-Anschluss erforderten.

Schweiß-Verfahren

Bei allen drei gängigen Schweißverfahren geht es darum, Metalle durch Hitze miteinander zu verschmelzen und ein Additiv hinzuzugeben. Zunächst muss das Werkstück mit einer Massekabel-Klemme an einer blanken Stelle geerdet werden. Zugunsten guter Ergebnisse sollte die Kontaktstelle am Werkstück blank geschliffen sein. Dank modernen Invertern in Schweißgeräten ist auch an heimischen Steckdosen bis zu 200 Ampere Schweißstrom möglich, der zwischen dem geerdeten Werkstück und dem Schweißbrenner einen Kurzschluss erzeugt, den sogenannten Lichtbogen. Damit im Prozess nichts oxidiert, basiert jedes Schweißverfahren darauf, die Schweißstelle vor Sauerstoffeinströmung aus der Umgebungsluft zu bewahren, sonst sieht die Naht aus wie ein Emmentaler Käse und hält nicht.

E-Hand

Das *Elektrodenschweißen* (auch *E-Hand* oder im englischen Sprachraum MMA genannt) ist die unkomplizierteste, günstigste und mobilste Schweißvariante, aber eher gut für grobe Arbeiten. Zum Schweißen klemmt man unterarmlange Elektroden, die überdimensionierten Wunderkerzen ähneln, in ein Handstück. Die Spitze der Elektrode wird dann „schleppend“ in geringem Abstand entlang der gewünschten Schweißnaht bewegt. Das erfordert durchaus Übung, da die Elektrode durch das Abbrennen immer kürzer wird und (gerade bei alten Trafo-Geräten) gerne am Werkstück festklebt. Der Lichtbogen darf aber

Kurzinfo

- » Schweißverfahren im Überblick
- » Tipps zur Fehlersuche
- » Kleine Kaufberatung

Mehr zum Thema

- » Roman Radtke, Einführung ins WIG-Schweißen, Make 4/18, S. 98
- » Roman Radtke, Dachgepäckträger selbstgeschweißt, Make 5/18, S. 108

Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xmqp

nicht abreißen. Da die Elektrode selbst beim Abbrennen Schutzgase freisetzt, ist keine Gasflasche nötig – am Gerät muss nur die Stromstärke eingestellt werden. Als Nebeneffekt entsteht jedoch Schlacke, die nicht in die Schweißnaht eindringt und später mit einem speziellen Hammer und einer Bürste oder einer Flex mit Schruppscheibe von der Schweißnaht entfernt werden sollte.

Für feinere Arbeiten unter 1,5mm Blechstärke ist das Elektrodenschweißen kaum geeignet. Einbrand-Löcher entstehen schneller als man gucken kann. Dafür sind die E-Hand-Geräte kompakt, mobil und funktionieren auch bei Wind. Außerdem gibt es Elektroden für Edelstahl. So ist das Elektrodenschweißen ein preiswerter, teils rustikaler Einstieg in die Welt des Schweißens. Viele MAG- und WIG-Geräte haben E-Hand-Schweißfunktionen integriert.

MIG/MAG

Aus Autowerkstätten erklingt oft das Knattern des *Metallschweißens mit aktiven Gasen* (MAG), das nach Aussage eines britischstämmigen

Schlossers so brutzeln muss wie „fried bacon“ in der Pfanne. MAG ist ideal für schnelle Schweißarbeiten und ziemlich einsteigerfreundlich. Aus dem pistolenartigen Handstück kommen auf Knopfdruck das Schutzgas aus einer Gasflasche und der Schweißdraht. Der meist 0,8mm dünne Draht wird von einer im Schweißgerät befindlichen Rolle durch das meterlange „Schlauchpaket“ abgespult und schließlich aus der Pistole geschoben. Der Schweißdraht steht dabei unter Strom, erzeugt vor dem Berühren des Werkstückes einen Lichtbogen – deshalb das Knattern – und fungiert beim Abbrennen als Additiv für die Schweißnaht. Neben der Drahtfördergeschwindigkeit und der Stromstärke muss die korrekte Gasmenge eingestellt werden. Je nach gewünschter Tiefe der Naht schweißt man meist „stechend“, manchmal „schleppend“, mit einem Brennerwinkel von 10 bis 15 Grad und einem üblichen Abstand zum Werkstück von ungefähr einem Zentimeter.

MAG ist die wohl einfachste und vielseitigste Schweißart für viele Aufgaben und relativ dünne Stähle, jedoch materialaufwändiger



Drei Schweißverfahren, drei Handstücke (E-Hand, MAG, WIG)



Beim E-Hand-Verfahren wird eine wunderkerzenartige, abbrennende Elektrode in ein Handstück geklemmt.



Durch das Schlauchpaket eines MAG-Brenners wird ein Schweißdraht transportiert, dazu Schutzgas aus der Schweißdüse.



Das WIG-Verfahren nutzt eine nicht abbrennbare Wolfram-Elektrode, die immer gut gespitzt sein sollte. Zusatzwerkstoff wird per Hand zugeführt.



Ein automatisch abdunkelnder Schweißhelm und schwere Lederhandschuhe



Vor dem Schweißen sollte beschichteter oder rostiger Stahl erst blankpoliert werden, z.B. mit einer Fächerscheibe am Winkelschleifer. Ohren- und Augenschutz ist Pflicht.



Test-Schweißraupen aus E-Hand, MAG und WIG – deutlich zu erkennen sind die Spratzler des eher groben, aber vielseitigen E-Hand-Verfahrens.

und etwas kostspieliger als E-Hand. Neben einer Schweißdraht-Rolle benötigt man Schutzgas, meist 80%-iges Argon-Gas. Im Baumarkt gibt es für rund 120 Euro Eigentumsflaschen zu erstehen, die bei den jeweiligen Händlern gegen gefüllte Gasflaschen getauscht werden können. Eine Gasfüllung kostet zirka 40 Euro. Gute Hobby-MIG/MAG-Geräte sind ab 300 Euro erhältlich. Nach Gasflaschen- und Schweißdrahtwechsel beherrschen die Geräte auch das *Metallschweißen mit inerten Gasen* (MIG) für beispielsweise Edelstahl. Am besten sollte man gleich ein Brenner-Verschleißsteileset mit Ersatz-Düsen dazubestellen, da diese am Anfang nicht allzu lange überleben.

Das sogenannte Fülldrahtschweißen ist eine Mischform aus MAG und E-Hand. Wie bei MAG-Geräten wird Schweißdraht durch die Brennerpistole abgespult, was im Vergleich zu E-Hand ein eher einsteigerfreundliches, einhändiges Handling erlaubt. Der Fülldraht ist ähnlich beschichtet wie die E-Hand-Wunderkerzen und setzt beim Verbrennen Schutzgase frei, die eine Gasflasche obsolet machen, zum Preis von Präzision, Sauberkeit und Schönheit der Naht. Die Schlacke-, Rauch- und Spritzerentwicklung ist hoch und auch optisch solide erscheinende Schweißstellen halten nicht immer.

WIG

Das wohl feinste Schweißverfahren ist das *Wolfram-Inertgas-Schweißen* (WIG) auf englisch TIG für *Tungsten inert gas welding*. Es bietet die vielfältigsten Möglichkeiten und schönsten Schweißergebnisse, auch auf Edelstahl, Dünoblechen und eventuell sogar Aluminium. Es erfordert aber auch viel Feingefühl und Erfahrung. Ein Brenner mit nicht abbrennbarer Wolfram-Elektrode wird „stechend“ und wenige Millimeter entfernt über die Schweißstelle geführt – und startet auf Knopfdruck den Gasstrom und Lichtbogen. Mit der anderen Hand werden passende Schweißdraht-Stäbe in das Schweißbad getupft. Es entsteht keine Schlacke, kein Knattern oder Funkenflug und die Dämpfe sind etwas weniger ungesund als bei den anderen Verfahren. Die Lernkurve beim

WIG-Schweißen ist steiler als bei MAG, allein aufgrund der vielen Parameter und Funktionen, von Anstiegszeit und Gasvorlauf bis zum sogenannten Kraterstrom.

Ein Gerät mit Hochfrequenzstreich- oder Berührungszündung, wo die Elektrode zum Zünden des Lichtbogens an das Werkstück gehalten werden muss, aber dabei gerne festklebt. Beim 2-Takt-Schweißen wird der Schweißvorgang durch Knopfdrücken gestartet und durch Loslassen beendet. Im 4-Takt-Betrieb drückt man zum Starten und erneut zum Beenden. Das ist komfortabler bei langen Arbeiten, denn WIG ist eher langsam. Für dünne Bleche oder Fahrradrahmen unter 1mm ist ein Gerät mit Puls-Funktion vorteilhaft. Diese verhindert mit alternierenden Stromstärken eine Überhitzung und Durchbrennen von Material. Manche Profis schwören auf ein Fußpedal, das die Stromstärke während des Schweißens reguliert. WIG-Geräte, die neben dem gewöhnlichen DC-Gleichstrom und der Pulsfunktion auch AC-Wechselstrom-Schweißen beherrschen, sind für Aluminium geeignet, da nur der Wechselstrom die Oxidschicht des Aluminiums aufricht. Hier sind wir bei der wirklich hohen Kunst angelangt, die neben einem halbrunden „Kalotten“-Ende an der Elektrode insbesondere Sauberkeit sowie viel Können benötigt.

Beim gängigeren Gleichstrom-WIG-Schweißen muss die Wolfram-Elektrode spitz sein und regelmäßig auf eine bestimmte Art geschliffen werden, das geht mit dem Schleifbock oder in einem Akkuschauber. Schöner wird der Schliff in einem speziellen WIG-Elektroden-Dremel-Aufsatz, der als „Schleiflehre“ fungiert. Je nach Art der Elektrode kann der Wolfram-Schleifstaub radioaktiv sein, einatmen sollte man ihn so oder so nicht.

Arbeitsschutz

Am wichtigsten ist daher der Arbeitsschutz: Ohne Schweißmaske, Handschuhe und langärmelige, brandfeste Bekleidung werden die Energien des Schweißens zur respektablen Gefahr. Ein elektrischer Schweißhelm verdunkelt das Sichtglas in Sekundenbruchteilen und sorgt



Das Bananenbike: Mit einem geschweißten Unterbau wird aus einem normalen Rad ein fahradbetriebener Smoothie-mixer.



Diese beiden Schweißgeräte (WIG und MIG/MAG) beherrschen beide zusätzlich das E-Hand-Verfahren.

für Schutz des Augenlichts und des Gesichts vor blendender Helligkeit und UV-Strahlung. Die Funktion muss vor dem Schweißen immer getestet werden. Langärmelige, nicht brennbare Kleidung schützt vor Hitze und Licht. Wer sich vom Schweißen schon mal einen Sonnenbrand geholt hat, weiß, was 4000 Grad Celsius Lichtbogentemperatur bedeuten. Auch Funkenflug in offene Schuhe oder unter den T-Shirt-Kragen sind äußerst unangenehm. Die Schweißdämpfe, gerade von E-Hand und MIG, sollten nicht eingeatmet werden und ein griffbereiter Feuerlöscher ist immer sinnvoll.

Wo kaufen?

Shops von Internet-Händlern wie *Stahlwerk* oder *Weldinger* bieten preiswerte aber qualitätsgeprüfte Geräte aus China-Produktion und eine bemerkenswert langjährige Garantie und Ersatzteilversorgung. Von Profi-Markenherstellern wie *EWM*, *Rehm*, *Lorch* oder *Merkle* finden sich im Netz mitunter bezahlbare und vor allem unverwüsthliche Gebrauchtgeräte. Aber auch mit billigen Baumarkt- und Discounter-Geräten lässt sich irgendwie schweißen. Reine Fülldrahtschweißgeräte genügen für grobe, mobile Hobby-Schweißarbeiten bei jedem Wetter, zum Beispiel um ein Gartentor „zusammenzubraten“. Die Billig-Geräte sind jedoch aufgrund von wenigen Leistungseinstellstufen nur bedingt für elegante Nähte, für Dünnbleche oder ambitionierte Projekte geeignet. Auch für Sparfüche empfiehlt es sich, gleich in ein vollwertiges MIG/MAG-Gerät mit Gasanschluss und stufenlos regelbarer

Leistung zu investieren, die meistens Fülldrahtkompatibel sind. So kann man erst einmal das erproben – und die Gasflasche später nachkaufen. Wer sich keine eigene Ausstattung zulegen kann oder will, sollte schauen, ob ein lokaler Makerspace oder Fablab eine Metallwerkstatt betreibt.

Essentielles Werkzeug für die Schweiß-Vor- und Nachbereitung ist ein elektrischer Winkelschleifer (siehe auch Seite 98) – am besten mit dünnen 1mm-Trennscheiben sowie Fächerscheiben zum Schleifen von Stahl. Beim *Flexen* unbedingt Ohren- und Augenschutz tragen und die Richtung vermeiden, in die das Gerät Schleifstaub auswirft. Edelstahl-Staub gilt als krebserregend. Vor allem nach Verklemmungen oder fertigen Schnitten kann die Flex entflüchten oder zurückschlagen. Nicht bei allen rotierenden Elektrowerkzeuge werden Handschuhe empfohlen, beim Winkelschleifer schon.

Learning by Welding

Egal mit welchem Verfahren Sie arbeiten: Hilfreich ist es, die geplante Naht vor dem eigentlichen Schweißen in einer entspannten Haltung probeweise abzufahren. Beim Schweißen dann in dieser Haltung bleiben und ein gleichmäßiges, gefühlt eher zu langsames Tempo nutzen. Die ersten ansehnlichen Schweiß-Raupen lassen sich auf Blechen nach kurzer Zeit ziehen, beispielsweise auf blankgeschliffenen Stahlresten vom Alteisen einer Schlosserei. Erst mit Übung und Erfahrung entstehen belastbare und dauerhafte Verbindungen. Wer keinen Schweiß-Profi für die Einstiegshilfe

kennt, kann sich mit Schweiß-Videos behelfen. YouTube ist voller Tutorials. Stahlprofile gibt's im Baumarkt und – trotz aktuell arg gestiegener Preise – günstiger beim lokalen Stahlhändler oder auch bei eBay-Händlern. Diese bestehen schon allein aus Versandgründen nicht auf sechs Metern Mindestabnahmelänge.

Fehlersuche

Eine Schweißnaht sollte die richtige Höhe, den richtigen Einbrand und eine dichte Beschaffenheit haben – dann hält die Verbindung durchaus stärker als das eigentliche Material. Die häufigsten Anfänger-Fehler sind zu hohes Tempo, falsche Stromstärke, unzureichende Gaszufuhr oder eine ungenügende Masseverbindung. Sie muss nah an der Schweißnaht liegen und sauberen Kontakt haben. Das Metall sollte poliert sein, denn auf rostigem Stahl misslingt eine Schweißnaht. Gerade wer mit niedrigen Stromstärken schweißt, sollte auch die manchmal vorhandene schwarze Zunderbeschichtung abschleifen. Wenn die Elektrode oder der Schweißdraht festkleben, sollte man den Elektroden-Abstand und eventuell die Stromstärke anpassen. Gegen hitzebedingten Verzug setzen Profis vorab kleine Heftpunkte an mehreren Ecken. Verschlossene Stromkontaktdüsen sind schließlich bei WIG eine Ursache für stotterndes Schweißen.

Auch wichtig: Immer mal Pause machen und frische Luft holen, auch wenn es schwer fällt. Denn Schweißen kann zwar anfangs frustrieren – macht aber süchtig und die Möglichkeiten sind endlos! —hch

Upcycling: Tandem-Eigenbau

Aus zwei mach eins – für mehr Fahrspaß zu zweit: Schon vor 40 Jahren habe ich aus zwei normalen Fahrrädern ein Tandem gebaut und jetzt das bewährte Konstruktionsprinzip für diese Make-Ausgabe nochmals nachvollzogen und beschrieben.

von Burkhard Fleischer



Mit Freund oder Freundin plaudernd ins Blaue radeln, Sehbehinderten zu Freiluftvergnügen verhelfen, als Pendlertaxi verwenden – all das ist mit einem selbstgebauten Tandem möglich. Und so nebenbei rettet man nach dem hier beschriebenen Verfahren ausgemusterte Zweiräder vor der Schrottpresse. Ein Tandem ist dabei mehr als zwei aneinandergeklebte Rahmen: Es erweitert die Verwendungsmöglichkeiten des Fahrrades. Vor allem aber macht das Fahren zu zweit auf demselben Rad einfach nur Spaß. Der Eigenbau übrigens auch.

Für unser Tandem muss man nicht einige tausend Euro auf die Ladentheke blättern. Mit einigem handwerklichen Geschick und viel Kreativität lässt sich ein derartiges Gefährt fast für lau auf die Räder stellen. Die anfallenden Kosten hängen ab von den eigenen Ansprüchen und der Zeit, die für die Suche nach alten Objekten aufgebracht werden; mit Geduld findet man die passenden Rahmen für wenig Geld oder vielleicht sogar gratis im Keller von Bekannten oder auf dem Sperrmüll. Mit diesem Artikel wollen wir helfen, das Unternehmen „Tandem-Eigenbau“ zu verwirklichen. Bei dem gibt es natürlich einiges zu beachten, damit neben dem Fahrspaß auch die Sicherheit gewährleistet ist – immerhin begibt man sich mit dem fertigen Fahrzeug in der Regel auf die Straße. Deshalb muss das Rad natürlich alle gesetzlichen Vorgaben in Bezug etwa auf Beleuchtung und Bremsen erfüllen. Und der Nachbau nach der hier gezeigten Anleitung erfolgt auf eigene Gefahr.

Aus zwei mach eins

Unsere Konstruktion für den Tandembau funktioniert nach dem Steckprinzip, nach dem der neue Rahmen aus zwei einzelnen Rahmen

Kurzinfo

- » Alte Fahrradrahmen geschickt zusammenstecken
- » Minimaler Schweißaufwand, daher auch günstig als Auftrag zu vergeben
- » Maximale Wiederverwendung alter Fahrradteile möglich

Checkliste



Zeitaufwand:
vier Wochenenden reine Bauzeit



Kosten:
250 Euro für das hier gezeigte Tandem, je nach Fundus an Altteilen geht es aber auch deutlich günstiger

Werkzeug

- » Fahrradwerkzeug inklusive Kettennietendrücker
- » Handwerkzeug für die Metallbearbeitung, etwa Säge und Feile, eventuell auch Flex
- » Schweißgerät alternativ Schweißen lassen bei Bekannten oder Dienstleistern

Material

- » 2 Fahrräder mit möglichst identischer Rahmengenometrie, 26-Zoll-Damenräder mit gemufftem Stahlrahmen
- » 2 Stahlrohre Durchmesser 12mm, als Längsversteifung, Länge je nach Rahmen
- » Fahrradteile wie Kette, Kettenblätter, Bremsen, Beleuchtung; neu oder gebraucht, je nach Wiederverwendbarkeit der Teile der verwendeten Alträder

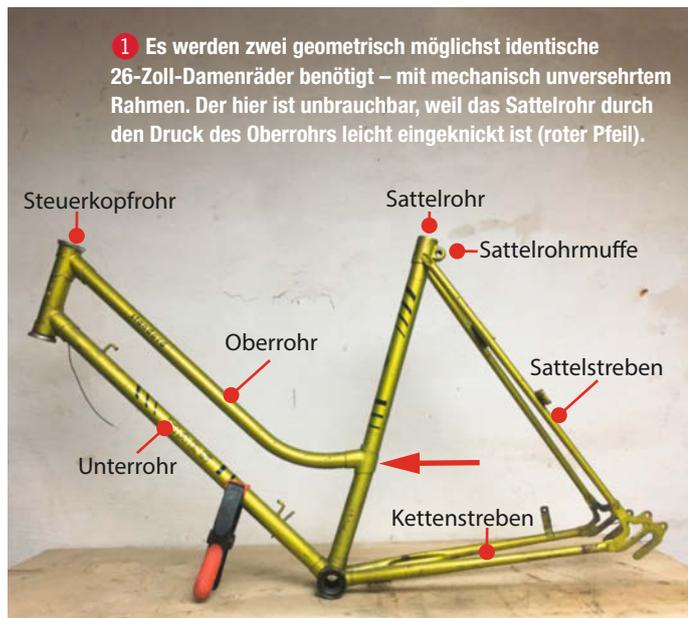
Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xqbb

alter Fahrräder zusammengefügt wird. Mit Schraubverbindungen kommt man beim Tandembau allerdings nicht weit. Die beiden Rahmen müssen ordentlich ausgerichtet und verschweißt werden. Das ist nicht jedermanns Sache. Überlässt man diese Arbeiten einer Werkstatt, kann das teuer werden, falls viel zu schweißen ist. Mit unserem Stecksystem hingegen fallen nur minimale Schweißarbeiten an und der Wunsch nach einem eigenen Tan-

dem lässt sich kostengünstiger verwirklichen, als man zunächst denken mag – selbst wenn man schweißen lässt.

Vorbereitung

Vor dem Gang in die Werkstatt sind einige Vorarbeiten zu erledigen, etwa die Materialbeschaffung. Als Basis benötigt man zwei intakte und weitgehend geometrisch identische





3 Kleinteile zum Anschweißen: Links der von einer Gabel abgesägte Schaft, rechts die vom Hinterbau des ersten Rahmens herausgeschnittene Bremsplatte zur Montage der Felgenseitenbremse hinten



4 Der in das Sattelrohr des vorderen Rahmens eingeschweißte Gabelschaft schaut als Stutzen für den vorderen Sattel und hinteren Lenker hervor. Der Stutzen ist hier noch zu lang, er wurde auf 4cm gekürzt.

Rahmen von Damenrädern mit gemufften Stahlrahmen 1. Diese wurden bis in die 1990er Jahre millionenfach gefertigt, bis dann viel Aluminium im Fahrradbau verwendet wurde. Die Abmessungen der Stahlrahmen waren weitgehend standardisiert. So hatte das Steuerkopfrohr einen Innendurchmesser von 30 Millimetern und das Sattelrohr einen Außendurchmesser von 29 Millimetern.

Für unser Tandem präparieren wir den vorderen Rahmen dahingehend, dass die Sattelstreben entfernt und vom Sattelrohr die Sattelrohrmuffe blank weggeputzt wird 2. Nehmen wir den hinteren Rahmen, so lässt sich dessen Steuerkopfrohr auf das Sattelrohr des vorde-

ren Rahmens aufstecken. Somit sind die beiden Rahmen schon gut verbunden und lassen sich nur noch in einer Achse seitlich gegeneinander verdrehen. Das vereinfacht später die Justierarbeiten auf der Werkbank deutlich. Drücken wir die Kettenstreben des vorderen Rades auf das Unterrohr des hinteren Rades, so sehen wir bereits in diesem frühen Stadium die Struktur des fertigen Rahmens. Dennoch müssen einige Details berücksichtigt werden.

In einem „fliegenden Aufbau“ sollte erst einmal die Vorderradgabel mit dem Vorderrad und das Hinterrad provisorisch montiert werden. Stellt man dieses – zugegeben wackelige – Gebilde auf die Räder, kann der Abstand der

Tretlager zum Boden gemessen werden. Sie sollten gleich hoch sein und bei nicht aufgepumpter Bereifung nicht unter 24 Zentimeter betragen. Bei geringerer Distanz zum Grund könnten beim Kurvenfahren Tandem Schwierigkeiten beim Kurvenfahren entstehen, denn die inneren Pedale könnten Bodenkontakt bekommen. Kleine Unterschiede können allerdings noch ausgeglichen werden, indem die Rohre der beiden Rahmen gegeneinander verschoben werden.

Vorbereitung zum Schweißen

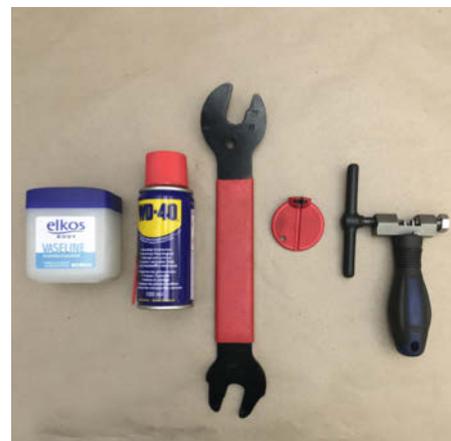
Die sich aus dem vorläufigen Zusammenstecken der Rahmen ergebenden Einstellungen und Maße werden in einem genauen Plan festgehalten. Aus diesem kann später der Schweißer für seine Arbeit die wichtigen Daten entnehmen. Um den vorderen Sattel und den hinteren Lenker sicher anzubringen, wird in das vordere Sattelrohr der abgesägte Schaft einer ausrangierten Gabel eingeschweißt 3. Es sollen ungefähr 4cm herauschauen 4.

Zur Versteifung des Rahmens werden zwei Rundstahlrohre von ca. 12mm Außendurchmesser bereitgelegt, die später vom oberen Ende des vorderen Steuerkopfrohrs bis zu den hinteren Hinterbaustreben (Ketten- und Sattelstreben) reichen. Dabei muss für die Antriebskette ausreichend Platz gelassen werden.

Die Versteifung hat eine doppelte Funktion. Zum einen hat ein Tandem fast einen doppelten Radstand gegenüber einem einfachen Rad. Ohne Versteifung würde der Rahmen wie bei einer Hängebrücke zum Durchhängen neigen. Mitunter könnten sich dauerhafte Verformungen ergeben, wie sie auf Bild 1 zu beobachten sind. Die Verstrebungen hingegen wandeln den Rahmen zu einem steifen Gitter. Zum anderen verbreitern die Streben den Rahmen. Da in unserer Konzeption die Ketten für beide Radler auf der rechten Seite



5 Die verschweißten Rahmen mit dem eingeschweißten Gabelschaft und der angeschweißten Bremsplatte, die später leider entfernt werden musste. Alle Schweißstellen sind rot markiert.



6 Einige Hilfsmittel (von links nach rechts): Vaseline als Lagerfett, Kriechöl WD-40, Spezialmaulschlüssel zum Lösen der Pedale, Nippelspanner, Kettennietendrucker



7 Die Einzelteile der demontierten Gabelhalterung, übersichtlich in einer Kunststoffschale: Abschlussmutter (a), Nasenscheibe (b), Gewindekonus (c), Kugelhalter (d), Gabelkonus (e)



8 Die Einzelteile des Tretlagers: Kontermutter (a), Staubschutzdeckel (b), Nasenscheibe (c), Gewindekonus (d), Befestigungskeile (e), Tretlagerwelle (f), Kugelhalter (g)

liegen, gibt es ein kräftiges Biegemoment durch den Antrieb. Diesem Moment soll die Versteifung entgegenwirken.

Leider kann ich persönlich nicht schweißen. Durch das Stecksystem ist der Arbeitsaufwand allerdings relativ gering, so dass hilfsbereite Firmen diese Arbeiten kostengünstig „mal so nebenbei“ erledigen. Meinen ersten Tandemrahmen vor jetzt vierzig Jahren hat mir eine Schlosserei für 5,- DM zusammengeschweißt. Den hier gezeigten Neubau fügte mir ein Nachbar zusammen **5**. Allerdings sollte darauf geachtet werden, dass die Schweißarbeit nur von jemandem mit einschlägigen Kenntnissen ausgeführt wird, denn diese Arbeit ist sicherheitsrelevant!

Ran an die Zweiradtechnik

Mit diesen Vorbereitungen nimmt das Tandem seine Grundform an. Um es aber erfolgreich auf die Räder zu stellen, führt kein Weg am manchmal mühevollen Zweirad-Handwerk und den Standard-Werkzeugen dafür vorbei **6**. Wer wenig Vorkenntnisse hat, kann sich die zumindest ansatzweise bei der Demontage der alten Fahrräder erarbeiten, die als Ausgangsmaterial für dieses Projekt dienen. So wie wir die Einzelteile des Rades demontieren, müssen sie später wieder zusammengesetzt werden – nur in umgekehrter Reihenfolge **7** **8**. Hilfreich hierzu sind Skizzen oder Fotos, die wir bei der Demontage anfertigen, z.B. von der Reihenfolge und Lage der Einzelteile, Drehrichtung von Gewinden und ähnlichen Sachverhalten. Bei alten Rädern sind erfahrungsgemäß viele Verschraubungen korrodiert. In diesem Fall vollbringt ein Rostlöser wie das Kriechöl WD-40 mitunter Wunder.

An einem alten Rad lässt sich das Öffnen und Schließen einer Fahrradkette üben. Diese Technik benötigen wir, wenn wir für unseren Antrieb Ketten zusammenfügen oder kürzen müssen. Besonders bei Tourenketten sind sogenannte *Kettenschlösser* sehr verbreitet, die für unsere Zwecke ungeeignet sind. Kettenschlösser tragen in der Breite zu sehr auf und würden den ungestörten „Vorbeimarsch“ der beiden Kettenstränge auf dem hinteren Kettenblatt verhindern.

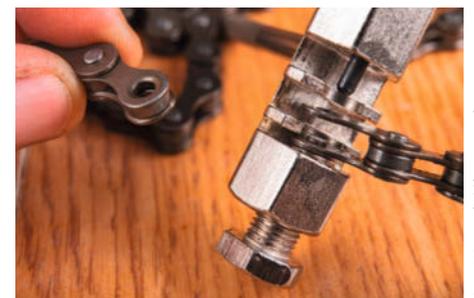
Die Fahrradkette lässt sich mittels eines Kettennietendrückers problemlos öffnen **9**. Der Nietendrücker besteht aus drei Teilen. In eine Art Bett wird das zu lösende Kettenglied gelegt und mit einer Feststellschraube fixiert. Von der anderen Seite wird ein Dorn zunächst auf die Niete geschraubt. Anschließend wird die Niete durch weiteres Drehen des Knebels aus dem Glied herausgetrieben. Zu beachten ist dabei, dass die Niete in der zweiten Außenlasche stecken bleibt. Und zwar so weit, dass noch ein Stückchen nach innen ragt. Dadurch erleichtert man sich den späteren Zusammenbau der Kette. Für den Zusammenbau greife ich wieder zum Kettennietendrücker, aber diesmal in umgekehrter Reihenfolge.

In der Regel haben alle Verschraubungen Rechtsgewinde, d.h. sie drehen sich im Uhrzeigersinn fest und werden folglich entgegen dem Uhrzeigersinn gelöst. In der Fahrradtechnik gibt es von dieser Regel allerdings zwei Ausnahmen: Die *linke* Pedale wird an dem Kurbelarm *links* herum festgeschraubt. Ebenso verfügt ein geschraubtes Tretlager auf der *linken* Seite über ein *Linksgewinde*. Der Sinn ist, dass sich Lager und Pedale durch die Kurbeldrehungen nicht selbsttätig lösen.

Nach dem Schweißen

Gespannt nahm ich den frisch geschweißten Rahmen in Augenschein. Hier und da musste eine Schweißnaht geglättet werden. Ferner war die Bremsplatte zu tief angeschweißt. Das Hinterrad hatte während des Ein- und Ausbaus nicht genügend Platz. Ich habe den Rahmen gerettet, indem ich die Platte mittels Säge und Feile entfernte. Ärgerlich war dies insofern, weil an der Platte eigentlich die hintere Felgenbremse montiert werden sollte; dann wäre der Bowdenzug schön gerade verlaufen. So wanderte die Bremse zum traditionellen Ort, durch die veränderte Rahmengeometrie verläuft der Bowdenzug jetzt aber in einem Energie schluckenden Bogen **10**. Nun gut.

Sind die Nacharbeiten erledigt, wird der Rahmen lackiert. Zunächst muss der alte Anstrich angeraut werden. Um die Arbeiten zu erleichtern, habe ich mir Schleifstreifen hergerichtet. Hierzu habe ich von einem Bandschleifer ein Endlosband mit feiner Körnung aufgeschnitten und der Länge nach geteilt. Mit diesem Streifen lassen sich die glatten



9 Mit dem Kettennietendrücker öffnet und schließt man eine Kette ohne Schloss.

Keile statt Vierkant

Eine besondere Befestigungstechnik findet man häufig bei den gängigen Fahrrädern bis in die 90er Jahre, nämlich Befestigung der Kurbelarme durch Keile statt der heute üblichen Vierkantbefestigung. Während rechter Kurbelarm, Kettenblatt und Welle in der Regel starr verbunden sind, ist der linke Kurbelarm von der Welle lösbar. Bei Verkeilung als Befestigungsart ist die Welle am Ende abgeflacht. Der Kurbelarm hat in dieser Höhe eine Bohrung. Der runde Keil wird mit seiner abgeflachten Seite zur Welle hin durch die Bohrung getrieben und erzeugt durch Klemmung eine starre Verbindung zwischen Welle und Kurbelarm.

Mitunter ist die Verkeilung nur schwer zu lösen. Falls Sie auf ein solches Problem stoßen, bewährt sich folgender Trick: Zunächst wird die Fixiermutter soweit gelöst, dass ihre Flanke mit dem Ende des Keils eine Ebene bildet. Dadurch wird das

Gewinde vor Deformationen geschützt. Ferner wird der Keil von beiden Seiten mit Kriechöl eingesprüht. Nach einer gewissen Einwirkzeit wird vorsichtig mit einem Schlosserhammer auf den Keil eingeschlagen. Dabei sollten die Schläge auf der Gegenseite mit einem Fäustling abgefedert werden. Hat sich der Keil gelockert, wird die Fixierschraube endgültig gelöst. Durch das Abschrauben wird gleichzeitig das Keilgewinde, das sich durch die Hammerschläge deformiert haben könnte, nachgeschnitten. Der Keil sollte zur Seite gelegt und beim Zusammenbau des Kurbelantriebs in der gleichen Richtung wieder eingeschlagen werden. Dieser Aspekt ist deshalb so wichtig, weil es Keile mit unterschiedlichen Abschrägungen gibt. Achtet man nicht auf diesen Punkt, kann es passieren, dass die Kurbeln nach dem Zusammenbau nicht mehr im richtigen 180-Grad-Winkel zueinander stehen.



Tretkurbelbefestigung mit Keilen; die ausgebauten Keile sind auf Bild 8 bei (e) zu sehen.

Rohre sowie alle Ecken und Kanten gut erreichen. Ist diese Arbeit erledigt, muss der Rahmen nur noch von Staub und Fett befreit werden. Nimmt man hierfür Nitroverdünnung, sind diese Arbeiten wie auch die weiteren Lackierarbeiten im Freien mit einer Atemschutzmaske auszuführen.

Nach einer Grundierung – was besonders für die Haftung des Lacks auf blanken Metallteilen wichtig ist – kann der Rahmen mit der gewünschten Farbe überzogen werden. Ich habe zwei Schichten aufgetragen und die Farbe nach jedem Anstrich zwei Tage lang trocknen lassen.

Endmontage

Jetzt gilt es, unser Tandem auf die Beine, besser gesagt: auf die Räder zu stellen. Widmen wir uns zunächst der Gabel. Der Gabelkopf ist der am stärksten belastete Punkt eines Fahrrades. Hier wird das gesamte Fahrzeuggewicht



10 Die Hinterradbremse ist an ihrem angestammten Ort angebracht. Besser wäre es, wenn man die ursprünglich an der Versteifung vorgesehene Bremsplatte hätte nutzen können, damit der Bowdenzug linear verläuft.



11 Sehr breiter und stabiler Zweibeinständer, der auch als Montageständer dient und damit ein wesentliches Hilfsmittel bereits beim Aufbau des Tandems ist. Er verteuerte das Tandem zwar um 50 Euro, aber die Ausgabe lohnt sich.



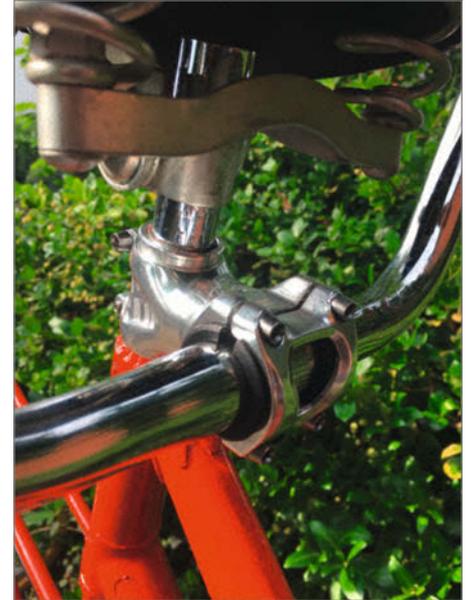
12 Lenkerhalterung mit langem Vorbau: An ihr wird nicht nur der hintere Lenker befestigt, sondern auch der vordere Sattel. Mit der linken Schelle wird die Halterung am angeschweißten Stutzen „festgeknallt“.



13 Lenkerhalterung für den hinteren Lenker, Variante 1



14 Variante 2: Klemmvorbau für den hinteren Lenker aus den 90er Jahren ...



15 ... und aktueller Klemmvorbau für den hinteren Lenker mit Distanzhülsen

abgestützt. Die Gabeln der ursprünglichen Damenfahräder mussten geringere Lasten tragen. Deshalb entschied ich mich der Sicherheit wegen für eine moderne ungefederte Gabel, wie sie im MTB- oder Trekkingbereich eingesetzt wird. Sie hat angelötete Sockel für eine Cantileverbremse, die der alten Seitenzugbremse bei weitem überlegen ist.

Die neue Gabel gibt es nicht fertig konfektioniert, sondern muss dem Fahrzeug angepasst werden. Ich nahm die alte Gabel mit, die der Fahrradhändler als Muster nahm. Als Serviceleistung presste er den Gabelkonus auf, längte den Gabelschaft passend ab und schnitt das Gewinde auf die notwendige Länge.

Die Gabel wird zusammen mit den gesäuberten und geschmierten Teilen aus dem alten Fahrrad eingebaut (7). Auch den Vorbau und den Lenker können wir vom alten Rad übernehmen oder ganz nach Geschmack neu wählen. Vorbau und Lenkerform legen die spätere Sitzhaltung fest und können nach individuellen Vorlieben für eine eher sportliche oder komfortable Fahrweise gewählt werden.

Greift man bei den Laufrädern auf gebrauchte Stücke zurück, sollten diese kritisch beäugt werden. Wir hatten uns auf der Suche nach alten Damenrädern auf 26-Zoll-Räder konzentriert. Dieses Maß ist eine alte Bezeichnung für den Durchmesser von Laufrädern. Neben modernen Bezeichnungen in Millimeter findet man sie häufig mit einem zweiten Maß, z.B. 26 x 1,75 Zoll, auf Reifen gedruckt. Der zweite Wert gibt dabei die Felgenbreite an. Es gibt schmalere Reifen, doch für das Tandem sollte man nicht darunter gehen. Als Faustformel gilt, dass ein Laufrad umso steifer ist, je kleiner sein Durchmesser und je größer

die Felgenbreite ist. Laufräder mit den Maßen 26 x 1,75 waren bei den Damentourenrädern früher sehr weit verbreitet.

Die Felgen sind entweder aus Stahl oder aus Aluminium gefertigt. Stahlfelgen haben eine gewisse Elastizität. Deshalb lassen sich mit Hilfe eines Nippelspanners und mit Fingerspitzengefühl leicht *Achten*, also seitliche Ausschläge, aus dem Laufrad entfernen. Allerdings ist die Bremswirkung von Felgenbremsen bei Stahlfelgen eher schlecht. Aluminiumfelgen haben bessere Bremseigenschaften. Allerdings ist Aluminium ein steifes Material. Ist die Felge erst einmal verbogen (Achter), so ist sie kaum noch zu retten.

Sowohl das Vorder- als auch das Hinterrad habe ich von den Ursprungsrädern übernom-

men. Das Hinterrad hat eine 3-Gang-Nabenschaltung mit Rücktrittbremse.

Um das Tandem weiter aufzubauen, stellte ich es auf einen besonders breiten Zweibeinständer (11). Der riss zwar ein Loch von 50 Euro ins Budget, aber inzwischen möchte ich diesen Ständer am Tandem nicht mehr missen. Das Fahrzeug steht selbst bei kleineren Unebenheiten stabil und lässt sich problemlos beladen. Darüber hinaus ersetzt er in gewissem Maße einen Zweiradmontagegeständer.

Hinterer Lenker

Der vordere Lenker wird wie bei einem üblichen Fahrrad angebracht. Die Montage des hinteren erfordert dagegen einige tandem-



16 Gesamtansicht des fertigen Tandems. Gut zu erkennen ist die durch ein ausgedientes Schaltwerk gespannte Synchronkette.



17 Zwei Kettenblätter werden übereinandergelegt und miteinander verschraubt.

spezifische Maßnahmen. Zwei Alternativen bieten sich an.

Variante 1: In das vordere Sattelrohr wird ein abgeschnittener Gabelschaft gesteckt und angeschweißt. Der Schaft ragt etwa 4cm aus dem Rohr heraus. Nehmen wir eine gewöhnliche Lenkerhalterung mit einem langen Vorbau, der nach unten weist 12, so kann an diese Halterung sowohl der vordere Sattel als auch der hintere Lenker befestigt werden. Hierzu wird das Rohr der Halterung so durch das Sattelgestell gefädelt, dass der Vorbau nach hinten schaut 13. Das Halterungsrohr wird in den Gabelschaft gesteckt und mittels einer Schelle ans hervorstehende Schaftende geradezu festgeknallt. An der Klemmung des Vorbaus lässt sich jeder Lenker mit passendem Klemmmaß befestigen.



18 Räumliche Ansicht der beiden Kettenblätter; vorne liegt hier die Antriebskette, in der hinteren Ebene die Synchronkette (Blick von rechts auf das Tandem).

Dies ist eine preiswerte Lösung, denn es kann auf gängiges Recyclingmaterial zurückgegriffen werden. Nachteilig ist jedoch, dass Sattel und Lenker miteinander fest verbunden sind. Lenkt der hintere Fahrer in Kurven unbewusst mit, so dreht sich mitunter der Sattel mitsamt Fahrer in die neue Fahrtrichtung.

Besser ist es, wenn Sattel und Lenker entkoppelt sind, wie bei *Variante 2*. Es gibt Aufsteckvorbauten, die zwei Klemmungen haben. Die eine fixiert den Vorbau auf den hervorstehenden Gabelschaftstutzen, die andere hält den Lenker fest. Bis in die 1990er Jahre waren die Gabelschaft- und Lenkerdurchmesser weitgehend standardisiert. Ich habe einen Lenkervorbau aus jener Zeit gefunden, mit dessen Hilfe ich das Lenkerproblem für den Sozius einfach lösen konnte 14. Leider ist dieses Objekt gegenwärtig vom Markt verschwunden. Zwar gibt es nach wie vor bauhähnliche Vorbauten, doch alle haben unterschiedliche Klemmmaße. Produkte mit den früheren Standardmaßen bekommt man kaum noch. Dennoch kann man sich mit Zwischenstücken behelfen, die die unterschiedlichen Durchmesser ausgleichen. Mein örtlicher Zweiradhändler hat nach intensiver Suche für mich die passenden Zwischenstücke gefunden 15.

Vergleicht man den Befestigungspunkt des vorderen Lenkers mit dem hinteren, so fällt auf, dass der vordere höher liegt 16. Auch lässt sich der vordere Lenker bequem in der Höhe durch Hineinschieben oder Herausziehen des Halterohres verändern. Der Befestigungsort des hinteren Lenkers dagegen ist fixiert. Die Griffhöhe lässt sich faktisch nur durch die Wahl der Lenkerform bestimmen; in meinem Fall wurde ein stärker gebogenes Exemplar montiert.

Antrieb

Der Antrieb eines Tandems besteht aus zwei Strängen. Die vordere Kette heißt *Synchronkette*; sie verbindet vorderes und hinteres Kettenblatt starr miteinander. Wichtig: Beide Kettenblätter müssen gleich groß sein. Nur dann treten beide Radler im Gleichtakt, eben synchron (und das müssen sie auch, sonst arbeiten sie unter Umständen gegeneinander). Die hintere Kette ist die *Antriebskette* und unterscheidet sich nicht von der eines gängigen Fahrrads.

Die erste Entscheidung ist, ob die beiden Ketten auf der gleichen oder getrennt auf verschiedenen Seiten laufen sollen, die Synchronkette links, die Antriebskette rechts. Gegen den einseitigen Verlauf spricht, dass die Antriebskraft beider Radler dabei einseitig wirkt und damit ein Biegemoment erzeugt. Aus physikalischen Gründen wäre deshalb eine Verteilung der Antriebskraft auf beide Seiten angebracht.

Dem stehen jedoch einige praktische Erwägungen entgegen. Bei den gängigen

*Thompson-Tretlager*garnituren sind in der Regel Kettenblatt und Welle fest miteinander verbunden. Damit sich die Lagerung durch das Treten nicht ständig löst, ist die Lagerverschraubung mit einem Linksgewinde ausgeführt. Das gleiche gilt für das linke Pedal. Würde die Synchronkette links geführt, müssten Achsen samt Pedale um 180 Grad gedreht werden. Dann besteht allerdings die Gefahr, dass beide Verschraubungen sich während der Fahrt durch die Drehbewegungen lösen. Auf dem Markt gibt es zwar spezielle Tretlagergarnituren, die genau das verhindern. Allerdings kosten sie mehrere hundert Euro. Die einseitige Kettenführung stellt deshalb eine deutlich preiswertere Alternative dar.

Ein weiteres Problem stellt die sich während des Gebrauchs dehnende Kette dar. Da beide Kettenblätter starr eingebaut sind, würde bei einer sich längenden Synchronkette die Gefahr bestehen, dass sie ständig abspringt. Diese Schwierigkeit habe ich mittels eines alten Schaltwerks beseitigt, das die Kette ständig strafft. Bei meinem ersten Tandem vor vierzig Jahren verwendete ich hierfür einen Mofa-Universalkettenspanner, den es heute noch ab 20 Euro auf dem Zubehörmarkt gibt.

Hochwertige Tandems sind mit einer Exzenter-Tretlagerbuchse ausgestattet. Bei dieser Lösung erspart man sich die Spannrollen, indem bei Bedarf die Kette nachgespannt wird. Allerdings kommt bei unserem Selbstbau-Tandem diese Technik nicht in Betracht, da sie insgesamt einen speziellen Tandemrahmen voraussetzt.

Sowohl Synchronkette als auch Antriebskette werden durch die hintere Kurbel gemeinsam angetrieben. Hierzu werden zwei Kettenblätter benötigt, die miteinander verschraubt werden. Zu diesem Zweck machte ich mich auf die Suche nach zwei identischen Kettenblättern mit bereits vorhandenen Bohrungen. Aus dem zweiten trennte ich den Zahnkranz samt Bohrungen so heraus, dass er auf dem ersten auflag und mit Schrauben verbunden werden konnte 17. Der Abstand zwischen den beiden Kettenblättern ist so groß, dass die beiden Ketten parallel nebeneinander laufen können, ohne sich zu berühren 18 (was, wie eingangs erwähnt, aber nur klappt, wenn keine Kettenschlösser benutzt werden). Der Abstand wird durch eine Verschraubung und ggf. durch Unterlegscheiben hergestellt.

Da mein Tandem mit einer 3-Gang-Nabenschaltung ausgerüstet ist, bleibt der Kettenverlauf stets gleich. Soll eine Kettenschaltung eingebaut werden, muss auf den freien Lauf der Antriebskette besonders geachtet werden.

Bremsen

Der Gesetzgeber sieht für ein Fahrrad zwei voneinander unabhängige Bremssysteme vor. Unser Tandem verfügt sogar über drei Brem-

sen: Eine Cantileverbremse an der Gabel **19**, eine Seitenzugbremse für das Hinterrad und eine Rücktrittbremse in der Hinterradnabe.

Unabhängig von der gesetzlichen Vorgabe sollte der Sicherheit wegen besonderes Augenmerk auf wirksame Bremsen gelegt werden. Schließlich gilt es, beim Tandem erhebliche Massen zum Stehen zu bringen.

Die beim Fahrrad gebräuchlichen mechanischen Bremsen arbeiten nach dem Hebelgesetz. Je länger der Kraftarm im Verhältnis zum Lastarm, desto größer ist die wirksame Kraft am Lastarm. Bauartbedingt brachten die lange Zeit gebräuchlichen Seitenzugfelgenbremsen – eine Version davon verwenden wir als Hinterradbremse –, nur bescheidene Bremskräfte auf die Felge. Bei der heute gängigen Cantileverbremse, die wir als Vorderradbremse verwenden, sind die Bremskräfte deutlich höher. Das liegt daran, dass der Kraftarm hier um ein vielfaches länger ist als der Lastarm.

Generell ist die Wirksamkeit einer Vorderradbremse deutlich höher als die einer Hinterradbremse, weil das Vorderrad beim Bremsen belastet und das Hinterrad entlastet wird. Bei einem Einzelfahrrad muss deshalb die Vorderradbremse gut dosiert eingesetzt werden, damit das Hinterrad nicht abhebt und der Fahrer über den Lenker fliegt. Das Tandem dagegen hat durch seine Länge einen langen Hebelarm, sodass diese Gefahr nicht besteht. Dennoch: Die Cantileverbremse vorne entwickelt eine immense Bremswirkung. Deshalb sollte sie nur wohl dosiert eingesetzt werden, um die Kontrolle über das Fahrzeug nicht zu verlieren. Dies gilt besonders in Kurven.

Bowdenzüge für Seitenzugbremsen sollten möglichst geradlinig verlegt sein, weil jeder Bogen Energie schluckt. Leider mussten wir bei unserem Tandem diesem Prinzip untreu werden, weil die eigentlich vorgesehene Bremsplatte für die Hinterradbremse auf den Versteifungs-Rundstahlrohren ungenau platziert war und wieder entfernt werden musste. Ein Blick auf Bild **16** macht aber deutlich, dass dort der einzige Ort gewesen wäre, um die hintere Bremse ohne unnötigen Bogen im Bowdenzug anzubringen.

Die Rücktrittbremse ist im Prinzip eine sehr wirksame Bremse, da an Stelle der Handkraft die höhere Beinkraft eingesetzt wird. Allerdings besteht aufgrund des großen Tandemgewichts und damit der großen abzubremsenden Masse die Gefahr, dass sich die Bremse überhitzt.

Deshalb braucht es beim Tandemfahren eine gewisse Übungsphase, nach der man gelernt hat, mit dem Fahrzeug und seinen besonderen Eigenschaften umzugehen. Dabei geht es auch um das Zusammenspiel der beiden Fahrer, besonders, wenn die Rücktrittbremse genutzt werden soll: Hier müssen wegen der starren Verbindungen der Tret-



19 Cantileverbremse an der Vorderradgabel

kurbeln über die Synchronkette beide gleichzeitig „in die Eisen steigen“.

Beleuchtung

Für die Beleuchtung bieten sich wie bei jedem Fahrrad drei Systeme an, der klassische Seitendynamo, das Vorderrad mit eingebautem Nabendynamo oder Aufsteckleuchten. Auch wenn die Aufsteckbeleuchtung praktisch ist, habe ich mich aus ästhetischen Gründen gegen sie entschieden. Besonders der vordere Scheinwerfer gibt dem Tandem ein Gesicht **19**. In Bezug auf die Beleuchtung besteht der einzige Unterschied zwischen Tandem und klassischem Fahrrad bei der Kabellänge zwischen vorderem und hinterem Scheinwerfer. Fahrradläden haben deshalb passende Leitungen eher nicht im Angebot; im Elektronikhandel bin ich dagegen fündig geworden.

Fazit

Natürlich, ein vollbesetztes Tandem ist schwerer als ein Einzelrad. Der Radstand ist länger. Zunächst erscheint das Fahren mit dem Tandem schwierig. Doch nach wenigen Übungsstunden ist die Unsicherheit verfliegen und pure Fahrfreude stellt sich ein.

Wie kaum ein anderes Fahrzeug stellt ein Tandem ein einzigartiges Gemeinschaftserlebnis her. Das beginnt bereits beim Bau und der Materialbeschaffung, die man im Team durchführen kann, setzt sich bei der arbeitsteiligen Konstruktion fort: Der eine hilft beim Schweißen, der andere bei der Montage oder der Elektrik ... Und das Gemeinschaftsgefühl steigert sich beim anschließenden Fahren noch mehr, weil es über gemeinsam verabredete Kommandos vor der Kurve, scharfem Bremsen oder Gangwechsel ein komplett anderes und intimes Fahrgefühl beschert. Nicht zuletzt ist unser Tandemprojekt auch ein Zeichen gegen die Wegwerfgesellschaft: Selbst ausgemusterte Fahrräder sind Material, aus dem sich etwas Neues schaffen lässt. —pek

Verteidigen Sie Ihre Privatsphäre!



Heft + PDF mit 29% Rabatt

- ▶ E-Mails und Telefone absichern
- ▶ Welche Messenger verschlüsseln wirksam
- ▶ Welche Angriffe bedrohen Ihre Privatsphäre on- und offline
- ▶ Passwörter für alle Systeme sicher verwalten
- ▶ Für Abonnenten portofrei
- ▶ Auch im Set mit Reiner SCT Authenticator zum Sonderpreis

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 €
Bundle Heft + PDF 19,90 €

shop.heise.de/ct-datenschuetzen

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 €. Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

Flexibles Arbeitslicht

von Hermann Dengler

Geignetes und ausreichendes Licht an Werkzeugmaschinen bringt deutlich bessere Arbeitsergebnisse. Nicht alle Maschinen sind mit einer Beleuchtung ausgestattet, die den Werkzeugeinsatz optimal ausleuchten. Mit einfachen und preisgünstigen Mitteln habe ich deshalb alle meine Werkzeugmaschinen mit einer flexiblen Arbeitsleuchte ausgerüstet.

Dazu benutze ich als Lichtquelle eine IKEA-USB-LED-Leuchte **1** sowie eine stabförmige Powerbank **2**. Powerbank und angeschlossene USB-LED werden mittels zwei Klettverschluss-Pads an die jeweils optimale Stelle zum Ausleuchten des Arbeitsbereiches angebracht **3**. Die Klettverschluss-Gegenseite bleibt an den Maschinen bzw. Werkzeugen angeklebt **4**, sodass ich mit einem Arbeitslicht auskomme, welches je nach Bedarf *angeklettet* wird. Bei manchen Maschinen ist es sinnvoll, mehrere Stellen mit Klettverschluss-Pads auszurüsten.

Ich habe auf diese Weise Drehbank, Fräsmaschine **5**, Dekupiersäge **3 4** und die CNC-Fräse ausgestattet. Die Dekupiersäge zum Beispiel trägt Klettverschluss-Pads nicht nur seitlich am Gehäuse, sondern auch oben auf dem Arm.

—pek



Qualitätssicherung bei der Frontend-Entwicklung

23. November, 30. November und 7. Dezember 2021

An den drei Tagen der Online-Konferenz steht jeweils ein zentraler Aspekt der Qualitätssicherung bei der Frontend-Entwicklung im Vordergrund: **Accessibility, Performance und Testing**. Praxisnahe Vorträge helfen Entwicklern, aktuelle Herausforderungen in diesen drei wichtigen Feldern zu meistern.

Einige Highlights:

- > **23. November:**
Accessibility bei Web Components
// Manuel Mauky
- > **30. November:**
Wie wird meine React Applikation noch schneller?
// Sebastian Springer
- > **7. Dezember:**
Testsuite in bestehender Frontend App nachrüsten
// Mirjam Aulbach

Jetzt
Kombi-Rabatt
sichern

Mehr erfahren: www.ctwebdev.de

```
15 $( '.input
16 $(@).p
17 .focus
18 if $(@
19 $(@)
20
21 $( '.input
22 if $(t
23 $(t
24 return
25 $.find
26 place
27 onShow
28 plac
29
30
31 #default m
32 window.def
33 $modal =
34 $modal.f
35 $modal.f
36 $modal.a
37 close0
38 if redir
39 $( '.de
40 loca
41
```

ine 37, Column

Heavy Metal light – Aluminium selbst gießen

Manchmal muss es einfach Metall sein. Plastik ist zu weich, nicht temperaturstabil genug oder die ungewöhnliche Bauteilform ist nicht fertig im Handel erhältlich. Bis Metall-3D-Druck makertauglich ist, kann die bewährte Methode des Metallgießens die Alternative sein. Am Beispiel von Aluminium zeigen wir die Vorgehensweise.

von Thomas Gamisch



Metallussteile nach Bedarf selbst herzustellen, hört sich zunächst etwas weit hergeholt an. Zugegeben, der Prozess ist arbeitsintensiv und eher etwas für erfahrene Maker. Wer aber die Zeit mitbringt, sich diesem Thema zu stellen, wird auch im Hobby-Bereich mit durchaus zufriedenstellenden Ergebnissen belohnt.

Beim Schwerkraftgießen wird mit Hilfe eines Urmodells eine zweiteilige Negativform, also ein hohles Abbild, hergestellt. In dieses wird flüssiges Metall eingegossen, das der Schwerkraft folgend in die Form fließt. Die Form wird oft aus Formsand hergestellt. Nach dem Erkalten wird der darin gegossene Rohling durch Zerstören der Sandform entnommen, von Zulaufkanälen, Speisern, Graten und Ähnlichem befreit und dann in der Regel nachbearbeitet (Feilen, Sägen, Fräsen, Drehen, etc.). Was sich erst mal einfach anhört, entpuppt sich in der Praxis als einigermaßen komplexes Verfahren.

Der Schmelzofen

Das zentrale Werkzeug beim Metallgießen ist der Schmelzofen. Der Fachhandel bietet eine breite Palette an professionellen Schmelzöfen für unterschiedliche Temperaturen und Einsatzzwecke an. Die Preise liegen mit ca. 300 Euro aufwärts für Hobbygießer relativ hoch, rechtfertigen sich jedoch mit dem eher professionellen Anspruch an die Öfen. Für Gelegenheitsgießer und für Metalle mit relativ niedrigen Schmelztemperaturen, etwa Aluminium oder Zinn (siehe auch S. 6), geht es aber auch günstiger, insbesondere, wenn einiges an benötigter Ausrüstung bereits vorhanden ist, wie zum Beispiel ein gasbetriebener Hartlötbrenner. Nachfolgend bauen wir einen handelsüblichen Grillkamin (Kohle-Anzündkamin) zum Schmelzofen um.

Neben dem Grillkamin **1** brauchen wir einen passenden Schmelztiegel aus Siliziumkarbid sowie Isolationsmaterial. Schmelztiegel gibt es in unterschiedlichen Größen im Onlinehandel. Gut geeignet ist beispielsweise ein becherförmiger 4kg-Siliziumkarbid-Schmelztiegel **2**. Die Gewichtsangabe bezieht sich übrigens auf das Fassungsvermögen von Kupferschmelze.

Das für unsere Zwecke am besten geeignete Isolationsmaterial ist Vermiculit. Dies ist ein hochwertiger, temperaturbeständiger Isolator. Das Material ist weich und zum Bearbeiten genügen Holzverarbeitungswerkzeuge. Obendrein ist Vermiculit ungiftig, frei von Ausdünstungen und asbestfrei. Platten dieses Materials erhält man in unterschiedlichen Stärken und Abmessungen in der Ofenabteilung jedes besseren Baumarkts oder natürlich im Onlinehandel.

Die senkrechte Wand des Grillkamins wird, wie in **1** gezeigt, innen mit Vermiculit-

Kurzinfo

- » Aluminium-Metallguss mit Maker-Mitteln
- » Rohlingerstellung und Formenbau
- » Aluminium schmelzen, gießen und das Werkstück nachbearbeiten

Checkliste



Zeitaufwand:
ca. 10 Stunden



Kosten:
ab 200 Euro

Mehr zum Thema

- » Matthias Mett, 3D-Entwurf mit FreeCAD, Make 1/21, S. 128
- » Matthias Mett, Ring frei für FreeCAD, Make 2/20, S. 114
- » Christian Schöring, CNC-Styroporschneider, c't hacks 4/13, S. 70

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/x4mx

Material

- » Grillanzündkamin (etwa 16cm Durchmesser, je nach Tiegel)
- » Tiegel aus Siliziumkarbid
- » Vermiculit Isolierung 30 x 50 x 2cm und 30 x 50 x 3cm
- » Formsand
- » Talkumpuder
- » Propangas 5kg Flasche
- » Holzbretter für Formkästen

Werkzeug

- » Hartlöt-Propanbrenner
- » Holzwerkzeug Säge, Bohrer, ...
- » Rohrzange, Tiegelzange
- » Palettenmesser
- » Edelstahlküchensieb
- » Persönliche Schutzausrüstung



Vorsicht

Beim Metallgießen setzt man sich nicht unerheblichen gesundheitlichen Risiken aus. Insbesondere der Umgang mit flüssigem Metall ist extrem gefährlich. Jeder noch so kurzzeitige Kontakt verursacht schwerste Verbrennungen. Brennbar Materialien werden bei Kontakt mit flüssigem Metall innerhalb kürzester Zeit in Brand gesetzt. Weitere Gefahrenquellen sind giftige Dämpfe und Hitzestrahlung. Bei Gießereiarbeiten ist größtmögliche Sorgfalt und Umsicht sowie eine geeignete persönliche Schutzausrüstung absolute Pflicht. Einzelheiten hierzu finden sich online unter dem Suchbegriff „Metallgießen Schutzausrüstung“ (Links in Kurzinfo).

Zu den grundsätzlichen Schutzvorkehrungen beim Metallgießen zählen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- » Arbeiten im Freien auf nicht brennbarem Untergrund wie Stein oder Beton

- » Umgebung frei von leicht brennbaren Gegenständen
- » kontrollierte Umgebung: keine Kinder, Besucher, Schaulustige, etc. (wenn, dann nur mit ausreichend Abstand und/oder Schutzausrüstung)
- » Tragen der persönlichen Schutzausrüstung, mindestens:
- » schwer entflammbare Baumwollkleidung (keine Synthetik)
- » Gießereistiefel oder dicke Lederschuhe (z. B. schwere Bergschuhe), Leder-gamaschen
- » Leder-Schweißerschürze
- » dicke Leder-Schweißerschutzhandschuhe mit langen Stulpen
- » Gesichtsschutz aus Plexiglas
- » Pulver-Feuerlöscher griffbereit – Wasser ist ungeeignet, wegen Dampfexplosionsgefahr



Streifen isoliert, die wir aus einer Platte zurechtschneiden. Die Längsseiten der Streifen kann man noch etwas anschrägen (Gewölbeprinzip), sodass sie beim Einfügen in den Grillkamin bündig abschließen. Alternativ wird die Isolierung innen mit Blech, zum Beispiel einem Stück Ofenrohr, ausgekleidet, damit die Isolierstreifen nicht nach innen fallen können. Eine Wandstärke von ca. zwei Zentimetern ist als Dämmschicht vollkommen ausreichend.

Der Grillkamin sollte einen genügend großen Durchmesser haben, sodass der Schmelztiegel innerhalb der Isolierung noch einen Luftspalt von einigen Millimetern nach jeder Seite hat. Hier strömen später die heißen Gase des Brenners vorbei und erhitzen den Tiegel. Die Tiegelgröße, Grillkamingröße und Stärke der Isolierung müssen also von Durchmesser

und Höhe zueinander passen. Der oben erwähnte 4kg-Tiegel hat einen Durchmesser von ca. 11 Zentimetern und eine Höhe von etwa 13 Zentimetern. Bei 2 Zentimetern Isolierung ergeben sich dann 16cm als idealer Grillkamin-durchmesser.

Unten im Grillkamin legen wir drei eingekeberte Klötze aus Vermiculit ein, auf welchen der Tiegel punktförmig aufliegt **3**. Die Höhe der Klötze wird so gewählt, dass der Tiegel oben mit dem Grillkamin etwa bündig ist. Je nachdem, welche Art von Zange man zum Greifen des Tiegels verwenden will, muss man die Konstruktion hier etwas anpassen. Klassische Tiegelzangen umfassen den Tiegel von der Seite. Daher ergibt es in diesem Fall Sinn, den Tiegel oben etwas überstehen zu lassen. Es gibt auch Zangen, die von oben am Tiegel vorbei in den Ofen eingeführt werden. In

diesem Fall ist ein größerer Abstand zwischen Tiegel und Isolierung notwendig.

Im hier verwendeten Ofen kommt eine Gasrohrzange zum Einsatz. Daher kann der Tiegel mit der Grillkaminoberkante bündig sein und es ist nur eine kleine Aussparung an der Seite zum Greifen vorgesehen **4**. Das funktioniert für kleinere Schmelztiegel ganz gut. In meinem Fall passten die ca. 20cm zwischen dem im Grillkamin befindlichen Gitter und der Oberkante ideal, ansonsten passt man die Höhe der Auflageklötze entsprechend an. Oben auf den Schmelztiegel kommt noch ein Deckel aus Vermiculit, der die Hitze im Gefäß hält, während die Heizgase außen vorbeiströmen können **5**.

Als Brenner eignet sich ein handelsüblicher Hartlötbrenner mit Anschluss an eine Propan-gas-Flasche. Diese Brenner haben üblicherweise eine gewinkelte Düse. Daher ist eine Unter-konstruktion aus Vermiculit für den Grillkamin nötig. Diese dient auch als Brennerhalterung und Isolation nach unten **6**. Die Brennerflamme sollte mittig nach oben strahlend unter dem Grillkamin positioniert werden.

Wie man auch erkennen kann, werden mit dieser Anordnung relativ hohe Temperaturen von bis zu 1000°C erreicht: Die Messing-Düse des Brenners ist von vorangegangenen Experimenten bereits leicht angeschmolzen. **7** zeigt eine Querschnittsskizze der Gesamtanordnung. Für ein gutes Gelingen ist die Dimensionierung der Luft-Strömungskanäle im Verhältnis zur Brennerleistung mit entscheidend. Sie müssen groß genug sein, um eine Kaminwirkung zu erzielen, damit sich die Hitze unten nicht zu sehr staut und die Düse nicht anschmilzt, wie bei mir geschehen. Das erkennt man daran, dass aus den unteren, seitlichen Belüftungsöffnungen des Grillkamins Flammen austreten. Bei zu großen Kanälen





andererseits strömt zu viel kalte Luft durch den Kamin und der Tiegel wird nur ineffizient geheizt. Im hier verwendeten Aufbau hat sich ein Abstand von ca. 3mm zwischen Tiegelfwand und Isolierung bewährt. Die Feinregulierung des Luftstroms erfolgt über das Drosselventil des Brenners.

Tiegel-Handling

Ein Abstellen des heißen Schmelztiegels auf kalten oder gar feuchten Untergründen ist unbedingt zu vermeiden, da der Temperaturschock den Tiegel bersten lassen könnte. Am besten, man nutzt Vermiculit-Platten als Unterlage.

Schmelztiegel unterliegen einer Abnutzung und sollten daher vor Gebrauch immer auf ausreichende Materialstärke und Risse kontrolliert werden. Es gibt Hersteller, die empfehlen, einen Tiegel nach 10 bis 15 Schmelzeinsätzen auszutauschen. Ein Tiegelbruch mit umher spritzender Metallschmelze kann fatale Folgen haben.

Um einen rot glühenden Schmelztiegel sicher zu bewegen, bedarf es geeigneter

Werkzeuge. Der Fachhandel bietet hierfür spezielle Schmelztiegelzangen. Zur Not genügt bei kleinen Tiegeln auch eine alte Kombi- oder Gasrohrzange, mit der man den Tiegelfrand vorsichtig von oben fasst.

Für den eigentlichen Gießvorgang setze ich den Tiegel nach der Entnahme aus dem Ofen in einen selbst geschweißten Ausgießhalter **8**. Der Metallring verklemmt sich mit dem Tiegel. Eine zusätzliche Metallklammer verhindert, dass sich das Gefäß beim Ausgießen selbstständig macht. Dies hält den Tiegel sicher in Position und mit den beiden Stangen lässt sich der Tiegel bequem zum Ausgießen drehen.

Rohmaterial

Als Rohmaterial zum Einschmelzen eignet sich so ziemlich alles, was aus Aluminium besteht:

Dreh- und Bohrspäne, leere Getränkedosen, Reste von Aluprofilen, Kühlkörper bis hin zu alten Alu-Gussteilen, wie zum Beispiel Brat-

Ein Breadboard ist für Sie kein Schneidebrett?

Dann sind Sie bereit für den Einstieg in die Elektronik!

Exklusiv
im heise shop!



NEU

Make Elektronik Special

Make Elektronik Special bietet einen einfachen und praxisorientierten Einstieg in Transistorschaltungen, die Maker in eigenen Projekten einsetzen können. Das mitgelieferte Experimentierset inkl. Breadboard, Kabeln und 45 Elektronikbauteilen enthält alles, um die gezeigten Schaltungen sofort nachbauen und testen zu können. Dabei machen die speziellen Adapterplatinen den Aufbau zum Kinderspiel. Jede Menge Projekte zum Nachbauen sind ebenfalls dabei. Also – sofort loslegen!

shop.heise.de/make-elektronik21

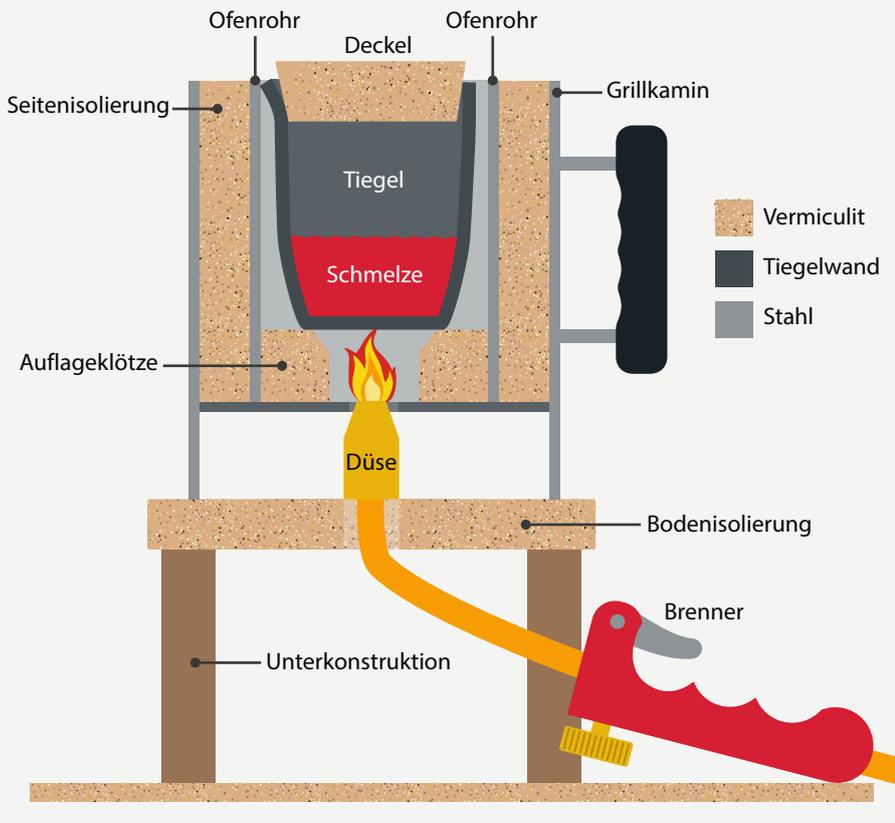
Heft + Experimentierset für nur
44,95 €

heise Shop

shop.heise.de/make-elektronik21

Schematischer Aufbau des Schmelzofens 7

Diese Schnittzeichnung verdeutlicht den Aufbau des Schmelzofens und die Lage der einzelnen Komponenten.



fertige Aluminiumbarren zurückgreifen, die in allen Variationen auf eBay und Co. sowie im Metallfachhandel angeboten werden. Aber Achtung: Einige Angebote bestehen aus hochreinem Aluminium ohne Zuschläge und die Barren sind entsprechend teuer. Dabei eignet sich reines Aluminium weniger gut zum Gießen. Eine häufig für Gussteile verwendete Legierung ist AlSi9Cu3 mit 9% Silizium- und 3% Kupferanteil.

Formen herstellen

pfannen. Hier hat man es mit einer Fülle von Alu-Legierungen zu tun, die auf den jeweiligen Anwendungsfall optimiert sind: Stabilität, Zähigkeit, Temperatur- oder Korrosionsbeständigkeit, Zerspanbarkeit, Anodisierbarkeit, Preis und weitere Eigenschaften wurden bei der Herstellung des Materials in das gewünschte Verhältnis gesetzt. Erreicht wird dies durch Zugabe von Zuschlagstoffen oder Legierungsmetallen wie Kupfer. Die gute Nachricht ist: Praktisch jede Legierung lässt sich mit

anderen Sorten mischen und wieder einschmelzen. Für Hobbyanwendungen ist die Qualität des so recycelten Materials allemal ausreichend.

Wer Wert auf besonders hochwertiges Rohmaterial legt, verwendet alte Auto-Alufelgen. Werkstätten geben diese oft kostenlos ab, um Entsorgungskosten zu sparen. Die Herausforderung dabei besteht im Zerteilen der Felge in schmelzbare Stücke. Die Felgen besitzen oft eine hohe innere Spannung, was das Zersägen gefährlich machen kann.

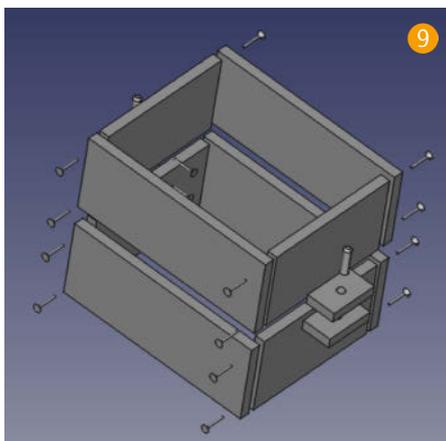
Viele Alu-Bauteile wie Dosen, Bratpfannen oder Felgen, sind lackiert, eloxiert oder anderweitig beschichtet. Den Schmelzvorgang stört das in der Regel nicht. Die Fremdstoffe verbrennen beim Erhitzen. Eloxate und die praktisch immer vorhandene Oxidschicht auf dem Aluminium sind kein Problem. Sie werden zu Schlacke, die auf der Schmelze schwimmt und abgeschöpft werden kann. Je nach Beschichtung, zum Beispiel bei Lacken, können aber Rauch und giftige Dämpfe freigesetzt werden. Daher sollten problematische Beschichtungen vor dem Einschmelzen mechanisch oder chemisch entfernt werden.

Wer keine Möglichkeit hat, Beschichtungen sachgerecht zu entfernen, kann auch auf

Werkzeug- und Formenbau ist ein eigener, äußerst interessanter und vielseitiger Beruf (Links in Kurzinfo). Experten verfügen neben der speziellen Ausbildung auch über jahrelange praktische Erfahrungen und das meist fokussiert auf ein ganz bestimmtes Teilgebiet. Alle Formbauverfahren und Möglichkeiten auch nur ansatzweise zu umreißen, würde den Rahmen dieses Artikels sprengen. Wir beschränken uns daher an dieser Stelle auf ein klassisches, in der Praxis bewährtes Verfahren, das nicht zu viel Know-how voraussetzt und Raum für Experimente lässt.

Aus einem 3D-gedruckten Positiv-Urmodell werden wir eine Negativ-Form aus Formsand herstellen, welche dann mit Aluminium gefüllt wird. Das Verfahren schränkt die Formgebung des Urmodells bereits etwas ein, da es entformbar, also aus der Sandformhälfte herausziehbar sein muss. Hinterschneidungen sind so nicht möglich. Es muss immer eine Ebene geben, an der die Sandform zerstörungsfrei geteilt werden kann. Mit Varianten dieses Verfahrens lassen sich allerdings auch hohle Teile herstellen, zum Beispiel Ansaugkrümmen.

Haben Sie die Möglichkeit, das Urmodell aus Styropor oder Hartschaum zu fertigen



(CNC-Fräse), entfällt das Entfernen aus der Sandform komplett. Diese Stoffe verbleiben stattdessen in der Form und verdampfen beim Übergießen mit Metallschmelze. Für komplexere Formen gibt es natürlich noch viele weitere Tricks und Verfahren, die aber hier zu weit führen würden.

Formsand

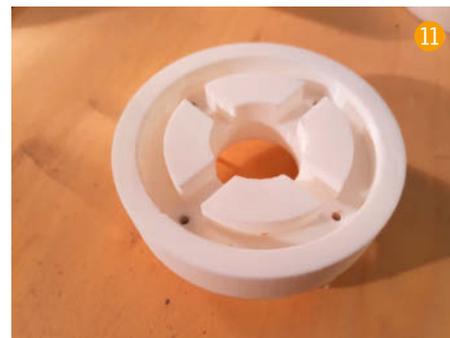
Im Rahmen dieser Anleitung verwenden wir roten Formsand. Das ist feiner Quarzsand, der mit Öl und anderen Zuschlägen gebunden ist. Um es gleich vorweg zu nehmen: Formsand selber zu mischen, lohnt sich in Anbetracht von Arbeitsaufwand und benötigtem Spezialwissen nicht. Es ist besser, die ca. drei Euro pro Kilo zu investieren und fertig gemischten Formsand zu kaufen. Dringend abzuraten ist von der Verwendung von Gips oder ähnlichem, da hier die Gefahr einer verheerenden Dampfexplosion durch Restfeuchte besteht!

Formsand hat eine mehlig Konsistenz, klebt nicht, klumpt aber bei Druck zusammen und verhält sich dann eher wie Knete. Obendrein ist er temperaturbeständig und reagiert nicht mit dem flüssigen Aluminium. Dort wo der Formsand beim Gießvorgang mit dem heißen Metall in Berührung kommt, verbrennt eine dünne Sandschicht. Diese Reste muss man nach dem Entformen des Gussteils entsorgen. Der überwiegende Teil des Formsands kann aber wiederverwendet werden.



Formkasten

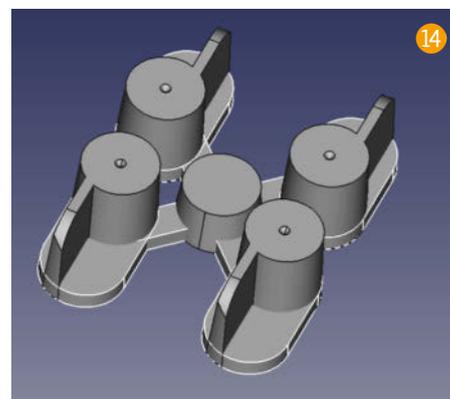
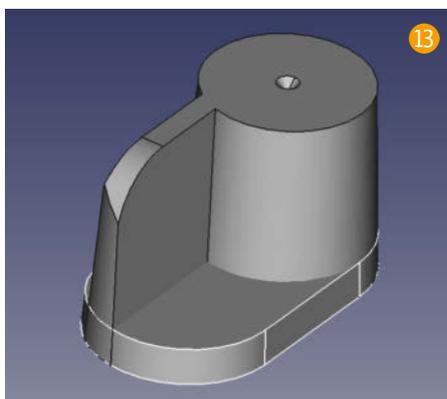
Für die Negativform benötigen wir einen zweiteiligen Formkasten, welcher groß genug sein muss, um das Urmodell, ergänzt um die Guss- und Luftkanäle (Speiser, Steiger, s. u.), aufzunehmen. Der Formkasten besteht aus zwei gleich großen Rahmenteilen mit Führungen zum passgenauen Zusammenfügen der beiden Hälften. Professionelle Formkästen bestehen aus dickem Metall, für die gelegentliche Verwendung tun es aber auch Rahmen aus Holz mit Holzdübeln als Führung. In Abbildung 9 sehen Sie eine Skizze aus FreeCAD. Das geht gut, solange man immer ein paar Zentimeter Sand zwischen Rahmen und Rohling belässt. Ansonsten könnte das flüssige Metall den Formkasten in Brand setzen. Vorteil: Man kann schnell mehrere Rahmen in unter-

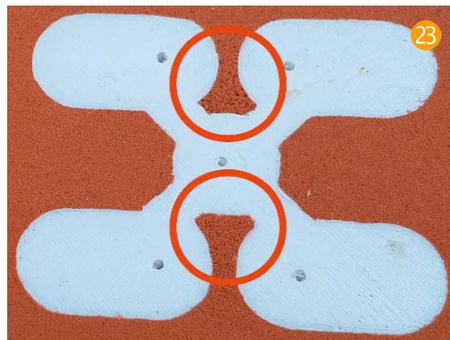


schiedlichen Größen bauen, wodurch auch bei Gussteilen mit stark unterschiedlichen Abmessungen nicht unnötig viel Formsand benötigt wird.

Das Urmodell

Das Positiv-Urmodell kann man im 3D-Druck herstellen oder auch aus Balsaholz, Hartschaum oder ähnlichem Material klassisch per Hand oder CNC-Fräse fertigen. Allerdings reicht es nicht, einfach ein maßgenaues Abbild des späteren Werkstücks zu erstellen. Wie bereits erwähnt, muss das Urmodell entformbar sein. Dies wird erreicht, indem alle Flächen, die parallel zur späteren Entnahmerichtung des Urmodells liegen, angeschrägt, genauer gesagt mindestens mit einem 3°-Konuswinkel versehen werden. Ein sauberes Verschleifen





oder Glätten der Layer eines 3D-Drucks an solchen Flächen erleichtert das spätere Entformen enorm, ist aber auch zeitaufwendig und nicht immer zwingend notwendig. Das Einpudern des Modells mit Talkum tut ein Übriges.

Wenn der Konus stört, weil man zum Beispiel einen exakten 90° Winkel braucht, müssen die Flächen auf der Fräse oder Drehbank nachbearbeitet werden. Dafür benötigt der Guss-Rohling dann ein entsprechendes Materialpolster. Durch die Wärmeausdehnung

schwindet das Aluminium beim Abkühlen je nach Legierung ohnehin um etwa 0,5 %, was man bei der Urmodellerstellung ebenfalls mit einrechnen muss.

Der Formsand neigt besonders bei Bohrungen dazu, sich beim Entformen nur ungern vom Urmodell zu lösen und eher daran klebenzubleiben. Für solche Fälle gibt es zwei Alternativen: Entweder man erstellt die Bohrungen erst bei der Nachbearbeitung und spart an den betreffenden Stellen auf dem Modell nur einen kleinen Körnerkegel aus.

Oder man drückt sich einen Ausziehstempel, in welchen das Urmodell hineingezogen wird. Dieser ist gewissermaßen ein Negativabbild der Urformgrundfläche. Dabei hält der Stempel die an das Urmodell angrenzenden Sandflächen niedergedrückt, um ein Ausreißen der Ränder beim Entformen zu verhindern. Das Urmodell der Antriebsrolle in 10 besteht aus zwei Hälften, die an der Trennebene mit Holzdübeln passgenau verbunden werden. Zum Entformen wurde der Stempel aus 11 über die in den Sand eingebettete Formhälfte gestülpt



und die Form dann mithilfe von Schrauben in den Stempel hineingezogen. Dadurch bleiben die inneren Strukturen der Rolle sauber in der Sandform.

Neben dem hohlen Abbild des Urmodells erhält die Sandform noch Aussparungen für einen Einfülltrichter, horizontale Zuleitungskanäle (Runner) sowie Speiser (auch als Raiser oder Steiger bezeichnet, siehe Links). Speiser sind vertikale Materialreservoirs, die mehrere Funktionen erfüllen. Zum einen liefern sie während des Erstarrungsprozesses Nachschub an flüssigem Material in die Form, um ein Schwinden (Lunkern) zu verhindern. Zum anderen enden Speiser ein Stück unterhalb der Zuleitungskanäle. Verschmutzungen mit höherer Dichte als die Schmelze sinken dadurch im Speiserschacht nach unten und gelangen nicht in das Gussteil. Entlüftungsöffnungen sorgen dafür, dass das eingegossene Metall die in der Form befindliche Luft verdrängen kann und sich keine Blasen bilden. Mehr dazu gleich im praktischen Teil.

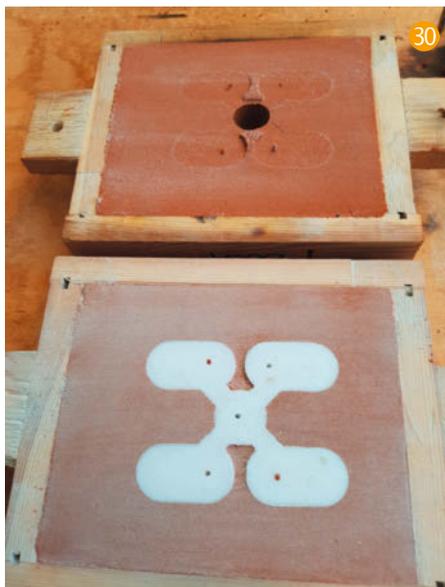
Ersatzteil für Campingstuhl gießen

Die Plastikführungen eines in die Jahre gekommenen Camping-Klappstuhls sind spröde geworden und brechen bereits bei geringen Belastungen ¹². Um den Stuhl zu retten, sollen diese nun aus Alu nachgefertigt werden. Es werden vier gleiche Teile benötigt.

Als Erstes modellieren wir das Urmodell, zum Beispiel in FreeCAD, mit extrudierter Grundriss-Skizze und 3° Außenkonus. Arbeiten mit FreeCAD war bereits Gegenstand mehrerer Make-Artikel und es gibt jede Menge YouTube-Tutorials. Daher geht dieser Artikel dazu nicht ins Detail.

Für die große vertikale Bohrung des Originalteils sehen wir nur einen Körnerkegel vor, an dem später die Bohrung exakt angesetzt werden kann. Das Bauteil enthält zusätzlich noch eine kleine, horizontale Bohrung im Ausleger. Um das Urmodell entformen zu können, verzichten wir darauf, diese Bohrung per Körnerkegel zu markieren und reißen sie erst bei der Nachbearbeitung an. ¹³ zeigt das fertige Modell aus FreeCAD.

Wir klonen das Urmodell-Objekt dreimal und fügen Zuleitungskanäle sowie einen Teil des späteren Speisers (der Zylinder in der Mitte) hinzu ¹⁴. Auch alle diese Elemente werden mit einem Außenkonus versehen. Diese Versorgungskomponenten müssen übrigens nicht unbedingt mit gedruckt werden. Alternativ kann man sie auch z.B. aus Balsaholz fertigen und zusammen mit dem Urmodell direkt in der Sandform anordnen. Da in diesem speziellen Fall vier gleiche Teile benötigt werden, hat sich jedoch das Drucken geradezu angeboten. ¹⁵ zeigt das fertige Ergebnis im Vergleich zum Originalteil. Die Maße wurden



aufgrund der höheren Festigkeit von Aluminium bewusst leicht angepasst.

In das Positiv-Urmodell werden an verschiedenen Stellen von Hand kleine Löcher gebohrt. In diese werden später beim Entformen Schrauben eingedreht ¹⁶, um so das Urmodell leichter aus der Form ziehen zu können.

Nun geht es an die Herstellung der Sandform. Dazu wird die untere Hälfte des Formkastens kopfüber auf eine ebene Unterlage gestellt und das Urmodell – ebenfalls kopfüber – in die Mitte gelegt ¹⁷.

Nun wird die untere Formkastenhälfte mit Formsand gefüllt. Um eine möglichst detailgetreue Abbildung zu erreichen, presst man den Formsand mit einem Stößel durch ein Sieb und lässt ihn über die Positivform rieseln ¹⁸.

Bereiche, die keinen Kontakt zum späteren Werkstück haben, wie zum Beispiel die Ecken, kann man auch mit gröberem, ungesiebt Klumpen füllen ¹⁹.

Nun wird der eingefüllte Sand mit einem Holzstößel verfestigt ²⁰. Durch das Herausdrücken der Luft erhält er eine knetmassenartige Konsistenz und schmiegt sich auch in kleinste Konturen. Die innen in den Formkasten eingedrehten Schrauben sorgen für einen besseren Halt des Sandes im Formkasten, sind aber nicht unbedingt notwendig.

Die Prozedur wird wiederholt, bis die gesamte Formkastenmitte mit verfestigtem Sand gefüllt ist ²¹.

Überstände werden mit einer geraden Leiste abgeschabt ²². Am besten geht das durch vorsichtiges Hin- und Herrutschen der Abziehleiste auf dem Formkasten.

Die vollständig abgezogene Formkastenmitte wird nun umgedreht ²³. An den markierten Stellen wurde der Formsand unzureichend verfestigt. Man erkennt Luftpockets. Solche Stellen neigen später zum Ausbrechen.





35

Daher ist sorgfältiges Verfestigen essenziell. In unserem Fall kann dies aber noch über die zweite Formkastenhälfte korrigiert werden.

Damit die beiden Formhälften später leicht trennbar sind, wird die Oberseite der unteren Formkastenhälfte mit Talkum-Puder bestrichen (24). Dabei wird das Talkum aufgestreut und dann mit einem weichen Pinsel gleichmäßig verteilt. Wer kein Talkum auftreiben kann, behilft sich mit Babypuder.

Als Nächstes wird die zweite Formkastenhälfte sowie das Oberteil des Speisers aufgesetzt (25). Letzteres ist einfach ein Rundholz, welches nach unten leicht konisch geschliffen ist. Das Speiseroberteil muss oben ein gutes Stück aus dem Formkasten ragen.

Es folgen die gleichen Arbeitsgänge wie beim Füllen des Unterteils. Auch hier sollte für alle Kontaktflächen zum Urmodell und zur Formkastentrennebene gesiebter Sand verwendet werden (26).

Am Ende ist der gesamte Formkasten mit verfestigtem Sand gefüllt. Wie beim Unterteil werden Überstände mit einer Leiste abgezogen. Dabei spart man nur das herausragende Rundholz aus (27).

Nun wird ein Einlauftrichter um den Speiser modelliert (28). Dazu eignet sich ein feiner Spachtel aus der Ölmalerei (Palettenmesser, Farbmesser) sehr gut.

Jetzt kann man das Rundholz durch vorsichtiges Rütteln und Drehen etwas lockern und dann nach oben herausziehen. Losen Sand glättet und verfestigt man mit den Fingern (29).

Die obere Formkastenhälfte kann nun abgenommen und umgedreht werden. Es ist gut erkennbar (30), wie sich die nicht ausreichend verdichteten Problemzonen beim Verdichten der oberen Hälfte in die untere Hälfte eingedrückt haben, sodass die Formkanten jetzt weitgehend stabil sein sollten.

Nun beginnt der heikelste Schritt: das Herausziehen des Urmodells. Zuerst dreht man vorsichtig mit der Hand Schrauben in die zuvor gebohrten Löcher und zieht sie handfest an. Dann klopft man sachte mit einem Schraubenzieher-Kopf oder Ähnlichem auf die Schraubenköpfe, um den Rohling zu lockern. Schließlich zieht man das Urmodell langsam gerade nach oben heraus. Je nach Qualität der Glättungsarbeiten an dem Modell (Grate, 3D-Druckrillen, etc.) gelingt dies mehr oder weniger gut. Manchmal reißen Teile der Kanten aus, wie in (31) zu sehen. Diese lassen sich mit dem Spachtel wieder befestigen, solange die Urformform noch im Sand steckt. Für filigrane Formen bietet sich der Einsatz eines Ausziehstempels an.

Nach dem Entformen sieht die untere Formkastenhälfte wie in (32) gezeigt aus. Man sieht, dass die Sandform mehrere kleine Brüche aufweist. Diese hätten möglicherweise durch sorgfältigeres Glätten und gegebenenfalls

Einpudern der Positivform vermieden werden können. Für den vorgesehenen Anwendungszweck ist die Formqualität jedoch ausreichend. Falls Sandbrösel in die Form gefallen sind, kann man diese einfach wegpusten.

Ein weiterer wichtiger Arbeitsschritt ist das Stechen von Entlüftungskanälen. Wenn später die Schmelze in die Form fließt, muss die darin befindliche Luft schnell entweichen können. Da der Zulauf sternförmig von der Mitte her erfolgt, werden an den vier am weitesten vom Zulauf entfernten Punkten Entlüftungslöcher in die obere Formkastenhälfte gestochen (33). Hierbei leistet ein ca. 3mm dicker Draht gute Dienste.

Schließlich werden die beiden Formkastenhälften wieder zusammengesetzt und seitlich mit zwei Holzdübeln fixiert, damit nichts verrutscht. Das Ganze kommt in eine feuerfeste Schale, wie zum Beispiel einen alten Grill (34). Damit ist die Form bereit zum Gießen.

Nun ist es Zeit, den Ofen anzuwerfen. Zuerst geben wir die benötigte Menge an Alu-Material in den Tiegel. Es empfiehlt sich, diese Menge immer großzügig zu bemessen. Übriggebliebene Schmelze gießt man zum Beispiel in ein (unbeschichtetes!) Muffin-Backblech (35). Die so entstehenden „Alu-Muffins“ sind äußerst handlich und lassen sich beim nächsten Guss sehr gut wieder einschmelzen.

Der Tiegel wird in den Grillkamin gesetzt, der Brenner gezündet, dann der Grillkamin über dem Brenner platziert und die Abdeckung aufgesetzt. Jetzt heißt es erst mal warten. Der Schmelzvorgang dauert mit der oben beschriebenen Grillkamin-Anordnung bei Aluminium, je nach zu schmelzender Menge und zugeführter Wärmemenge, ca. 20 bis 45 Minuten. Hier ist wirklich Geduld angesagt. Man sollte der Versuchung widerstehen und nicht zu oft den Deckel anheben, um zu sehen, was die Schmelze macht. Denn das kühlt das Tiegelinnere relativ stark ab und verlangsamt den Schmelzprozess.

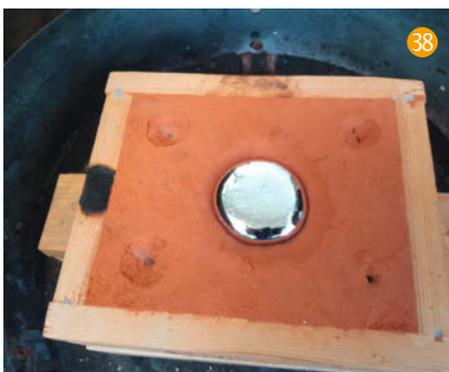
Aluminium schmilzt bei ca. 660°C. Zunächst nehmen Tiegel und Aluminiuminhalt nur die zugeführte Wärme auf bis die Schmelztemperatur erreicht ist. Danach „konsumiert“ der Schmelzvorgang selbst die Wärmeenergie. Während dieser Phase heizt sich das feste Aluminium nicht weiter auf. Der eigentliche Phasenübergang von fest auf flüssig erfolgt dann abrupt innerhalb weniger Sekunden wenn genug Wärme zugeführt wurde. Erst danach geht es mit der Temperatur weiter nach oben. Da sich das flüssige Metall beim Eingießen in die Form schnell abkühlt, erhitzt man nach dem Schmelzvorgang den Tiegel noch weiter, bis die Schmelze nach ca. 5 Minuten einen leicht rötlich glühenden Farbton annimmt. Dann ist die Temperatur mit ca. 850 bis 900°C richtig zum Gießen (36). Das Glühen ist allerdings nur bei gedämpftem Licht zu sehen. Wenn auf der Schmelze viel Schlacke



36



37



38



schwimmt, kann man diese nun mit einem Metall-Löffel abschöpfen. Die Qualität des Gießprozesses wird durch Schlacke aber in der Regel wenig beeinflusst. Sie bleibt im Tiegel zurück oder schwimmt oben auf.

Mit einer Zange wird nun der Tiegel aus dem Grillkamin gezogen und in das Ausgießwerkzeug eingelegt, wie in 8 und 37 gezeigt.

Dann füllen wir vorsichtig die Schmelze in den Einlauftrichter der Sandform. Flüssiges Aluminium hat eine quecksilberartige Konsistenz und eine hohe Kohäsion. Der Einfüllvorgang dauert entsprechend nur ein paar Sekunden. Sobald die Form voll ist, bildet sich ein Pfropfen im Einlauftrichter 38. Das überschüssige Material im Tiegel wird in die Muffin-Formen gegossen.

Da der Sand gut isoliert, geben wir dem Aluminium mindestens fünf Minuten zum Erstarren. Dann können wir die Form öffnen und den Guss auskühlen lassen. Dies geschieht am besten mit seitlich stehendem Formkasten 39. Achtung: Das Metall kann immer noch sehr heiß sein und jeglicher Kontakt mit brennbaren Materialien sollte vermieden werden. Der Brandfleck rechts entstand beim Auskippen einer Form durch einen Metallkontakt von wenigen Sekunden!

40 zeigt die geöffnete Sandform. Die verbrannten Bereiche des Sandes werden mit einem Schaber herausgekratzt und entsorgt. Der Rest des Sandes kann wiederverwendet werden.

Das gereinigte, unbearbeitete Gussteil ist in 41 gezeigt. Die vier einzelnen Bauteile müssen noch abgesägt, die Reste der Einlauf- und Entlüftungskanäle abgefeilt und die Bohrungen eingebracht werden. Das Aluminium aus Speiser und Einlauftrichter wird beim nächsten Gießen wiederverwendet.

Ausblick

Aluminium-Schwerkraftgießen eröffnet dem versierten Maker eine neue Welt mit vielen ungeahnten Möglichkeiten. 42 zeigt beispielhaft einige komplexere, fertig nachbearbeitete Werkstücke. Die Antriebsrolle wurde mit einer zweiteiligen Positivform und einem Ausziehstempel erzeugt. Die Positivform des Nachschlüssels wurde nicht 3D-gedruckt. Vielmehr wurde das Original halbseitig in die mit verdichtetem Sand gefüllte, untere Formkastenhälfte eingedrückt und dann die obere Hälfte wie beschrieben mit Sand befüllt. Dieses Werkstück dient als Beispiel dafür, dass man Gussteile auch sehr formtreu praktisch ohne Nachbearbeitung erstellen kann. 43 zeigt den Nachbau einer Ketten-Umlenkeinheit eines Garagentorantriebs in Aluminium. Das völlig unterdimensionierte Originalteil – ohne Rolle, nur aus Plastik – war nach weniger als zwei Jahren durchgescheuert. Die Lösung aus Aluminium mit kugelgelagerter Umlenkeinheit ist deutlich langlebiger.

Das beschriebene Verfahren eignet sich nicht nur für Aluminium, sondern auch für

andere Metalle, wie Blei oder Zinn sowie auch für bestimmte Messing- und Bronze-Legierungen mit niedrigem Schmelzpunkt. Vor derartigen Gießversuchen empfiehlt sich allerdings immer eine Internet-Recherche, ob nicht irgendwelche Nebenwirkungen wie giftige Dämpfe oder Reaktionen mit dem verwendeten Formsand zu erwarten sind. Beim Schmelzen von Messing können zum Beispiel giftige Zink-Dämpfe entstehen.

Zugegeben, Schwerkraftgießen mit Sandformen ist ein arbeitsintensives Verfahren zur Erstellung von Metallteilen. Und natürlich ist die Herstellung von Allerwelts-Gebrauchsgegenständen aus Aluminium damit nicht rentabel, zumindest nicht, so lange man die Ersatzteile oder Neuware noch kaufen kann. Will man zum Beispiel einen Oldtimer restaurieren, für den man keinen Ersatzkolben oder Krümmer mehr bekommt, sieht die Sache vielleicht schon wieder ganz anders aus. Und nicht zuletzt hat der Schöpfungsprozess von vielleicht auch rein dekorativen Metallgegenständen für einen echten Maker auch einen gewissen archaischen Reiz.

—caw



Cuttermesser mit Abbrechklinge

von Clemens Verstappen

Unternehmlich und immer zur Hand: Dieses Cuttermesser liegt bei mir seit vielen Jahren griffbereit am Arbeitsplatz. Ich verwende es universell für Haushalt und für Tätigkeiten im Hobbybereich. Mit seinem Metallgriff liegt es sehr gut in der Hand. Die Klinge wird sicher geführt, klappert und wackelt nicht.

Es eignet sich gut für filigrane Arbeiten. Dadurch, dass man die Klinge sehr kurz einstellen kann, liegen dann Werkstück, Daumen und Klinge dicht beieinander. Dies ist bei feinen Schnitzarbeiten in Holz vorteilhaft. Beim Schneiden von Leder lässt sich zusätzlich noch eine große Kraft auf die Klingenspitze ausüben, wenn es erforderlich ist ①. Bei Ar-

beiten an Kunststoffgehäusen kann man die Klinge sicher und präzise führen, auch bei großer Kraft auf der Klingenspitze.

Im Gegensatz zu anderen Messern braucht man sich bei einem Cuttermesser über das Schärfen der Klinge keine Gedanken zu machen. Die stumpfen Segmente der Klinge werden mit einer Zange abgebrochen.

Mit der sogenannten Nagelprobe kann man prüfen, ob die Klinge verbraucht ist. Hierbei bewegt man den Daumnagel langsam vom Klingentrücken in Richtung Schneidkante. Hakt der Daumnagel an einer der beiden Schneidkanten, hat sich hier ein Grat gebildet. Die Schneidleistung ist dann nicht mehr

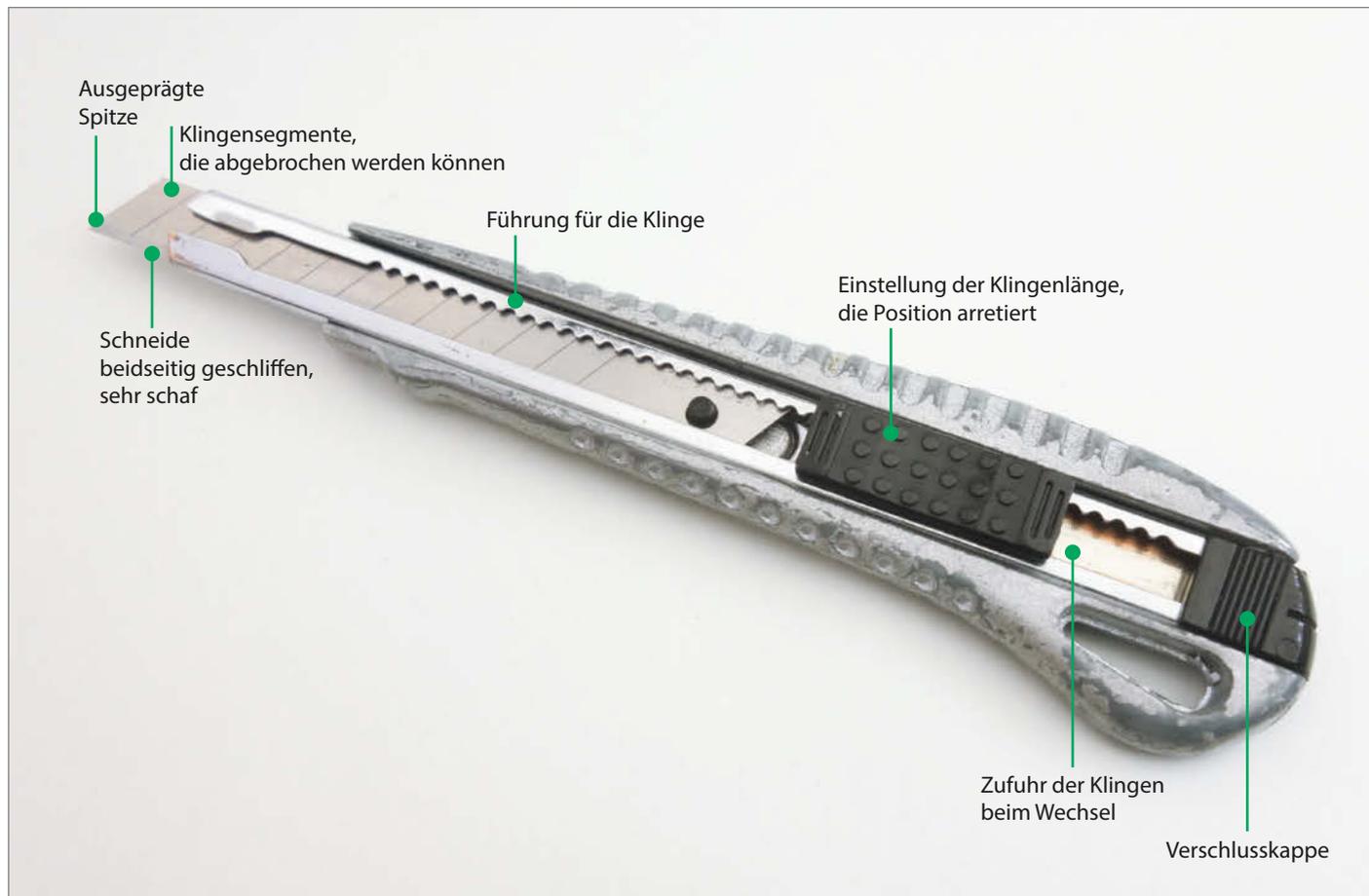
optimal. Um ein Gefühl für diesen Test zu bekommen, kann man zum Vergleich eine neuen Klinge prüfen.

Schärfe und Schneidwinkel

Wovon hängt die Schärfe einer Klinge ab?

Vom Zusammenspiel vieler Faktoren: Klingestärke, Form der Klinge, Winkel der Schneidfasen, Oberfläche der Schneidfasen und natürlich vom verwendeten Stahl und seine Härte.

Pauschal kann man sagen, je weniger Material dem Schneidgut entgegengesetzt wird, umso weniger Kraft muss aufgewendet werden und umso schärfer ist die Klinge.



Die Zeichnung 2 zeigt die Abbrechklinge im Profil. Der Hersteller hat mir hierfür die wesentlichen Daten wie Abmessungen und Winkel zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um einen Flachstahl mit einer Klingenhöhe von 9 mm, von dem ich nur den unteren Bereich der Schneide gezeichnet habe. Mit einer Stärke von nur 0,4 mm ist die Klinge deutlich dünner als jedes Küchenmesser. In der Großaufnahme der Abbrechklinge 3 ist die Primärfase von 18° mit einer Länge von 1,1 mm gut zu erkennen. Die Sekundärfase von 26° ist mit dem bloßen Auge kaum zu sehen, sie ist jedoch von besonderer Bedeutung: Sie kommt als erstes mit dem Scheidgut in Kontakt und bestimmt maßgeblich die Schärfe.

Für eine sehr scharfe Klinge muss die Oberfläche der Sekundärfase (Schneide) absolut plan geschliffen sein. Beim Schleifen von Rasiermessern erreicht man dies durch Schleifsteine feinsten Körnung und abschließendem Abziehen der Klinge auf einem Lederriemen mit Polierpaste. Die Schneidkante selbst darf keine Kerben und Metallausbrüche aufweisen. Dieser Anspruch an Schärfe besteht bei einem Cuttermesser nicht, ist auch nicht sinnvoll, denn bereits nach wenigen Schnitten wäre die Klinge wieder stumpf.

Wann ist eine Klinge stumpf? Im einfachsten Fall ist die Schneide durch Abnutzung und Materialabtragung verschlissen. Es kommt jedoch auch vor, dass die Beanspruchung zu stark war und die Schneidkante zu einer Seite abgeknickt ist. Es ist ein Grat entstanden, den man mit der Nagelprobe entdecken kann, wie vorhin beschrieben. Auch Metallausbrüche in der Schneide mindern die Schärfe.

Schärfe und Härte

Von den zahlreichen Eigenschaften, die ein Stahl hat, sind *Härte*, *Verschleißfestigkeit* und *Korrosionsbeständigkeit* die wichtigsten. Den idealen Stahl für ein Messer gibt es nicht. Liegt bei einer Rasierklinge der Fokus auf der Schärfe, so kommt es für ein Jagd- oder *Bushcraft*-Messer hauptsächlich auf die Robustheit und Korrosionsbeständigkeit an. Die Wahl eines Stahls ist somit immer ein Kompromiss.

Eisen mit einem gewissen Anteil Kohlenstoff wird als *Stahl* bezeichnet (siehe auch Seite 6). Werden weitere Elemente hinzugefügt wie Chrom, Mangan oder Vanadium, spricht man von einer *Legierung*. So sorgt ein Anteil von 13% Chrom für Rostfreiheit, jedoch zu dem Preis, dass sich die Härte verringert.

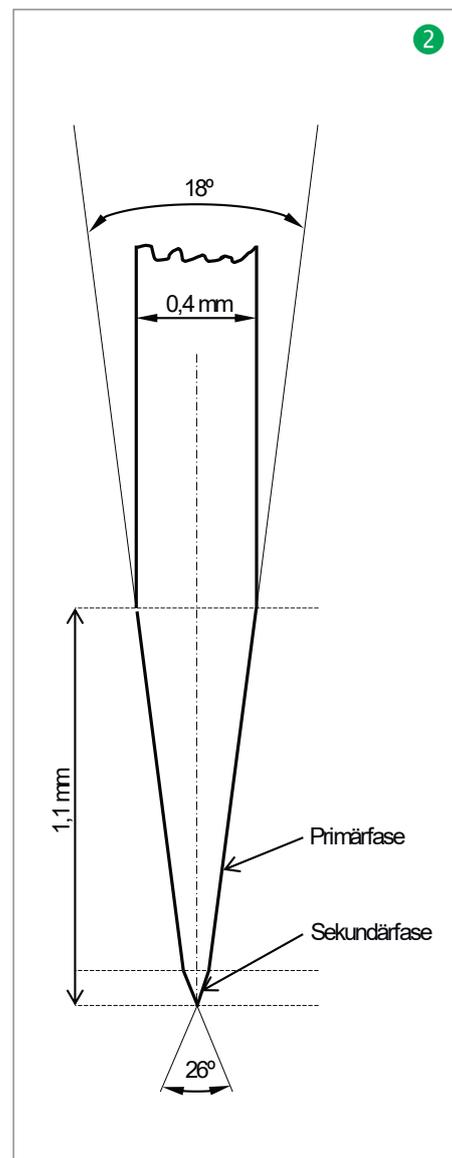
Diese besondere Eigenschaft der außergewöhnlichen Härte von Stahl bildet sich jedoch erst nach einer oder mehreren Wärmebehandlungen aus. Dies wird als Härten bezeichnet (siehe auch Seite 52). Hierbei wird der Messerrohling auf mehrere hundert Grad Celsius erhitzt und anschließend in Öl abgeschreckt.



Stahlhersteller geben diese Wärmebehandlung mit Temperaturen und Zeiten vor, um die angestrebte Härte zu erreichen. Ab diesem Zeitpunkt ist eine Bearbeitung der Klinge mit einer Feile oder Säge kaum mehr möglich. Die folgenden Arbeitsschritte lassen nur noch Schleifen und Polieren zu.

Von der Vielzahl der Stahleigenschaften lässt sich die Härte gut messen und somit vergleichen. Die Härte einer Messerklinge wird in *Rockwellhärte* angegeben (siehe auch Seite 52), abgekürzt *HRC*. Übliche Werte liegen zwischen 55 und 65 HRC. Hersteller von Messern geben diesen Wert häufig in Prospekten an.

Für das oben erwähnte Rasiermesser wird man deshalb einen Stahl wählen, der sich höher härten lässt (> 60 HRC), ein Klingensprofil, das einen sehr kleinen Schneidwinkel ermöglicht – zu dem Preis, dass die Klinge nicht rostfrei ist und regelmäßig an einem Lederriemen abgezogen werden muss. —pek



Blech biegen wie die Profis

Mit einer Biegevorrichtung oder Biegemaschine ist das saubere Kanten von Blechen kein Problem. Wer häufiger Metallgehäuse baut, für den lohnt sich die Investition: Ab rund hundert Euro geht es los.

von Hans Borngräber



Wie oft stand der Maker schon vor dem Problem, dass er zwar eine gut funktionierende Elektronik hatte, aber es fehlte das passende Drumherum, sprich: ein Gehäuse. Alte Zigarrenkisten oder aus Sperrholz zusammenge nagelte Kästen sehen oft unprofessionell aus und sind nicht immer hitzebeständig genug, wenn die Elektronik Abwärme produziert. Ganz schlimm sind in meinen Augen die halb verbrannten Holzkisten aus den China-Lasercuttern, sowas geht gar nicht. Für so eine Einhausung hat man sich nicht die viele Arbeit mit der Elektronik und eventuell auch der Software gemacht.

Aber man muss kein gelernter Spengler sein, um sich selbst zu helfen und ein ansehnliches Gehäuse aus Blech zu bauen. Die benötigten Werkzeuge und Maschinen zum sauberen Verarbeiten von Blech kosten von rund 100 bis etwa 400 Euro und damit nicht so viel, wie man vielleicht denkt. Die Anschaffung lohnt sich etwa für Gemeinschaftswerkstätten oder auch die heimische Werkstatt, wenn man häufiger Blechgehäuse bauen will – ohne sie ist man leider aufgeschmissen. Damit ist gemeint: Nur mit Hammer und Schraubstock kommt man nicht zu einem sauberen und ansehnlichen Ergebnis.

Neben dem realen Werkzeug benötigt man auch etwas Mathematik und Hilfstabellen, um im Vorfeld die richtige gestreckte Blechlänge zu bestimmen. Dazu aber später mehr.

Biegetechniken

Die DIN 8580 nennt das Biegen *Biegeumformen* und bezieht das nicht nur auf Bleche, sondern auch auf Rohre und massivere Teile. Für Maker sind zwei Formen der Biegetechnik relevant:

- *Kanten / freies Biegen* mittels einer Biegemaschine
- *Schwenkbiegen* mit einer Schwenkvorrichtung

Kurzinfo

- » **Tipps fürs Kanten / freies Biegen und Schwenkbiegen**
- » **Biegevorrichtungen und -maschinen unter der Lupe**
- » **Materialbedarf gebogener Teile berechnen**
- » **Biegetechnik mit CNC-Fräse**

Mehr zum Thema

- » Jürgen Burmester, Josef Dillinger, Walter Escherich, Eckhard Ignatowitz, Stefan Oesterle, Ludwig Reißler, Andreas Stephan, Reinhard Vetter, Falko Wieneke, Fachkunde Metall, 58. Auflage 2017, Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co KG, ausführliche Vorstellung siehe Seite 158

Alles zum Artikel
im Web unter
[make-magazin.de/xn3w](https://www.make-magazin.de/xn3w)

Kanten oder freies Biegen

Das *Kanten*, auch *freies Biegen* genannt, erfolgt mit einer Biegemaschine **1**. Dabei wird das zu biegende Blech mit einem Stempelsegment in eine V-förmige Nut gedrückt **2**. Die Nut bestimmt den Winkel, den das Blech nach der Umformung annimmt – normalerweise ist ein rechter Winkel von 90° das Ergebnis **3**.

Bei dieser Art des Biegens ist es möglich, alle vier Kanten eines Bleches zu biegen. Das funktioniert dank unterschiedlich breiter Stempelsegmente **4**, die auch innerhalb eines schon U-förmig gebogenen Bleches an den um 90° versetzten Seiten zum Biegen ansetzen können. So kann man geschlossene Rechtecke oder Schachteln erzeugen. Damit das funktioniert, muss das Stempelsegment genauso breit wie der zu biegende Blechstreifen sein. Das Blech muss entsprechend vorbereitet sein, wie die Abwicklung einer einfachen Schachtel zeigt **5**.

Diese Art des Biegens ist sehr gut geeignet, geschlossene Gehäuseteile und ähnliche Ob-

jekte herzustellen. Sie hat aber auch einen Nachteil: Die Außenseiten des Bleches werden durch die V-Nut mit Druckstellen versehen, was vor allem bei weichen Blechen sehr gut zu sehen ist **6**. Auch müssen V-Nut, Stempelsegment und Blechstärke genau aufeinander abgestimmt sein. Ansonsten bricht das Blech oder der rechte Winkel wird nicht erreicht. Die in den Bildern **1** und **4** gezeigte Biegevorrichtung ist nur für Bleche mit einer Stärke von bis zu 1,5mm geeignet.

Bei dieser Maschine (auf Bild **7** noch mal komplett zu sehen) handelt es sich um eine für den Hausgebrauch sehr beliebte *Kombivorrichtung 3in1*. Damit können folgende Arbeiten durchgeführt werden:

- Blech schneiden
- Blech kanten / freies Biegen
- Blech rollen

Die Maschinen gibt es in unterschiedlichen Größen, von 200mm bis 700mm Arbeitsbreite. Größere Arbeitsbreiten machen für den manuellen Betrieb keinen Sinn, weil die nötigen Kräfte von Hand nicht mehr aufgebracht wer-



1 Blech in die Biegemaschine eingelegt und ausgerichtet



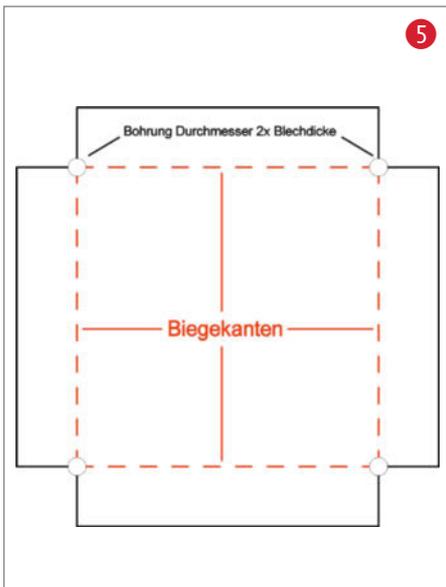
2 Der Stempel hat das Blech in die V-Nut gedrückt.



3 Der Winkel stimmt.



4 Bei dieser Biegevorrichtung für freies Biegen sind die einzelnen Segmente gut zusehen.



5

den können. Die größeren Arbeitsbreiten erfordern Maschinen mit elektrohydraulischen Antrieben. Da die Funktion *Rollen* nicht von jedem benötigt wird, gibt es auch 2in1-Vorrichtungen ohne diese Funktion und in den gleichen Arbeitsbreiten wie die 3in1-Vorrichtungen.

Schwenkbiegen

Eine *Schwenkbiege*-Vorrichtung 8 9 besteht aus zwei Teilen:

- Feststehende Haltevorrichtung mit Biegekante für das Blech
- Bewegliche, drehbar gelagerte Schwenkplatte zum Hochbiegen des Bleches

Mittels Schwenkbiegen kann man nur lineare Abwicklungen biegen, etwa U-förmige Profile 10. Das Verfahren wird meist zum Biegen sehr langer Blechstücke eingesetzt, die Bilder 11 bis 14 zeigen den Vorgang.

Die hier gezeigte Vorrichtung kann Bleche bis zu 0,8m Breite verarbeiten. Es gibt hydraulisch betriebene Schwenkbiege-Maschinen, die bis 6m lange Bleche biegen können. Genau wie die Vorrichtung für das freie Biegen ist jede Schwenkbiege-Maschine auch nur für eine bestimmte maximale Blechstärke konstruiert, in diesem Fall für weiche Bleche (Alu, Messing ...) bis 2mm und für Stahl bis 1mm.

Konstruktionsbedingt ist es bei der Schwenkbiege-Vorrichtung nicht möglich, alle vier Kanten eines Bleches zu biegen. Schon nach einer Biegung kann das Blech nur noch für die gegenüberliegende Kante gespannt werden. Ein Vorteil dieser Biegetechnik ist die Materialschonung: Bleche werden nicht beschädigt.

Manuelle Schwenkbiege-Vorrichtungen gibt es bis zu Arbeitsbreiten von 3000mm. Solche Vorrichtungen müssen sehr massiv ausgeführt sein, denn die Kräfte, die der Schwenkvorrichtung entgegengesetzt werden, sind enorm. Schon bei nur 700mm Arbeitsbreite und 1,5mm Alublech ist eine 10mm starke Stahlwange zu weich und würde beim Biegen einen Buckel machen. Deshalb werden Verstärkungsbleche auf den schwenkbaren Teil aufgeschweißt. Auch die massive Biegekante wird durch aufgeschweißte Bleche verstärkt.

Beim Kauf einer solchen Vorrichtung gibt es ein wichtiges Kriterium neben der massiven Konstruktion: Die obere Biegekante, die das Blech hält, muss abnehmbar sein, ansonsten kann man eventuell ein gebogenes Blech nicht mehr aus der Vorrichtung nehmen. Leider gibt es immer noch Vorrichtungen mit nicht abnehmbarer Biegekante auf dem Markt.

Grundregeln und Fehlerquellen

Beim Biegen von Blechen gibt es einige Grundregeln zu beachten – es gibt viele Fehler, die man machen kann!

- **Anzeichnen der Biegelinie** niemals mit einem einschneidenden Werkzeug vornehmen (Reißnadel, Höhenanreißer). Immer mit Bleistift oder Filzstift arbeiten. Anreißlinien von schneidenden Werkzeugen können beim Biegen zum Durchbrechen des Bleches führen. Der Effekt ähnelt dem eines Glasschneiders, vor allem bei harten Blechen.
- Immer den **passenden Biegeradius** wählen (siehe Tabelle *Mindestbiegeradien*). Zu enge Radien führen zu Stauchungen des Materials, die sich durch Ausbuchtungen an den äußeren Rändern der Biegung zeigen. Diese können stören, wenn zum Beispiel zwei U-förmig gebogene Bleche für ein Gehäuse zusammengesetzt werden sollen 15. Auch ein Bruch des Bleches ist nicht auszuschließen.
- Materialien mit **lackierter oder eloxierter** Oberfläche sind zum Biegen ungeeignet. Eloxierete Alu-Oberflächen neigen zur *Aluminium-Cellulitis* 16; bei lackierten Oberflächen platzt der Lack ab. Oberflächen deshalb immer erst nach dem Biegen veredeln. Ausnahme sind gebürstete Aluminium-Oberflächen, die sind unempfindlich, wenn es ums Biegen geht.
- Bleche (Stahl, Alu usw.) werden gewalzt und haben deshalb eine vom Fertigungsprozess vorgegebene **Walzrichtung**. Niemals ein Blech *längs* seiner Walzrichtung biegen; ein Bruch ist da früher oder später unausweichlich! Immer *quer* zur Walzrichtung biegen. Die Walzrichtung ist wie die Maserung eines Holzbrettes zu betrachten. Die Walzrichtung wird entweder auf der Schutzfolie mit Pfei-



6 Druckstellen des Bleches durch die V-Nut



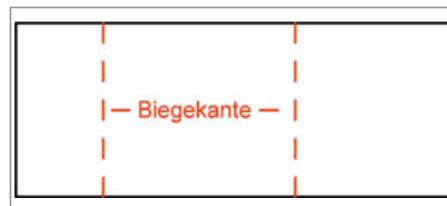
7 Eine 3in1-Kombi-Vorrichtung fürs Schneiden, Kanten und Rollen von Blechen



8 Schwenkbiege-Vorrichtung im geschlossenen ...



9 ... und im geöffneten Zustand, bereit zum Einspannen des Werkstücks.

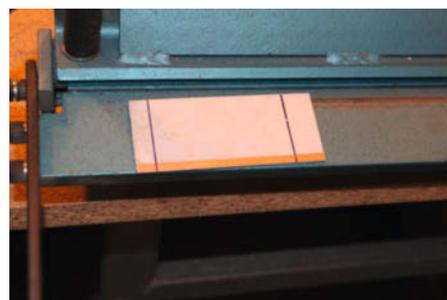


10 Abwicklung eines U-Winkels mit unterschiedlich hohen Schenkeln

Mindestbiegeradien

Werkstoff	Blech	Rohr
Stahl	1 × Blechdicke	1,5 × Rohr-Ø
Kupfer	1,5 × Blechdicke	1,5 × Rohr-Ø
Aluminium	2 × Blechdicke	2,5 × Rohr-Ø
Cu-Zn-Legierung (Messing)	2,5 × Blechdicke	2 × Rohr-Ø

© Fachkunde Metall 56. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel



11 Rohling angezeichnet

len angezeigt 17, oder man kann die feinen Walzspuren auf dem Blech erkennen.

– Bleche neigen nach dem Biegen zum **Zurückspringen**, sodass ein auf 90° gebogenes Blech nur noch 95° aufweist, nachdem es aus der Biegevorrichtung genommen wurde. Das ist ein vom Material abhängiges Verhalten; man muss durch Überbiegen das Zurückspringen kompensieren. Da helfen nur Testbiegungen, um das Materialverhalten auszuprobieren. Der Effekt ist bei härteren Blechen ausgeprägter als bei weichen Blechen. Was die Sache noch komplizierter macht: Das Ganze ist temperaturabhängig

– und zwar auch im Bereich der üblichen Raumtemperaturen.

Zielgenau biegen

Um den Materialbedarf – sprich: die Länge eines zu biegenden Bleches – zu berechnen, bedarf es einer einfachen Formel und der Korrektur laut der Tabelle *Ausgleichswerte v für Biegewinkel = 90°*.

Als Beispiel soll das Werkstück gebogen werden, das in Bild 18 skizziert ist. Die gestrichelte Linie in der Zeichnung stellt die *neutrale Zone* des gebogenen Bleches dar. In



12 Eingespannt und ausgerichtet



15 Röhren-Netzgerät-Gehäuse aus zwei U-förmig gebogenen Blechen



13 Erster Schenkel gebogen



14 Das Endprodukt, perfekter Biegeradius ohne Ausbuchtungen



16 Aluminium-Cellulitis nach einer Biegung

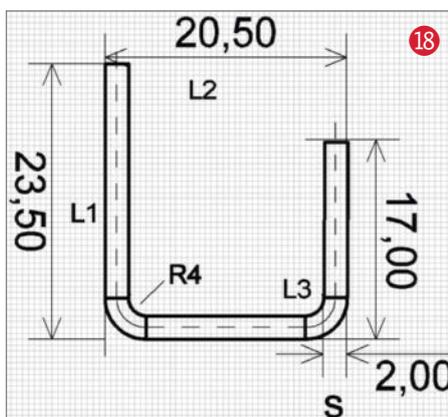


17 Walzrichtungspfeil auf einem 1,5mm Alu-Blech

Ausgleichswerte für Biegewinkel = 90°

Biege-Radius r (mm)	Ausgleichswert v (mm) je Biegestelle für Blechdicke s (mm)						
	s = 0,4	s = 0,6	s = 0,8	s = 1	s = 1,5	s = 2	s = 2,5
1	1	1,3	1,7	1,9			
1,6	1,3	1,6	1,8	2,1	2,9		
2,5	1,6	2	2,2	2,4	3,2	4	4,8
4		2,5	2,8	3	3,7	4,5	5,2
6			3,4	3,8	4,5	5,2	5,9
10				5,5	6,1	6,7	7,4
16				8,1	8,7	9,3	9,9
20				9,8	10,4	11	1,6

© Fachkunde Metall 56. Auflage, Verlag Europa-Lehrmittel



diesem Bereich findet weder eine Stauchung noch ein Streckung des Materials statt. Da die Stauchung des Innenradius' nicht so stark ausfällt wie die Streckung des Außenradius', bedarf es eines Ausgleichswertes v, den man aus der Tabelle abliest, wenn man ihn nicht

selbst experimentell durch Probiebungen ermittelt.

Die Formel für die gestreckte Länge L lautet:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 - n \cdot v$$

Dabei ist:

L = gestreckte Gesamtlänge

L_{1...L_{n+1}} = Schenkellängen

n = Anzahl der Biegeadien

v = Ausgleichswert aus Tabelle

Die gestreckte Länge des Bleches für das Beispiel wäre dann (bei Biegeadius r = 4mm und Blechdicke s = 2mm, also v = 4,5mm):

$$L = 23,5\text{mm} + 20,5\text{mm} + 17\text{mm} - (2 \cdot 4,5\text{mm}) = 52\text{mm}$$

Soweit die Theorie. Die Praxis zeigt aber, dass diverse Einflüsse die theoretisch ermittelten Werte in Frage stellen können, etwa Abnutzung an der Biegevorrichtung, veränderte Blechqua-

Wann ist ein Blech ein Blech?

Normalerweise stellt man sich unter einem *Blech* eine große Metallplatte vor, mit Materialstärken von 0,5mm bis 2mm. Weit gefehlt! Die Maschinenbauer bezeichnen auch Platten mit deutlich mehr Materialstärke als Blech. Da gibt es Stahlbleche mit 20mm und mehr Stärke; die werden auf entsprechend dimensionierten Maschinen gebogen, aber prinzipiell genauso wie die 1mm-Alu-Bleche in der Hobbywerkstatt (siehe auch Titelbild dieses Artikels).

Abgesehen von der Materialstärke ist die Metalllegierung entscheidend dafür, ob ein Blech gebogen werden kann oder nicht. Spröde Werkstoffe wie Gusseisen können nicht gebogen werden.

Bei **Aluminium** sind es vor allem die sogenannten *Aluminium-Knetlegierungen*, die gute Biege-Eigenschaften haben. Durch geringe Beimengungen von Magnesium, Silicium, Kupfer, Zink, Nickel oder Mangan werden die Eigenschaften von Reinaluminium *Al99,5* so stark verändert, dass sich eine gut umformbare Legierung ergibt. Gängige Verkaufsbezeichnungen sind *AlMgSi1* oder *AlMg3* in Blechform.

Messing ist eine Mischung aus 50% Kupfer, 40% Zink und weiteren Beimischungen wie Blei oder Zinn. Messing mit der Bezeichnung *MS56* ist sehr gut zum Umformen / Biegen geeignet. Messing mit der Bezeichnung *MS58* ist zwar etwas härter,

aber in Materialstärken bis 1,5mm gut biegebar. Bei größeren Stärken reißt es auf und kann auf Grund seiner Härte brechen. Alle Messing-Legierungen mit einem Zinkanteil bis 37% sind gut für die Kaltumformung geeignet.

Stahl ist durch seine elastischen Eigenschaften meist gut für das Biegen geeignet, solange der Kohlenstoffanteil weniger als 2,0% beträgt. Anders sieht das etwa bei hochlegierten Werkzeugstählen aus.

Kupfer ist genau wie Stahl sehr gut zum Biegen geeignet. Durch die geringe Härte von Kupfer können auch sehr dicke Bleche problemlos gebogen werden.

lität usw. Deshalb ist es immer empfehlenswert, bevor man ein Blech biegt, eine Probebiegung zu machen. Man zeichnet dazu an einem Blechstreifen des aktuellen Materials einen 20mm langen Schenkel an, biegt diesen und ermittelt die Abweichung. Die so ermittelte Abweichung berücksichtigt man dann beim Anzeichnen der Biegekanten des Werkstückes. So ist man auf der sicheren Seite und kann bis auf 1/10mm genau biegen.

Fazit

Sie sehen, es ist mit den passenden Hilfsmitteln gar nicht so schwer, saubere Blecharbeiten zu erstellen. Die Ära der Zigarrenkisten als Elektronik-Gehäuse sollte damit ein Ende haben. Und noch ein Tipp: Finger weg von der Blechverarbeitung mit dem Hammer, wenn wirklich saubere Ergebnisse gewünscht sind, die bringt nur ein geübter Spengler hin. Und selbst die müssen oft pfsuchen. So war es im Karosseriebau noch bis in die 1950er Jahre üblich, Dellen mit Zinn auszugleichen. Der fabrikneue Ur-Porsche 356 schleppte deshalb rund 60kg Zinn(!) unter der Lackierung mit sich rum, mit dem die Dellen vom Blechhammer kassiert worden waren. —pek

CNC: Blechbearbeitung einmal anders

Besitzer einer CNC-Fräsmaschine können sich das Biegen von Blechen stark vereinfachen. Nimmt man zum Beispiel die Abwicklung in Bild 5, so werden zunächst die Bohrungen gesetzt, dann die Ecken ausgefräst. Danach werden die roten Linien (Biegekanten) mit einem speziellen *Kistenfräser* ausgefräst, in einer Tiefe, die einem Drittel der Blechstärke entspricht. Das wäre bei einem 1,5mm starken Blech eine Tiefe von 0,5mm.

Der Kistenfräser erzeugt eine V-Nut mit 91°. Ein so bearbeitetes Blech kann ohne Probleme von Hand maßgenau umgebogen werden. Zur Stabilisierung der V-Nut wird entweder Zwei-Komponenten-Epoxid-Kleber oder spaltfüllender Cyan-Acrylat-Kleber verwendet. Der Winkel von 91° sorgt dafür, dass ausreichend Kleber in die V-Nut passt. Die Methode stammt nicht von den Metallern, sondern ist

ein gängiges Verfahren bei Tischlern zur Herstellung von Schubladen und Kästen. Auf diese Weise wurde das Gehäuse meiner Mini-Text-Uhr hergestellt.



TECHNIKUNTERRICHT MACHT ENDLICH SPAS!



Make:Education

Mit **Make Education** erhalten Sie jeden Monat kostenlose Bauberichte und Schritt-für-Schritt-Anleitungen für einen praxisorientierten Unterricht:



Für alle weiterführenden Schulen



Fächerübergreifend



Digital zum Downloaden



Monatlicher Newsletter

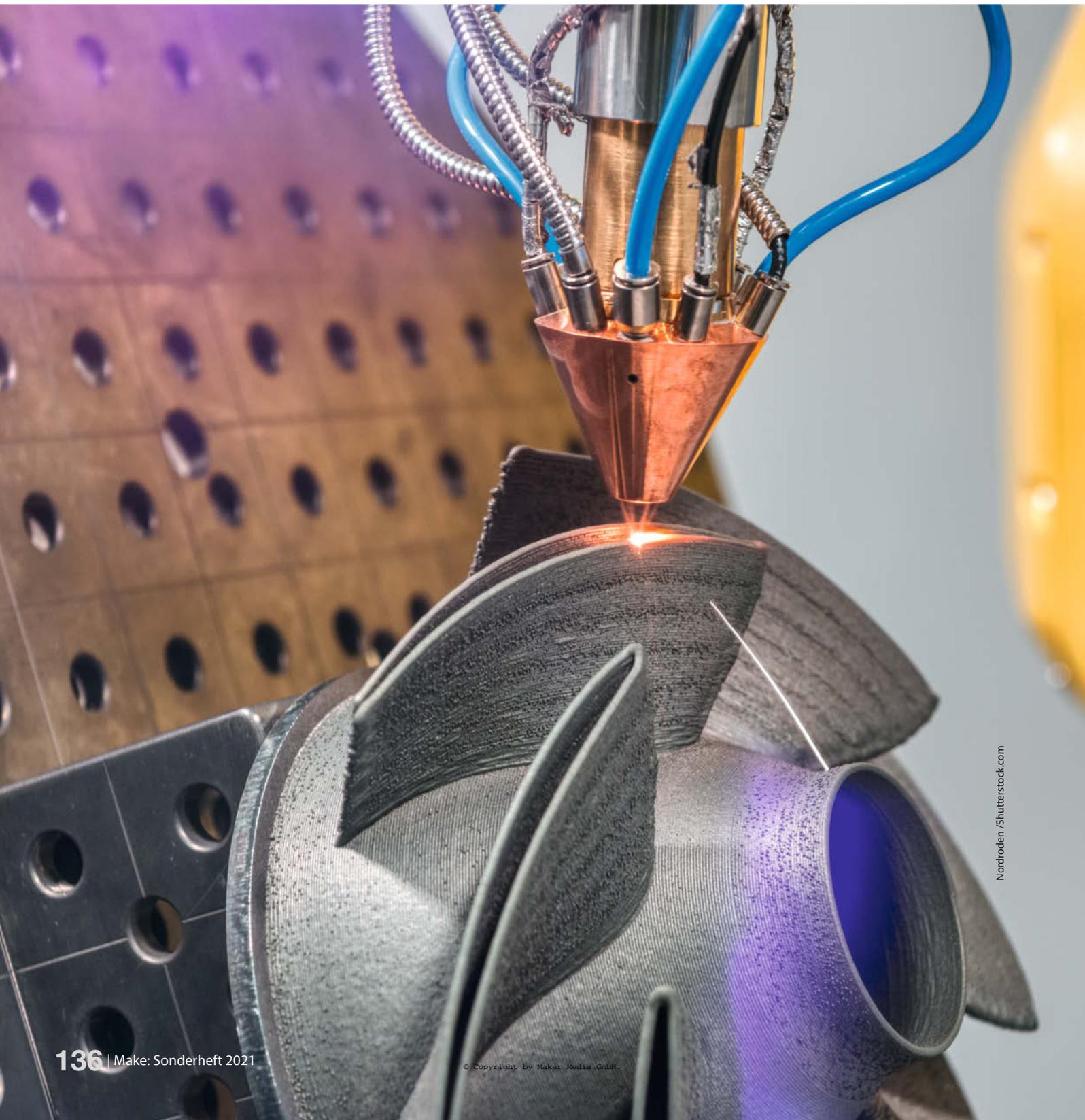
Jetzt kostenlos downloaden:

make-magazin.de/education

3D-Druck mit Metall

Metall 3D-drucken? Was vor einigen Jahren noch wie wilde Utopie klang, ist mittlerweile in der Industrie angekommen. Für den gemeinen Maker gibt es leider noch nicht viele Möglichkeiten, sich diese Technik auch nach Hause zu holen, doch kommerzielle Anbieter helfen gerne, den Traum vom eigenen Metall-3D-Druck zu erfüllen. Hier gibt es eine Übersicht über die aktuellen Techniken und Beschaffungsmöglichkeiten.

von Tim Olszewski



Nordroden / Shutterstock.com

Seit einigen Jahren können auch Teile aus Metall 3D-gedruckt werden. Diese Technik ist nicht nur der Industrie vorbehalten, sondern dank verschiedener Dienstleister auch von Zuhause aus möglich. Man muss nur per *Drag & Drop* die gewünschte Datei hochladen und sie mit den gewünschten Spezifikationen drucken lassen.

Allerdings ist Metall-3D-Druck nicht gleich Metall-3D-Druck: Es gibt unterschiedliche Verfahren, mit denen sich Teile aus Metall fertigen lassen. Die vier gängigsten Verfahren sind *Laser-Strahlschmelzen*, *Metal Binder Jetting*, *Metal-Filament 3D-Druck* und das *Wachsausschmelzverfahren*.

Gemeinsam haben die genannten Verfahren, dass aus Metallpartikeln ein 3D-Körper erzeugt wird. Dies geschieht je nach Verfahren auf ganz unterschiedliche Weise. Welche Vor- und Nachteile sich daraus ergeben und worauf man beim Drucken zu achten hat, das erklären wir hier.

Laser-Strahlschmelzen

Beim Laser-Strahlschmelzen, auch *Direct Metal Laser Sintering (DMLS)* genannt, wird schichtweise aufgetragenes Metallpulver von einem Laser geschmolzen. Typische Schichtdicken liegen hier bei etwa 15µm bis 30µm. Das entspricht in etwa der Dicke eines menschlichen Haars.

Nachdem eine dünne Pulverschicht durch einen Beschichter aufgetragen wurde, schmilzt ein Laser das Pulverbett lokal auf. Das geschieht nur an den Stellen, an denen das Objekt eine Kontur oder Füllung aufweist; die umliegenden Bereiche bleiben in Pulverform. Anschließend senkt sich die Bauplattform um genau eine Schichtdicke ab und der Prozess beginnt von vorne. Das wiederholt sich so lange, bis alle Schichten fertiggestellt sind.

Beim Laser-Strahlschmelzen ist die hohe Wärmeenergie eine große Herausforderung. Während des Prozesses entsteht durch das Einwirken des Lasers sehr viel Wärmeenergie, die irgendwo hin abgeleitet werden muss. Ist eine ausreichende Ableitung der Wärmeenergie nicht möglich, verziehen sich die Teile und es kommt zu erheblichen geometrischen Abweichungen. Die Objekte können sich zum Beispiel verbiegen und aus dem Pulverbett herausragen. Die Ableitung der Wärmeenergie bestimmt daher maßgeblich die gestalterischen Grenzen dieses Verfahrens. In der Regel wird ein Großteil der Wärmeenergie über die Bauplattform abgeleitet. Um das Problem anzugehen, gibt es zwei Optimierungsansätze:

Zum einen kann man Bauteile mit einem konstanten Querschnitt oder einer Verjüngung des Querschnittes nach oben hin gestalten, um eine bessere Wärmeabfuhr herzustellen. Objekte mit sich häufig ändernden Querschnitten (wie zum Beispiel ein Stern)

Kurzinfo

- » Übersicht über Metalldruck-Verfahren
- » Tipps für den Druck bei kommerziellen Anbietern
- » Vor- und Nachbereitung der Drucke

Mehr zum Thema

- » Heinz Behling, 30 Filamente für jeden Zweck, Make 2/19, S. 8
- » Sebastian Müller, Schöner leben – mit 3D-Druck, Make 1/20, S. 108
- » Billie Ruben, CAD-Designtipps für den 3D-Druck, Make 1/21, S. 138
- » Rebecca Husemann, Slicer Shootout, Make 4/20, S. 90
- » Carsten Wartmann, 3D-Druck-Veredlung, Make 5/21, S. 120
- » Rebecca Husemann, 3D-Drucken mit Harz: Resine im Praxistest, Make 3/21, S. 106

Alles zum Artikel im Web unter
make-magazin.de/xdzx

können die Wärme nur unzureichend abführen und verbiegen sich während des Prozesses. Dies kann man im Vorhinein beim Design der Modelle für das Laser-Strahlschmelzen berücksichtigen.

Zum anderen kann man zusätzliche Stützstrukturen einbauen, um die Wärmeableitung zu erhöhen. Diese Technik wird zum Beispiel bei filigranen Modellen angewendet, falls es nicht möglich ist, von vornherein einen konstanten Querschnitt zu entwerfen. Im Prin-

zip wird das Druckobjekt durch die Stützstrukturen auf der Bauplattform fixiert. So kann es sich nicht mehr verbiegen. Man spricht dann von einem Wechselspiel von Eigenspannung und Verzug, das leider die mechanischen Eigenschaften des Druckergebnisses negativ beeinflusst. Die Stützstrukturen werden entweder vorher konstruktiv mit eingearbeitet oder bei der Vorbereitung des Drucks über die Slicer-Software für die jeweilige Laser-Strahlschmelz-Anlage hinzugefügt.

Metall-3D-Druck: Bezeichnungen

Wer schon einmal bei einem Dienstleister für Metall-3D-Druck ein Teil fertigen wollte, musste sicherlich feststellen, dass es keine einheitliche Bezeichnung der 3D-Druck-Verfahren gibt. Einige Hersteller besitzen Patente auf eine bestimmte Modifikation des 3D-Druck-Verfahrens, was zu einer anderen Bezeichnung führen kann. Viele 3D-Druck-Verfahren besitzen mehrere Synonyme, außerdem gibt es eine Mischung aus umgangssprachlichen und technischen Bezeichnungen. Um den Überblick nicht zu verlieren, sind im Folgenden einige Bezeichnungen den hier erläuterten Metall-3D-Druck-Verfahren zugeordnet:

Laser-Strahlschmelzen:

- » Selektives Laser Schmelzen (SLS)
- » Direktes Metall Laser Sintern (DMLS)

- » Selective Laser Melting (SLM)
- » Laser Powder Bed Fusion (LPBF)
- » Lasersintern (Achtung, gleichnamiges Verfahren gibt es auch mit Kunststoff als Ausgangswerkstoff!)

Metal-Filament 3D-Drucken:

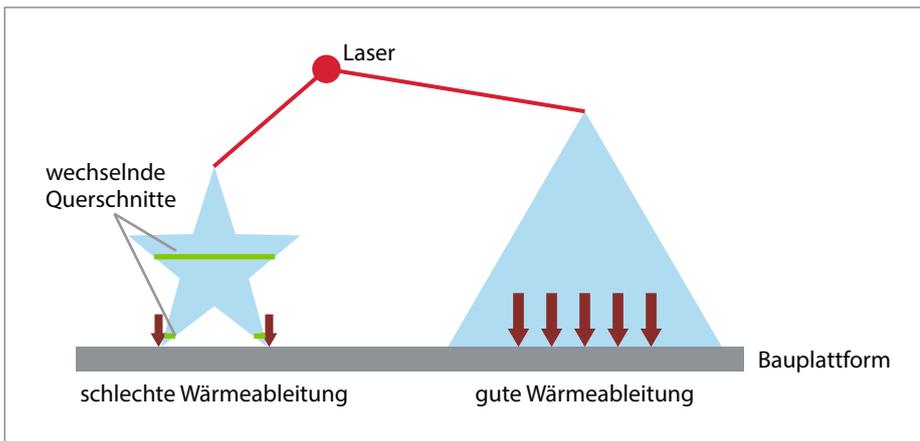
- » Desktop Metal-FDM
- » Metal-Filament-Printing
- » FFF/FDM mit Ultrafuse 316L

Metal Binder Jetting:

- » Multi Jet Fusion (MJF)
- » HP Metal Jet

Wachsausschmelzverfahren:

- » indirekter Metall-3D-Druck



Eine ausreichende Wärmeableitung beim Laser-Strahlschmelzen ist eine Voraussetzung für das Gelingen der Bauteile.

Metallpulver umgeben, das am Ende überall auf der Oberfläche haftet.

Die Oberflächenrauheit liegt – je nach Orientierung der 3D-Körper – bei etwa 50µm bis 100µm. Aufgrund der schlechten Oberflächeneigenschaften muss man Bohrungen nachbohren und Funktionsflächen (zum Beispiel ebene Flächen) spanend nachbearbeiten. Außerdem kann man das Ergebnis strahlen oder schleifen. Diese Nachbearbeitungsschritte sollte man von Anfang an einplanen: Man kann beispielsweise ein Aufmaß bei Bohrungen vorsehen.

Das Laser-Strahlschmelzen ist ein sehr teures Verfahren. Eine entsprechende Anlage kostet in etwa so viel wie ein Einfamilien-Haus und benötigt zusätzlich regelmäßige Wartungen. Das Metallpulver ist aufgrund der sehr geringen Metallpartikelgröße lungengängig und somit gesundheitsschädlich. Spezielle Luftabzugsanlagen und Schutzausrüstungen sind notwendig, um das Einatmen der Metallpartikel zu verhindern. Anwendung findet dieses Verfahren vor allem in der Medizin (Zahnmedizin, Prothesen) und in der Luft- und Raumfahrt.

Was ist Additive Fertigung?

Die *Additive Fertigung*, umgangssprachlich auch 3D-Druck genannt, umfasst sämtliche Verfahren, bei denen schichtweise ein 3D-Körper erzeugt wird. Ein wesentlicher Unterschied zu herkömmlichen Verfahren ist, dass keine Werkzeuge notwendig sind. Ebenfalls ist die Gestaltungsfreiheit bedeutend höher. Es lohnt sich besonders bei komplexen Geometrien und kleinen Stückzahlen, additiv zu fertigen.

Der 3D-Druck wird durch eine *Slicer-Software* vorbereitet. Verarbeitungsinforma-

tionen, wie beispielsweise das Material oder die Schichtdicke, werden eingestellt. Je dünner die eingestellte Schichtdicke, desto hochauflösender ist hinterher das Bauteil. Durch die Software wird der 3D-Körper in zahlreiche Schichten unterteilt. Die Schichtinformationen werden anschließend in einer *gcode-Datei* abgespeichert und dadurch für den 3D-Drucker lesbar gemacht. Der 3D-Drucker baut dann im Anschluss in einem iterativen Prozess anhand der Schichtinformationen den physischen 3D-Körper.

Metall-Filament 3D-drucken und sintern

Man kann auch mit dem heimischen 3D-Drucker Metall drucken: Dazu verwendet man spezielles Filament, das mit Metallpartikeln gefüllt ist. Dieses Verfahren gehört zu den indirekten 3D-Druck-Verfahren. Das fertige Teil wird nicht direkt durch den 3D-Druck, sondern erst durch einen nachgeschalteten Prozess bei einem Dienstleister „metallisch“. Für das 3D-Drucken benötigt man einen *FDM/FFF-Drucker*. Das ist ein 3D-Drucker, der Kunststoff-Filament aufschmilzt und dann einen Kunststoffstrang auf eine Bauplattform aufschichtet.

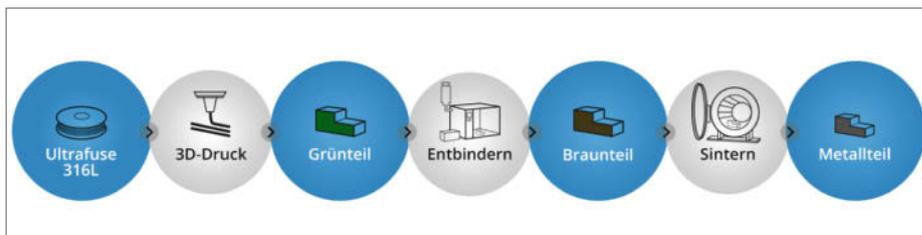
Die Besonderheit des *Metall-Filament-3D-Drucks* liegt – wie der Name schon vermuten

Nach Vollendung des Drucks wird das lose herumliegende, nicht geschmolzene Metallpulver abgesaugt. Die Druckergebnisse werden mit einer Säge von der Plattform getrennt. Die verbliebenen Stützstrukturen an den Bauteilen kann man dann mit einer Zange entfernen.

Die Oberfläche der Elemente, die durch Laser-Strahlschmelzen hergestellt wurden, ist nicht besonders eben – sie ist sogar schlechter als die von Gussteilen. Außerdem ist es mit diesem Verfahren nicht möglich, scharfe Kanten zu erzeugen. Das Druckobjekt ist während des Prozesses von allen Seiten mit



lässt – in dem verwendeten Filament: Dies besteht zum einen aus Kunststoff und zum anderen aus sehr kleinen Metallpartikeln. Die Metallpartikel sind im Kunststoff gleichmäßig verteilt. Bekannte Hersteller dieser Filamente sind *BASF* mit *Ultrafuse 316l* (benannt nach dem Edelstahl 316l) oder *Anycubic* mit dem *316l Metall Filament*. Der Durchmesser der Filamente beträgt 1,75mm. Je nach Spulengewicht liegen hier die Kosten bei etwa 100 Euro pro



Nachbearbeitungsprozess beim 3D-Druck von Metall-Filament

So gelingt der Metall-3D-Druck von Zuhause aus

Welche Modelle eignen sich für den 3D-Druck mit Metall-Filamenten?

Für den 3D-Druck mit Metall-Filament eignen sich besonders Teile, die flach und ohne Überhänge auf der Bauplattform liegen können. Üblicherweise werden Überhänge mit Stützmaterial (auch *Support* genannt) abgestützt. Der 3D-Drucker kann ja schließlich nicht in die Luft drucken, sondern benötigt stets für jede Schicht eine ausreichend große Kontaktfläche mit der darunterliegenden Schicht.

Bei diesem Druckprozess funktioniert das Entfernen des Stützmaterials aber längst nicht so einfach, wie bei normalen Kunststoff-Drucken. Das Stützmaterial kann erst nach dem Sinterprozess entfernt werden und ist mit dem metallischen Teil fest verbunden. Um das Stützmaterial zu entfernen, benötigt man schweres Gerät und viel Geduld, denn bei 316l handelt es sich um einen Edelstahl. Seine Vorteile sind eine besonders hohe Festigkeit und gute mechanische Eigenschaften – beim Entstützen ist das natürlich ungünstig.

Außerdem eignen sich flach auf der Bauplattform gedruckte Teile für den 3D-Druck mit Metall-Filamenten am besten, weil diese weniger Probleme beim Sinterprozess verursachen. Für den Sinterprozess benötigen die Teile ein Mindestmaß an Stabilität, das bei hoch aufragenden Teilen nicht gegeben ist. Dünne Wanddicken von unter 1,5mm oder eine große Variation von verschiedenen Wanddicken gilt es ebenfalls zu vermeiden.

Welche Einstellungen sind am 3D-Drucker vorzunehmen?

Anders, als man vielleicht vermuten würde, benötigen 3D-Drucker keine umfangreichen Anpassungen, um Metall-Filament zu

drucken. Das Filament eignet sich sowohl für *Bowden-* als auch für *Direktextruder*. Auch eine Bauraumheizung ist nicht zwingend notwendig. Einzig für die verbaute Düse ist eine Alternative empfehlenswert: Man sollte eine gehärtete Düse verwenden, da die Düse sonst durch den Kontakt mit den Metallpartikeln schnell verschleiben kann. Und um *Warping* zu vermeiden, muss man den Lüfter ausschalten.

Wie drucke ich mit Metallpartikeln gefüllte Filamente?

Bei der Vorbereitung des 3D-Drucks in der *Slicer-Software* ist es wichtig, die Druckobjekte flach auf der Bauplattform ohne Stützstrukturen zu positionieren. Zudem muss man die Modelle skalieren, damit man am Ende der Prozesskette auch tatsächlich die gewünschten Abmaße erhält. Bei *Ultrafuse 316l* liegen die Skalierungsfaktoren zum Beispiel auf der x- und y-Achse bei 1,2 und der z-Achse bei 1,26. Alle weiteren Daten für Düsentemperatur, Druckgeschwindigkeit und Druckbetttemperatur sind im Datenblatt des Herstellers angegeben.

Das Druckergebnis – das Grünteil – ist fragil und neigt dazu, bei der Entfernung von der Bauplattform auseinanderzubrechen. Abhilfe können hier spezielle Klebestifte schaffen. Diese trägt man vorher auf der Bauplattform auf. Anschließend kann man den Druck problemlos im Wasserbad ablösen. Entsprechende Klebestifte werden beispielsweise von *Magigoo3D* speziell für *Ultrafuse 316l* angeboten.

Versand und Nachbearbeitung der Metall-Drucke

Sind die Grünteile einwandfrei von der Bauplattform abgelöst, kann man bei Bedarf die Oberfläche nachbearbeiten. Grate



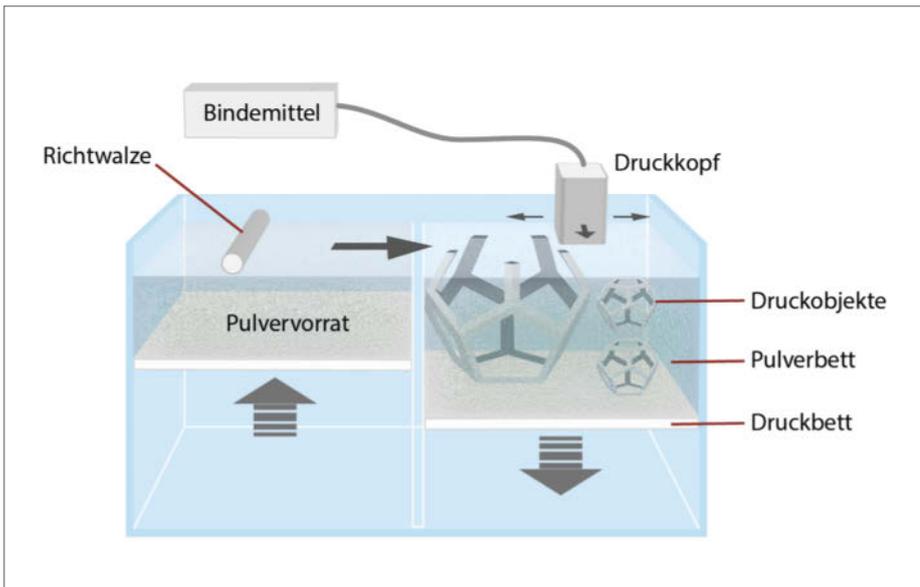
3D-Klebestift für Ultrafuse 316L Filament



Schrumpfende Teile: Vom Grünteil (links) bis zum fertigen Metallteil (rechts)

und Materialablagerungen lassen sich mit Schmirgelpapier gut entfernen.

Bei dem großen Aufwand, den man für das Drucken betrieben hat, sollte man nicht an der Verpackung sparen. Luftpolsterfolie hilft, damit während des Transports keine Brüche oder Risse entstehen. Zudem muss man meist über ein beiliegendes Dokument die Orientierung der Teile zur Bauplattform dokumentieren, damit die Grünteile in der Sinteranlage richtig orientiert werden können. Die Orientierung ist wichtig für die Schrumpfung der Grünteile in der Sinteranlage – die ja in der *Slicer-Software* einkalkuliert wurde. Die Genauigkeit liegt je nach Herstellerangaben bei ca. 0,01mm. Die fertigen Metallteile lassen sich wie gewöhnliches Metall bearbeiten.



Aufbau einer Anlage für Metal Binder Jetting

750g-Filament-Spule. Beim Einsetzen des Filaments fällt direkt auf, dass das Metall-Filament im Vergleich zu reinem Kunststoff-Filament deutlich schwerer ist, denn die Dichte von Metall ist um einiges höher als die von Kunststoff.

Beim 3D-Drucken mit dem heimischen 3D-Drucker wird nur der Kunststoff im Filament aufgeschmolzen, die Metallpartikel verbleiben im festen Zustand. Um Metall zu verflüssigen, wären Temperaturen weit über 1000°C notwendig. Die Metallpartikel werden während des Drucks eigentlich nur „in Position gebracht“.

Das nun entstandene Teil wird als *Grünteil* bezeichnet. Der 3D-gedruckte Körper besteht zu diesem Zeitpunkt aus Kunststoff als Bindemittel für die darin verteilten Metallpartikel. Die Festigkeit der Grünteile ist nicht allzu hoch, da die Metallpartikel noch nicht wirklich miteinander verbunden sind. Aus diesem Grund ist ein besonders vorsichtiger Umgang mit Grünteilen wichtig, um Beschädigungen zu vermeiden. Später gibt es hierzu noch ein paar nützliche Tipps.

Um aus dem Grünteil ein fertiges Metallteil zu zaubern, ist man auf einen Dienstleister angewiesen. Die nachfolgenden Schritte be-

nötigen viel Know-How und große technische Anlagen, die man als Hobbyist nicht zur Verfügung hat. Für den *Entbinderungs- und Sinterprozess* werden die Grünteile verpackt und via Paket an den Dienstleister geschickt.

Es gibt spezielle Dienstleister, die den Entbinderungs- und Sinterprozess für das Metall-Filament-3D-Drucken anbieten. Online kann man bei einem der Dienstleister ein Ticket für ein bestimmtes Zeitfenster erwerben. Bei *igo3D.com*, einem für das Filament *Ultrafuse 316l* zertifizierten Dienstleister, liegen die Kosten für den Entbinderungs- und Sinterprozess von 1kg Grünteilen bei 68,95 Euro. Nach zwei bis drei Werktagen ist der Prozess abgeschlossen und die fertigen Metallteile werden zurückgesendet.

Bei dem Entbinderungsprozess wird zunächst der Kunststoff aus dem Grünteil herausgelöst. Das sogenannte *Braunteil* enthält dann nur noch einen verschwindend geringen Anteil an Kunststoff – und zwar gerade so viel, dass das Braunteil seine Form behält. Im nächsten Schritt wird das Braunteil in einen Sinterofen gelegt. Dort werden bei hohem Druck und hohen Temperaturen die Metallpartikel versintert. Grob vereinfacht kann man sich den Sinterprozess so vorstellen, wie das Verdichten einer mit Sand gefüllten Form: Drückt man den Sand in der Sandform fest zusammen, erhöht sich die Festigkeit (siehe auch S. 118). Hinzu kommt, dass aufgrund der hohen Temperaturen einige Metallpartikel teilweise miteinander verschmelzen. Nach Vollendung des Sinterprozesses erhält man das fertige Metallteil.

Von allen derzeit möglichen 3D-Druck-Verfahren ist das 3D-Drucken mit Metall-Filament die günstigste Variante, Teile aus Metall zu drucken. Besitzt man bereits einen FDM/

FFF-3D-Drucker, fallen nur Kosten für die Umrüstung, das Filament und die Nachbearbeitung an. Bei dem noch sehr jungen Verfahren hat sich in den vergangenen Jahren die Auswahl an Materialien stetig verbessert. Neben *Edelstahl 316L* gibt es mittlerweile auch Kupfer und Bronze-Filamente. In der Entwicklung befinden sich weitere Materialien und ein spezielles Stützmaterial, das die Design-Freiheiten erhöhen könnte.

Metal Binder Jetting

Das *Metal Binder Jetting* besitzt viele Gemeinsamkeiten mit dem Metall-Filament-3D-Druck, da es nach dem Druck den gleichen Entbinderungs- und Sinterprozess durchläuft. Die Vorteile des Verfahrens liegen darin, dass Druckobjekte im Pulverbett übereinander stapelbar sind und somit deutlich mehr Teile in kürzerer Zeit gedruckt werden können. Im Vergleich zum Metall-Filament-Verfahren können auch feinere Schichtdicken eingestellt werden – dies verbessert die Auflösung des Ergebnisses.

Und so funktioniert's: Schichtweise wird beim *Metal Binder Jetting* Metallpulver aufgetragen und durch ein Bindemittel miteinander verklebt. Ein Heizstrahler härtet anschließend innerhalb weniger Sekunden das Bindemittel der aufgetragenen Schicht aus. Danach wird die Bauplattform um eine Schichtdicke nach unten gefahren und der Prozess beginnt von vorne.

Am Ende des Druckprozesses verbleibt ein Volumenkörper aus verklebten Metallpartikeln. Das Grünteil durchläuft anschließend die gleiche Prozesskette des Entbinderns und Sinterns wie beim Metall-Filament-Verfahren. Daraus ergeben sich ähnliche Einschränkungen hinsichtlich der Gestaltung: Ein großes Höhen- zu Breiten-Verhältnis ist auch beim *Metal Binder Jetting* notwendig.

Wachsausschmelzverfahren

Das *Wachsausschmelzverfahren* gehört ebenfalls zu den indirekten 3D-Druck-Verfahren und ermöglicht die Herstellung von filigranen Metallteilen. Die Besonderheit liegt darin, dass 3D-Druck und Gießereitechnik miteinander kombiniert werden.

Zuerst wird ein Modell über *Stereolithografie* (Resindruck) 3D-gedruckt. Spezielles Harz, das wie Wachs verarbeitet und ausgebrannt werden kann, wird in einer Wanne schichtweise von einem Laser oder Projektor belichtet, sodass sich an den belichteten Stellen das Harz verfestigt. Mit dieser Technik ergibt sich dann ein 3D-Modell, das man anschließend in einer UV-Kammer aushärten muss. Bei der Stereolithografie lassen sich sehr hohe Auflösungen fertigen.

Nun folgt der Clou: Das filigrane Harzmodell wird als Kern für eine Gussform ver-



formlabs

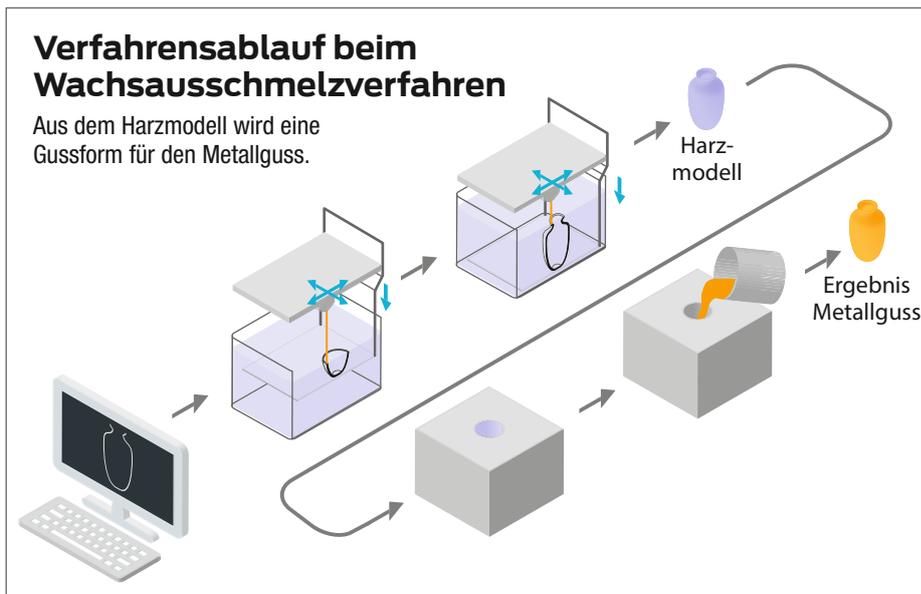
Filigrane Metalldrucke für die Schmuckindustrie

wendet. Zunächst wird das Harzmodell mit Gips umgeben. Nachdem der Gips getrocknet ist, kann nun das Harzmodell entfernt werden, indem es ausgebrannt wird. Dabei verbleiben im Gips die Abdrücke des Harzobjekts. Zuletzt wird, wie bei der herkömmlichen Gießertechnik üblich, das flüssige Metall in die Gussform gefüllt. Nachdem die heiße Metallschmelze abgekühlt und erstarrt ist, kann man das Metallteil aus der Gussform entfernen.

Die Werkstoffauswahl ist bei diesem Verfahren von allen Metall-3D-Druck-Verfahren am größten, da die Gießertechnik eine viel größere Auswahl an Werkstoffen liefert. Allein über 2500 Stahlsorten gibt es, die gegossen werden können – darunter auch die Edelmetalle Gold, Silber und Platin. Das Wachs-Ausschmelzverfahren lohnt sich besonders für filigrane Bauteile, die sich hervorragend fertigen lassen. Einschränkungen gibt es nur hinsichtlich der Wandstärke: Massive Wandstärken führen zu Einsenkungen und inneren Gießfehlern.

Metall-3D-Druck in der Massenfertigung

Dass der 3D-Druck mittlerweile den Weg von den Laboren in unseren Alltag findet, ist auf unterschiedlichsten Wegen zu beobachten. Besonders in der Luft- und Raumfahrt spielt der Metall-3D-Druck eine wichtige Rolle. *General Electric*, ein großer Triebwerkshersteller, fertigt bereits seit Jahren Teile in großer Stückzahl für Flugzeug-Triebwerke mittels Metall-3D-Druck. Die Einspritzdüsen der Flugzeug-Triebwerke, welche das Kerosin in die Brennkammer einspritzen, werden bei General Electric durch das *Laser-Strahlschmelzen* gefertigt. Eine Fertigung der komplexen Geometrie ist über herkömmliche Verfahren mit großem Aufwand verbunden. Bei einer Fertigung durch Laser-Strahlschmelzen lässt sich zusätzlich noch eine Gewichteinsparung (laut Herstellerangaben) von 25 Prozent realisieren, was den Treibstoffverbrauch und somit auch den CO₂-Ausstoß des Flugzeugs reduziert. Verbaut sind die Triebwerke in fast allen Passagierflugzeugen von Airbus und Boeing. —rehu



3D-gedrucktes Triebwerksteil vom Fraunhofer IWS, zu sehen auf der 3D-Druck-Messe Formnext 2018

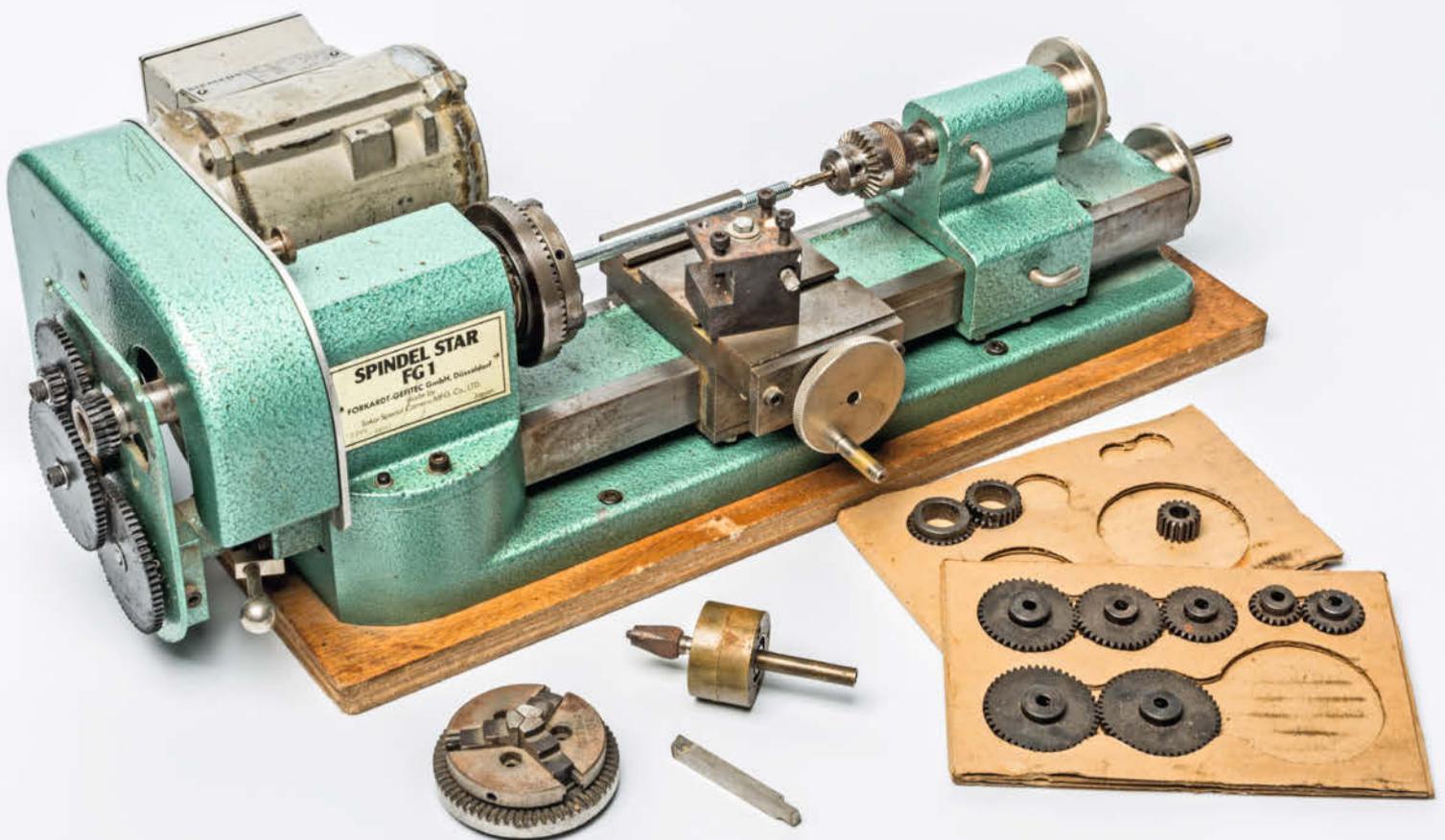
Übersicht: Metall-3D-Druck-Verfahren

Metall 3D-Druck	Herausforderungen	Geeignete Bauteile	Schrumpfung	Materialien	Kosten
Laser-Strahlschmelzen	Wärmeableitung → Verzug	Konstante Wandstärken, nach oben hin sich verjüngender Querschnitt	Nein	Edelstahl 316l, Kupfer, Titan	Sehr hoch
Metall-Filament	Stabilität bei Sinter-Vorgang → Auseinanderbrechen	Großes Weiten-zu-Höhen-Verhältnis	Ja	Edelstahl 316l, Kupfer, Bronze	Gering
Binder Jetting	Stabilität bei Sinter-Vorgang → Auseinanderbrechen	Großes Weiten-zu-Höhen-Verhältnis	Ja	Edelstahl 316l, Kupfer, Titan	Mittel
Wachs-Ausschmelz-Verfahren	Abkühlvorgang bei unterschiedlichen Wandstärken → Einsenkungen, Lunker	Gleichmäßige Wandstärken, auch filigrane Bauteile	Nein	Theoretisch alle Stahlsorten, Gold, Silber, Kupfer, Magnesium	Hoch

Metall und Drehmaschine

Watt is'e ne Drehmaschin? Da stellen ma uns mal janz... Nein, nicht dumm, sondern neugierig! Hier erfahren Sie, was man mit der Technik des Drehens bewerkstelligen kann, welche Werkzeuge dazu notwendig sind und was beachtet werden muss, falls man sich damit beschäftigt, eine Drehmaschine und das notwendige Equipment anzuschaffen.

von Hermann Dengler



Eine exakte Anleitung über die Technik des Drehens zu geben, würde den Rahmen dieses Heftes sprengen. Schließlich ist *Dreher* ein handwerklicher Beruf, den man in drei Jahren erlernen muss. Wer jedoch im DIY-Bereich mit dieser Technik liebäugelt, erhält hier einen Eindruck, was man damit anfangen kann und womit man zu rechnen hat.

Drehen gehört zu den spanabhebenden Fertigungsverfahren. Das Werkstück wird in einer Drehmaschine (Drehbank) eingespannt und rotiert. Als Werkzeuge werden Drehmeißel oder Bohrer verwendet, die parallel zur Rotationsachse oder senkrecht dazu bewegt werden (Vorschub). Dabei wird am Werkstück außen oder innen Material in Form von Spänen entfernt (daher spanabhebend).

Was kann man mit dem Verfahren herstellen? Einfach geantwortet: Alles, was innen oder außen rund ist. Als Formen sind beispielsweise möglich:

- Zylinder mit einheitlichen oder unterschiedlichen Durchmessern
- Kegel und Kegelstümpfe
- Innenbohrungen unterschiedlicher Durchmesser, auch mit größeren als den üblichen Bohrdurchmessern
- Innen- und Außengewinde, wobei man dazu sagen muss, dass Gewindeschneiden zu den Königsdisziplinen des Drehens gehört und sehr viel Erfahrung und Können voraussetzt
- gerändelte Oberflächen für besonders griffige Bauteile (Rändelschrauben beispielsweise)

Einige typische Drehteile zeigt Bild 1.

Werkstoffe

Fürs Drehen auf semiprofessionellen Maschinen eignen sich im Metallbereich hauptsächlich Aluminium, Messing und Stahl. Alu-



1 Typische, auf einer Drehmaschine hergestellte Teile

Kurzinfo

- » **Bestandteile einer Drehmaschine**
- » **Was Sie bei der Anschaffung beachten müssen**
- » **Nützliches Sonderzubehör**

Mehr zum Thema

- » Helga Hansen, IoT-Projekt: Fidget-Spinner nachgemessen, Online-Artikel
- » Roland, Gomeriinger, Tabellenbuch Metall, Europa-Fachbuchreihe für Metallberufe

Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xmj

minium und Messing lassen sich relativ unkompliziert drehen. Schwieriger wird es bei Stahl, da dieser eine höhere Festigkeit und Zähigkeit aufweist. Wenn man die richtige Schnittgeschwindigkeit, den geeigneten Vorschub und die Spantiefe berücksichtigt, ist die Bearbeitung von Stahl aber durchaus möglich, eine stabile Drehbank vorausgesetzt. Einige Edelstähle (siehe auch Artikel *Metalle*

für *Maker* auf Seite 6) haben eine sehr hohe Zähigkeit und können mit Drehmaschinen im DIY-Bereich nur sehr eingeschränkt (kleine Durchmesser) bearbeitet werden.

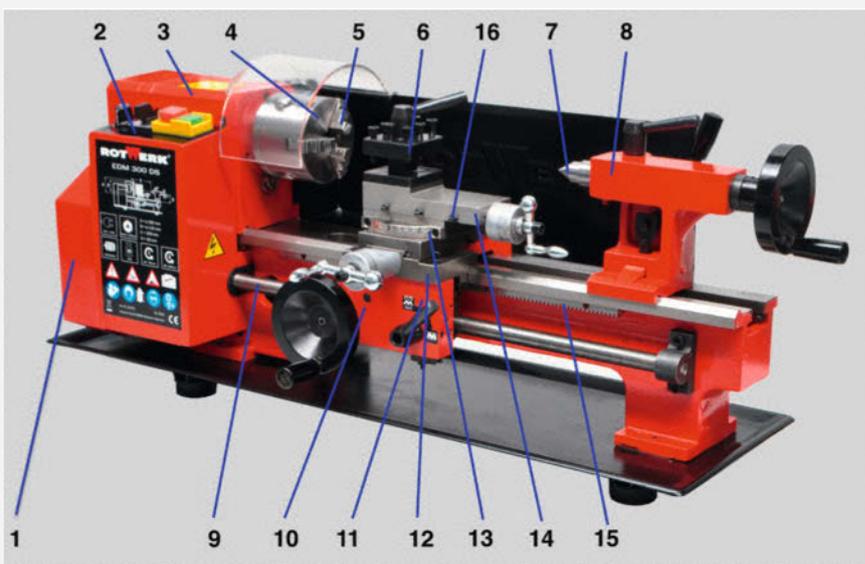
Kriterien bei der Bearbeitung

Wie zuvor bereits erwähnt sind beim Drehen folgende Parameter wichtig:

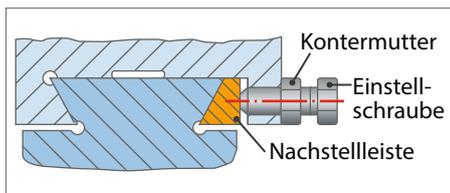
Bestandteile und Bedienelemente einer Drehmaschine

Hier zeigen wir Ihnen, was hinter den Fach-Bezeichnungen der Teile einer Drehmaschine steckt. Mechanisch gibt es da zwischen alten Maschinen (siehe Titelbild des Artikels) und neuen Geräten kaum

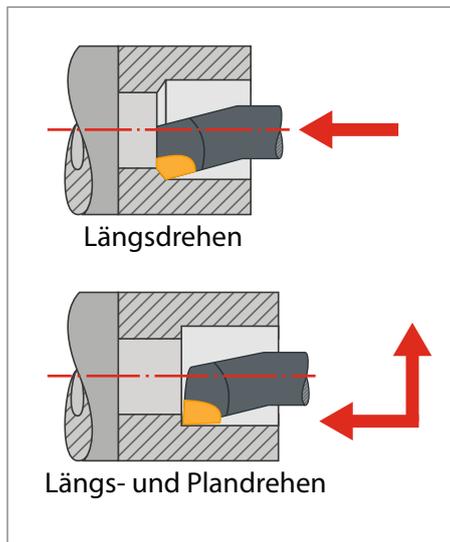
Unterschiede. Moderne Profi-Maschinen enthalten in der Regel Elektronik zur Drehzahl-einstellung bis hin zur computer-gesteuerten Steuerung von Drehzahl, Vorschub und mehr.



- 1 Wechselladerkasten, 2 Schalter, 3 Spindelstock, 4 Dreiflankenfutter, 5 Spannbacken, 6 Werkzeughalter, 7 Zentrierspitze, 8 Reitstock, 9 Gewindespindel Vorschub, 10 Langzug, 11 Schlosskasten, 12 Planschlitten, 13 Skala zum Kegeldrehen, 14 Oberschlitten, 15 Zahnstange für Langzug, 16 Einstellung Schwalbenschwanz-Spiel



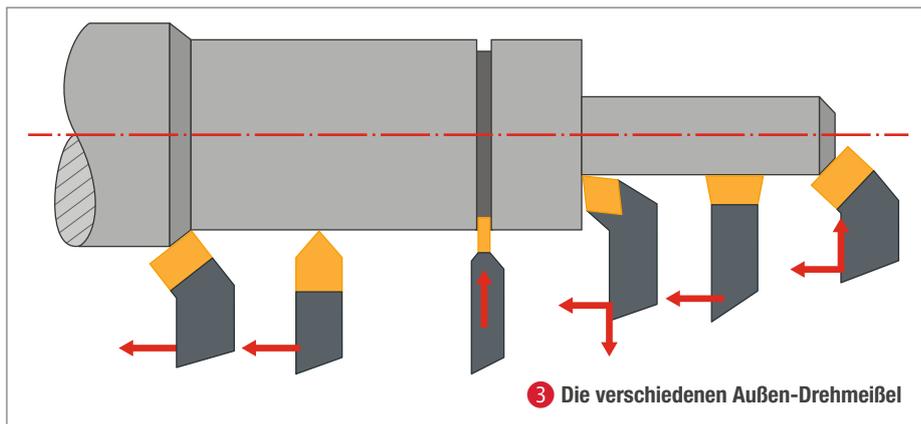
2 Durch die keilartige Konstruktion kann eine Schwalbenschwanzführung spielfrei eingestellt werden.



4 Innen-Drehmeißel

- Schnittgeschwindigkeit
- Vorschub
- Spantiefe

Alle drei Parameter sind in einer gewissen Abhängigkeit, zumal bei kleineren Drehmaschinen. So ist es beispielsweise schlecht mög-



3 Die verschiedenen Außen-Drehmeißel

lich, bei großer Spantiefe gleichzeitig einen maximalen Vorschub und maximale Schnittgeschwindigkeit anzuwenden. Das machen nur schwere Maschinen im professionellen Bereich mit.

Aus der zulässigen Schnittgeschwindigkeit berechnet sich die richtige Drehzahl nach

$$n = v / \pi \cdot d$$

Dabei ist

- n = Drehzahl in Umdrehungen/min
- v = zulässige Schnittgeschwindigkeit in m/min
- d = Durchmesser des Werkstückes in m
- π = 3,14...

Die zulässige Schnittgeschwindigkeit beträgt beim Einsatz von Hartmetall-Drehmeißeln

Werkstoff	Schnittgeschwindigkeit V (m/min)
Stahl	80 - 100
Messing	250 - 350
Aluminium	400 - 600

Oft haben die Maschinen keine direkte Drehzahlanzeige. Man kann sich einfache Drehzahlmesser zulegen, selbst bauen (siehe Online-Artikel *Fidget-Spinner nachmessen*) oder die Drehzahl abschätzen oder herleiten. Grundsätzlich gilt auch hier: besser eine geringere Drehzahl anwenden und die etwas längere Bearbeitungszeit in Kauf nehmen, als mit zu hoher Drehzahl Werkstück und/oder Werkzeug zu beschädigen.

Neben der Drehzahl ist der Vorschub der zweite wichtige Parameter. Er bezeichnet den Weg des Drehmeißels pro Werkstückumdrehung. Der Vorschub wird im Hobbybereich häufig sowohl beim Längsdrehen als auch beim Plandrehen händisch durchgeführt. Beim Längsdrehen bewegt sich das Werkzeug parallel zur Werkstückachse, beim Plandrehen parallel zur Stirnseite, also 90° zur Werkstückachse.

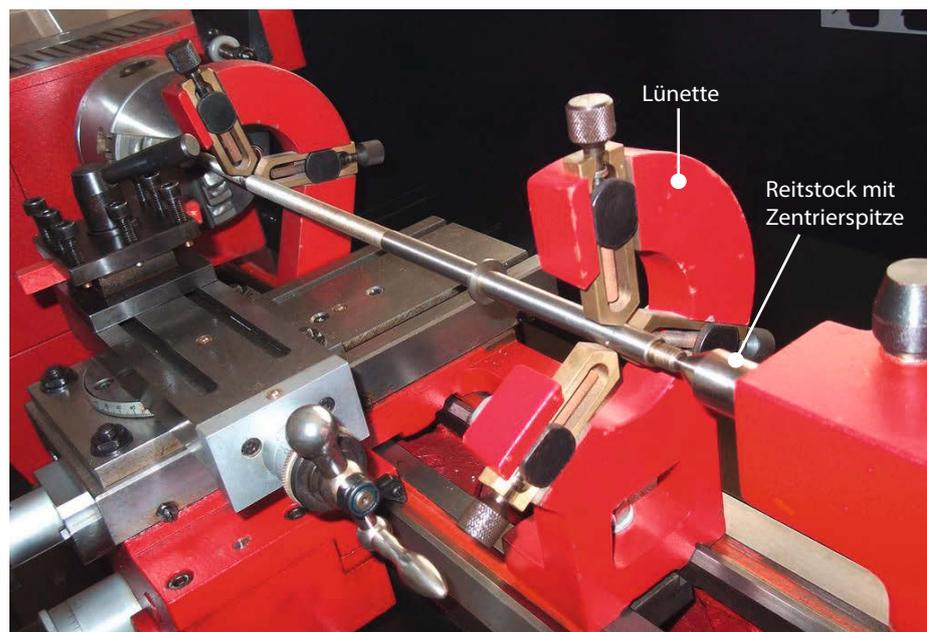
Mindest-Anforderungen an die Drehmaschine

Für zufriedenstellende Arbeitsergebnisse müssen die Maschine und auch die Werkzeuge einige Mindestanforderungen erfüllen: So sollte das Backenfutter (Dreibackenfutter) einen Durchmesser von 80 mm aufweisen, um Werkstücke bis zu einem Durchmesser von etwa 100 mm bearbeiten zu können.

Ober- und Planschlitten (sie führen das Werkzeug parallel zur Rotationsachse beziehungsweise um 90° versetzt dazu) sollten in einer Schwalbenschwanzführung 2 geführt sein, deren Spiel über Stellschrauben einstellbar sein muss. Die Kurbeln des Planschlittens und Oberschlittens müssen jeweils einen Nonius (Skalenring) besitzen.

Zum Gewindedrehen ist eine Gewindespindel für den Vorschub erforderlich sowie ein Satz Zahnräder zum Wechseln, mit denen die Steigung des Gewindes festgelegt wird. Der Vorschub erfolgt dann durch den Motor der Drehbank.

Das Drehmaschinenbett sollte aus Guss-eisen und mit Prismenführungen ausge-



5 Die drei Arme der feststehenden Lünette dienen als Zwischenlager für das lange dünne Werkstück.



6 Bei einer mitlaufenden Zentrierspitze findet die Drehung und damit die Reibung nicht in der Zentrierbohrung sondern im Lager der Spitze statt.

stattet sein. Je schwerer und stabiler die Maschinenkonstruktion, desto maßgenauere Werkstücke können hergestellt werden. Um kegelförmige Drehteile herstellen zu können, ist eine schräge Verstellung des Oberschlittens erforderlich. Dazu muss der Oberschlitten mit einer Skala zur Einstellung des Kegelwinkels ausgestattet sein.

Die Motorleistung sollte mindestens 250W betragen, Rechts- und Linkslauf sind erforderlich.

Daneben gibt es einige Zubehörteile, die man sich unbedingt zulegen sollte: Zum Drei- backenfutter gibt es einen zusätzlichen Satz innengestuftter Backen, mit denen sich auch Teile mit größerem Durchmesser einspannen lassen. Um Löcher zu bohren wird ein Bohrfutter erforderlich, das statt der Zentrierspitze im Reitstock eingesetzt werden kann.

Als Werkzeuge braucht man Zentrierbohrer und einen Satz Bohrmeißel mit Hartmetall- Schneideplatten. Der Satz sollte diese Teile enthalten **3** (von links nach rechts):

- gebogener Drehmeißel (zum Schruppen)
- spitzer Drehmeißel (zum Schlichten)
- Stechmeißel (zum Ab- oder Einstechen)
- abgesetzter Eckdrehmeißel (fürs Plandrehen und Absatz andrehen)
- breiter Drehmeißel (ebenfalls zum Schlichten)
- gebogener Drehmeißel (fürs Anfasen und Plandrehen)
- Innendrehmeißel zum Längs- und Plandrehen **4**

Anmerkung zum Schruppen und Schlichten: Beim *Schruppen* versucht man durch größere Spantiefe und größeren Vorschub möglichst viel Material abzutragen. Die Oberfläche ist zweitrangig. *Schlichten* dient zur Erzielung einer glatten Oberfläche mit geringer Rautiefe. Dazu werden kleine Spantiefen und Vorschübe gewählt. Es wird oft nach dem Schruppen eingesetzt.

Nice to have

Folgendes Zubehör ist für den Anfang nicht unbedingt notwendig, kann aber je nach Ambitionen sinnvoll sein.

Ein *Vierbackenfutter* zum Einspannen von Vierkantprofilen: Wenn beispielsweise an ein Vierkantprofil zentrische Bohrungen oder



7 Drehmeißel mit wechselbaren Schneidplatten aus Hartmetall

Zapfen angebracht werden sollen, ist ein Vierbackenfutter sehr hilfreich. Man kann jetzt fragen: Warum dann nicht gleich ein Vierbackenfutter anstelle eines standardmäßigen Dreibackenfutters? Die Antwort: Ein Drei- backenfutter kann auch nicht ganz runde Werkstücke stabil spannen, da drei Punkte immer anliegen. Bei einem Vierbackenfutter muss das einzuspannende Werkstück exakt rund sein, oder einen gleichmäßigen Vierkant aufweisen.

Eine *Lünette* zum Drehen langer und gleichzeitig dünner Werkstücke: Lange Werkstücke werden zwar an der aus dem Backenfutter herausragenden Stirnseite mit einer Zentrierbohrung versehen, in die die Reitstockspitze als Gegenlager eindringen kann. Dünne Werkstücke jedoch können sich beim Drehvorgang trotzdem biegen, was zu Maßungenauigkeiten führt. Die Lünette, auch Setzstock genannt, dient als Zwischenlager zur Verhinderung des Durchbiegens. Es gibt feste und mitlaufende Lünetten **5**.

Mitlaufende, also *drehend gelagerte Zentrierspitzen* haben den Vorteil, dass die Reibung an der Zentrierbohrung verhindert wird. Der Anpressdruck an die Zentrierbohrung kann stärker eingestellt werden. Das Werkstück hat dadurch einen besseren Halt **6**.

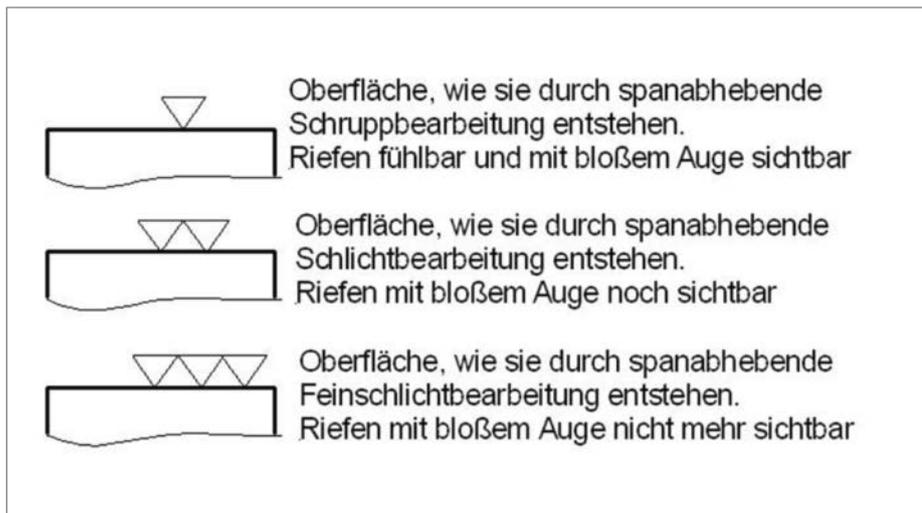
Drehmeißel mit *austauschbaren Hartmetallplatten* haben den Vorteil, dass die Schneideplatten getauscht werden können. Je nach Ausführung haben die Platten eine oder mehrere Schneidkanten. Letztere können durch Drehen der Platte deutlich länger

benutzt werden, bevor die Platte entsorgt werden muss **7**.

Vielstahlhalter können mehrere Drehmeißel aufnehmen. Damit ist ein schneller Werkzeugwechsel möglich. Die Unfallgefahr wird dadurch allerdings erhöht, da man sich beim Hantieren am Werkstück, beispielsweise beim Messen, leichter verletzen kann.



8 Schnellspann-Wechselhalter



9 Die Oberflächenzeichen sind genormt.

Schnellspan-Wechselhalter **8** ermöglichen ebenfalls einen schnellen Werkzeugwechsel und haben darüber hinaus den Vorteil, dass man die Meißelspitze damit exakt und schnell und ohne Unterlagen auf die richtige Spitzenhöhe einstellen kann. Die exakte Spitzenhöhe ist eine unbedingte Voraussetzung für ein gutes Arbeitsergebnis!

Ein Drehmeißel für die Herstellung von Innengewinden ist nur dann notwendig, wenn man sich an diese Disziplin herantraut. Viel Erfahrung und Können sind für das Drehen von Innengewinden erforderlich. Ein Hobbydreher ist dabei häufig überfordert.

Arbeitsplan

Werden komplexere Drehteile mit mehreren Durchmessern oder Oberflächen bearbeitet, ist es erforderlich, sich vorher einen genauen Plan

für den Ablauf und die Reihenfolge der einzelnen Arbeitsschritte zu machen. Dabei muss man vor Allem daran denken, dass das Werkstück immer exakt und fest eingespannt werden muss.

Finanzieller Aufwand

Wie bei anderen Arbeitsmaschinen und -Vorrichtungen gilt auch hier: Bei schlechter Ausrüstung verliert man schnell den Spaß an der Arbeit. Wenn man sich dazu entscheidet, sich eine Drehmaschine anzuschaffen, ist neben der finanziellen Überlegung ein ausreichend stabiler und gut zugänglicher Aufstellungsplatz die wichtigste Voraussetzung. Der Untergrund muss stabil sein, damit Vibrationen gering gehalten werden.

Brauchbare Maschinen kosten mindestens 700 bis 800 Euro. Einschließlich dem notwendigen Zubehör landet man schnell in Größen-

ordnungen von 1200 Euro und darüber. Gut erhaltene gebrauchte Maschinen können den Geldbeutel etwas schonen. Man sollte beim Gebraucht-Kauf unbedingt eine Arbeitsprobe machen. Wichtig ist auch zu prüfen, ob für die Maschine noch Ersatzteile beschafft werden können.

Alternative: Externe Beschaffung von Drehteilen

Werden nur selten Drehteile aus Metall benötigt und ist einem der finanzielle oder auch platzmäßige Aufwand für die Anschaffung einer eigenen Maschine zu groß, können Drehteile auch bei Lohndrehereien in Auftrag gegeben werden.

Folgende Vorgaben sind bei der Beauftragung notwendig:

- Definition des Werkstoffes, möglichst Angaben nach DIN
- Skizze des Werkstückes, Handskizze ist ausreichend. Wichtig ist, dass die Skizze alle Maße enthält.
- Angabe der zugelassenen Fertigungstoleranzen: Welche Abweichungen + oder - und mit wie viel Zehntel- oder Hundertstelmillimeter sind für den Verwendungszweck noch verträglich? Bei Passungen, also wenn ein Drehteil beispielsweise in ein Lager exakt passen muss, sind für Bohrungen oder Wellen Angaben nach DIN 7157 notwendig. Angaben hierzu findet man im *Tabellenbuch Metall* (siehe Kurzinfo).
- Für die Beschaffenheit der Oberflächen (Rautiefe) werden Oberflächenzeichen verwendet **9**.

An Stellen, an denen Gewinde angebracht werden sollen, ist die Angabe des Gewindedurchmessers erforderlich, beispielsweise für 8mm Durchmesser *M8*. —hgb



10 Auch eine Drechselbank, die ausschließlich Holz bearbeiten kann, ist eine Drehmaschine.



Sicherheit

Das Arbeiten an einer Drehmaschine setzt sehr diszipliniertes Verhalten voraus. Man muss sich darüber im Klaren sein, dass eine hohe Verletzungsgefahr besteht, wenn man leichtsinnig und oberflächlich arbeitet. Hervorstehende Backen am Backenfutter, umherfliegende und heiße Drehspäne sowie das Hineingreifen in scharfe Drehmeißel können zu erheblichen Verletzungen führen. Deshalb sind alle Schutzvorrichtungen an der Maschine, auch wenn sie manchmal hinderlich sind, beizubehalten. Die Sicherheitshinweise der Maschinenhersteller unbedingt beachten! Drehmaschinen sind kein Spielzeug!



API 2021

Die Heise-Konferenz zu Design, Entwicklung und Management von Web-APIs

1. Dezember 2021 – Online

Schnittstellen, die die Welt bedeuten

Die betterCode() API im Dezember 2021 gibt Ihnen Antworten auf zahlreiche Fragen:

- **REST:** Wo liegen die Schwächen? Welches sind die Alternativen?
- **API Coding Guidelines:** Wie machen die das bei Zalando?
- APIs **versionieren:** Muss das sein?
- **Asynchrone APIs:** Wo kann die AsyncAPI helfen?
- Sind APIs grundsätzlich **unsicher?**

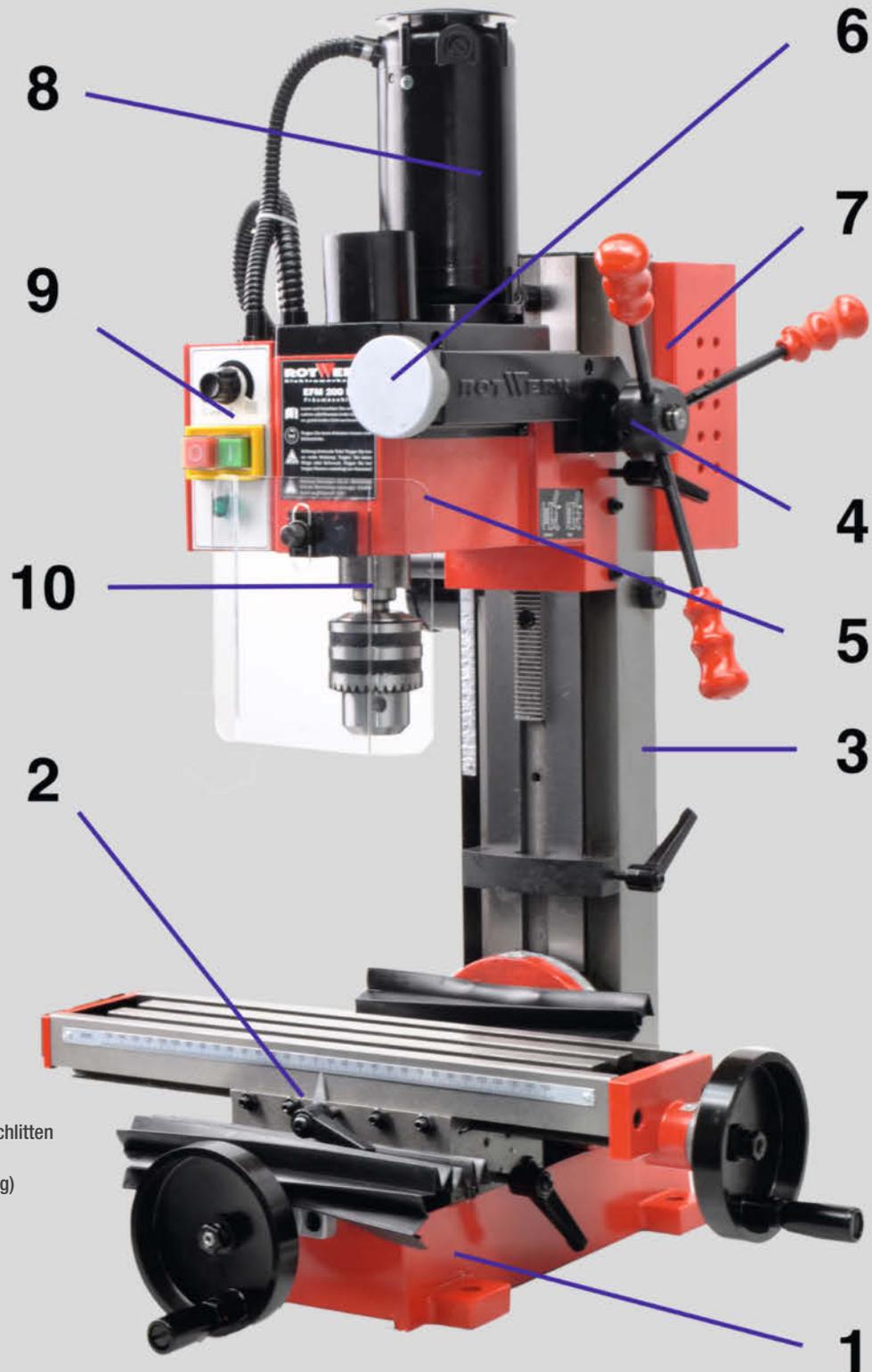
Jetzt
Tickets zum
**Frühbucher-
Rabatt**
sichern!



Metalle fräsen

Löcher, Schlitz, Taschen oder gar Verzahnungen: Solche Kunstwerke schafft man beim Fräsen. Hier erfahren Sie, was Ihre künftige Fräsmaschine haben sollte und was man mit dem Zubehör machen kann.

von Hermann Dengler



- 1 Maschinenfuß
- 2 Kreuztisch mit Quer- und Längsschlitten
- 3 Maschinensäule
- 4 Vorschubkreuz (Normalverstellung)
- 5 Fräskopf
- 6 Stellrad für Feinvorschub
- 7 Elektrik-Schaltkasten
- 8 Elektromotor
- 9 Bedienteil
- 10 Arbeitsspindel

Das Fräsen gehört wie das Drehen zu den spanabhebenden Bearbeitungen. Während aber beim Drehen das Werkstück rotiert und das Werkzeug parallel zur Rotationsachse und im 90°-Winkel dazu geführt wird, ist es beim Fräsen umgekehrt. Das Werkzeug, der *Fräser*, dreht sich. Dieser Fräser hat ein oder mehrere Schnittkanten an der (Unter-)Seite, die bei der Bewegung Material vom Werkstück abnehmen. Die Bewegung des Werkstücks in X- und Y-Richtung bestimmt die Form der Ausfräsung. In diesem Artikel geht es nicht, wie in den bisherigen Make-Artikel zu diesem Thema, um computergesteuerte Portalfräsen, sondern um händisch geführte Geräte.

Man unterscheidet zwei Arten von Fräsen: das *Stirn- oder Vertikalfräsen* und das *Walzen- oder Horizontalfräsen*. Letzteres wird ausschließlich im professionellen Bereich eingesetzt.

Eine weitere Unterscheidung besteht in der Fräsrichtung: Beim *Gegenlaufräsen* ist die Vorschubrichtung des Werkstückes der Drehrichtung des Fräasers entgegengesetzt. Beim *Gleichlaufräsen* sind Vorschubrichtung und Drehrichtung des Fräasers identisch. Gleichlaufräsen erzeugt eine glattere Oberfläche. Aber vorsicht: Beim Gleichlaufräsen besteht die Gefahr, dass das Werkstück in den Fräser hineingezogen wird. Um das zu verhindern, ist eine stabile Maschinenkonstruktion mit wenig Spiel in den Lagern und Führungen erforderlich. Weiter darf der Vorschub nicht zu groß sein.

Was kann man mit Fräsen alles herstellen?

- Nuten in Wellen und ebenen Flächen
- Langlöcher
- Schwalbenschwanzführungen
- Zahnräder
- Vertiefungen unterschiedlicher Formen wie Prismen und Radien
- exakt gebohrte Löcher, wobei sich die Maßgenauigkeit sowohl auf den Durchmesser, als auch auf den Lochmittenabstand bezieht, da eine Fräsmaschine gleichzeitig eine exzellente Ständerbohrmaschine ist.

Kurzinfo

- » So ist eine Fräsmaschine aufgebaut
- » Was man mit der Maschine herstellen kann
- » Mindestausstattung und nützliches Zubehör

Mehr zum Thema

- » Carsten Meyer, Die CNC-Dozentin im Interview, Make 4/20, S. 64
- » Birgit Hellendahl, Einstieg ins CNC-Fräsen, Make-Sonderheft 2020, Loslegen mit Holz, S. 102
- » Roman Radtke, Das erste Fräs-Projekt, Make 3/19, S. 106

Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xcrq

Werkstoffe

Hier gilt ähnliches wie beim Drehen. Bei den Metallen kommen Leicht- und Buntmetalle wie Aluminium und Messing zur Anwendung, aber auch Stahl und eingeschränkt Edelstähle. Die Einschränkung für Edelstähle gilt hauptsächlich aufgrund der Zähigkeit einiger dieser Werkstoffe. An die Stabilität der Maschine und auch der Werkzeuge werden dabei besondere Anforderungen gestellt.

Selbstverständlich können auf einer Fräsmaschine auch weniger feste Werkstoffe wie Holz oder Kunststoff, beispielsweise Acrylglas, bearbeitet werden.

Mindest-Anforderungen an die Fräsmaschine

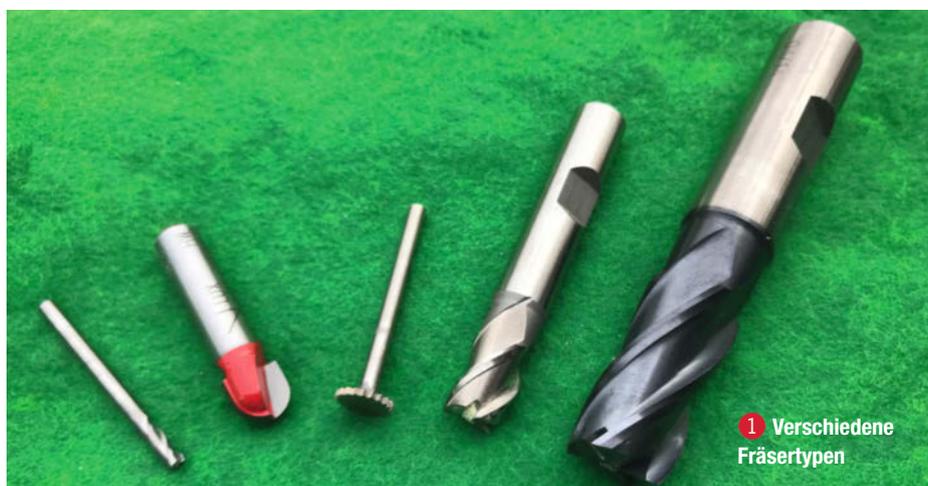
Sowohl die Führungen des Kreuztisches, als auch die Vertikalführung des Fräskopfes müssen als Schwalbenschwanzführung ausgeführt sein (siehe Bild 2 im Artikel *Metalle und Drehmaschine* auf Seite 142). Das Spiel der Führungen muss durch Stellschrauben einstellbar sein. Durch häufige Benutzung ändert sich nämlich das Spiel und muss dann nachjustiert werden

können. Falls diese Justierung nicht möglich ist, geht das Spiel in die Maße der gefrästen Teile mit ein und ein zufriedenstellendes Arbeitsergebnis ist nicht mehr gesichert.

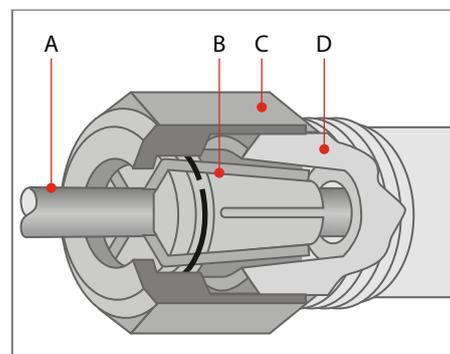
Die Maschine muss einen Quer- und einen Längsschlitten besitzen, damit alle Maße im Koordinatensystem (X- und Y-Richtung) angefahren werden können. Längs- und Querschlitzen des Kreuztisches und auch der Fräskopf müssen feststellbar sein. Wichtig ist eine massive Bauweise von Kreuztisch und Maschinensäule, möglichst in gusseiserner Ausführung. Je schwerer, desto besser, damit Schwingungen und somit unsaubere Oberflächen (Rattermarken) vermieden werden.

Die Fräserdrehzahl sollte stufenlos einstellbar sein. In der Vergangenheit haben Fräsmaschinen mit Getriebe und unterschiedlichen Riemenscheiben gearbeitet. Durch bürstenlose Gleichstrommotoren ist heute eine stufenlose Drehzahleinstellung möglich und häufig Standard.

Der vertikale Vorschub des Fräskopfes sollte einen Schnellvorschub und einen Feinvorschub besitzen. Der Schnellvorschub erfolgt häufig über ein Vorschubkreuz, der



1 Verschiedene Fräserarten



2 Das Werkzeug (A) sitzt in der konischen Spannzange (B). Dreht man die Haltemutter (C) auf den Spindelschaft (D), wird die Zange zusammengedrückt und hält das Werkzeug fest.



3 Spannzangen-Set



4 Maschinenschraubstock

Feinvorschub über ein Stellrad mit Skalenring. Die Stellung des Schnellvorschubes kann über ein Skalenband mit Millimeteerteilung angezeigt werden. Der Skalenring des Feinvorschubes ermöglicht Einstellungen auf Zehntelmillimeter genau. Damit kann der Fräskopf schnell grob positioniert und anschließend mit der Feineinstellung die exakte Frästiefe exakt eingestellt werden.

Zubehör-Grundausstattung

Mit der Fräsmaschine allein ist es noch nicht getan. Es sind noch einige Werkzeuge und weiteres Zubehör erforderlich.

Fräser: Dies sind die eigentlichen Werkzeuge. Es gibt sie in unterschiedlicher Ausführung **1**:

- *Langlochfräser* werden zur Herstellung von Keilnuten in Wellen eingesetzt. Es gibt Ausführungen mit zwei und drei Schneiden. Drei Schneiden arbeiten vibrationsärmer.

- *Schaftfräser* dienen zum Fräsen tiefer Nuten und Konturen.
- *T-Nutenfräser* können, wie der Name schon sagt, T-förmige Nuten in einem Arbeitsgang erzeugen.
- *Winkelfräser* werden zum Fräsen von Winkelprofilen wie Winkelführungen eingesetzt
- *Walzenstirnfräser* dienen zum Fräsen von Ecken und Planflächen.

Fräser werden hauptsächlich in der Ausführung mit Schnellarbeitsstahl (HSS-Stahl) angeboten. Teurer sind Hartmetallfräser, die bei Durchmessern von nur einigen Millimetern häufig in Vollhartmetall zu kaufen sind. Hartmetallfräser bleiben gegenüber HSS-Fräsern zwar länger scharf und können mit höherer Schnittgeschwindigkeit betrieben werden. Durch die extreme Härte sind sie jedoch auch bruchempfindlich. Schon wenn einem der Fräser aus der Hand und auf den Boden fällt, kann er kaputtgehen.

Fräser können bei kleineren Durchmessern bis etwa 8mm in Bohrfutter eingespannt und betrieben werden. Einen besseren Rundlauf und stabilere Halterung bieten aber Spannzangen **2** **3**. Die komplette Spannzangenhalterung ist optimalerweise am oberen Ende kegelförmig (Morsekegel) und in einem entsprechenden Gegenstück in der Spindelwelle der Fräsmaschine befestigt. Eine zusätzliche Ankerschraube sichert die Befestigung.

Bezüglich der anzuwendenden Drehzahlen und Schnittgeschwindigkeiten können die Tabellen und Angaben wie in den Artikeln zum Bohren und Drehen in diesem Heft angewandt werden.

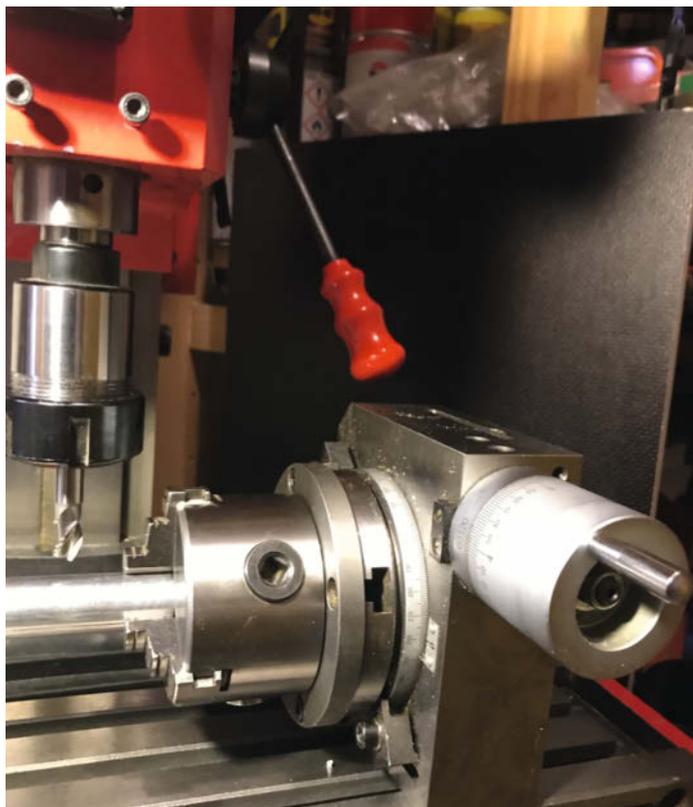
Maschinenschraubstock: Um exakte Bohrungen anzubringen und möglichst unfallfrei zu arbeiten, muss das Werkstück fest und sicher eingespannt sein. Ein stabiler Maschinenschraubstock ist deshalb ein unbedingtes Muss. Der Maschinenschraubstock sollte geschliffene und gehärtete Backen besitzen und



5 Spannpratzen-Set



6 Teilapparat für DIY-Bereich
- waagerechte Ausführung



7 Teilapparat für senkrechte Ausführung mit Dreibeckenfutter



8 Ausdrehkopf

die Möglichkeit bieten, den Schraubstock fest auf dem Tisch der Maschine zu befestigen. Dies kann mit Schrauben und dazugehörigen T-förmigen Kulissensteinen oder mittels Spannpratzen geschehen 4.

Spannpratzenset: Größere oder unförmige Werkstücke können nicht immer im Maschinenschraubstock eingespannt werden. Die Befestigung erfolgt dann direkt auf dem Maschinentisch (Längsschlitten). Dazu sind Spannpratzen sowie geeignete Schrauben und Muttern erforderlich. Damit man für alle Längen und Höhen ausgerüstet ist, empfiehlt sich unbedingt die Anschaffung eines Spannpratzensets, wie im Bild 5 gezeigt.

Weiteres nützliches Zubehör für erweiterte Anwendungen

Teilapparat: Mit einem Teilapparat lässt sich das Werkstück unter dem Werkzeug drehen. So kann man Werkstücke mit bestimmten Teilungen herstellen. Hierzu zählen Zahnräder, Vier-, Sechs- oder andere Vielkante oder gleichmäßig verteilte Bohrungen in Scheiben, siehe Bilder 6 und 7.

Der Teilapparat kann sowohl mit und ohne Dreibeckenfutter eingesetzt werden. Außerdem kann er um 90 Grad gekippt werden, sodass das eingespannte Werkstück waagrecht positioniert ist. Die Teilung kann entweder über die Winkelstellung oder mittels Lochscheibe erfolgen.

Drehzahlanzeige: Teurere Maschinen besitzen eine digitale Drehzahlanzeige oder eine Schnittstelle, um eine solche nachzurüsten. Damit können optimale Drehzahlen und somit Schnittgeschwindigkeiten bezogen auf die verwendeten Fräser und Werkstoffe eingestellt werden.

Links-Rechtsumschaltung: Zum Gewinbeschneiden mit Gewindebohrern ist eine Umschaltung der Drehrichtung erforderlich.

Schwenkbare Maschinensäule: Schwenkbare Maschinensäulen bieten die Möglichkeit, Flächen in einem bestimmten Winkel zu fräsen, ohne dass das Werkstück umgespannt werden muss. Diese Einrichtung ist nur bei Maschinen mit sehr stabilem Maschinenfuß und ebensolcher Maschinensäule sinnvoll.

Ausdrehkopfset mit unterschiedlichen Drehmeißeln: Mit einem Ausdrehkopf können größere Lochdurchmesser ausgedreht werden. Der Ausdrehkopf hat einen Schlitten mit Schwalbenschwanzführung und Skala. Damit können sehr exakte Maße im Zehntelmillimeter-Bereich eingestellt werden. Auch hier ist eine stabile Bauweise der Fräsmaschine Voraussetzung 8.

Zusammenfassung

Mit einer Fräsmaschine besitzt man gleichzeitig eine komfortable Ständerbohrmaschine. Wer sich mit der Anschaffung einer Fräsmaschine befasst, sollte einschließlich des

notwendigen Zubehörs mit Kosten von mindestens 900 Euro rechnen. Kommen Teilapparat und andere Schmankerl dazu, liegt man auch schnell bei 1.100 Euro und darüber.

Wer sich mit Projekten wie einem Heißluftmotor 9 befasst, kommt allerdings ohne Drehbank und Fräsmaschine nicht zurecht. Aber nicht nur die Ausstattung ist von Bedeutung. Auch hier gilt: Übung macht den Meister. —hgb

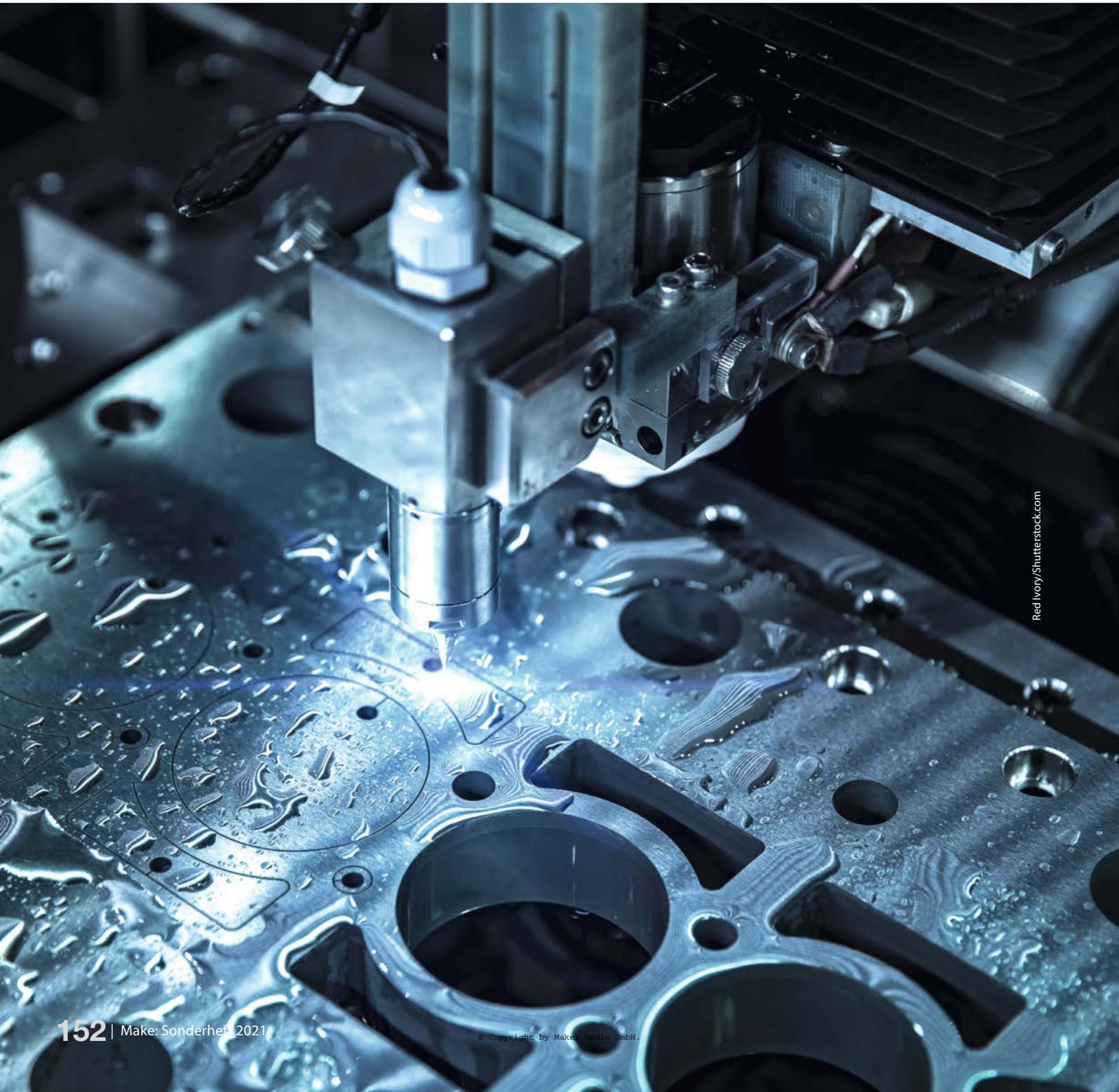


9 Selbst gebauter Heißluftmotor – für solche Projekte braucht man eine Drehbank und eine Fräsmaschine.

Bleche und Platten per CNC-Auftrag

Neben der klassischen Metallbearbeitung wie Sägen, Feilen und Bohren gibt es seit einiger Zeit noch weitere spannende, aber nicht „spanende“ Methoden, wie sich Teile fertigen oder bearbeiten lassen – nämlich mit Laser- oder Wasserstrahlen. Als Dienstleistung ist das auch für den Maker interessant.

von Gerd Michaelis



Red Ivory/Shutterstock.com

Make-Leser werden sich zwar fragen, was so ein Artikel in einem Heft zu den Grundlagen der Metallbearbeitung zu suchen hat, denn die Maschinen, die diese Bearbeitungsarten ermöglichen, liegen weit oberhalb des Budgets des durchschnittlichen Hobbybastlers. Aber das heißt ja noch nicht, dass wir uns diesen Verfahren nicht doch mal nähern können, um zu verstehen, was da genau wie passiert und um die Vor- und Nachteile einschätzen zu können.

Zudem sind das längst keine exotischen Verfahren mehr – mit Sicherheit gibt es auch in Ihrer Nähe einen Lohnfertiger, der Teile mit einer Wasserstrahl- oder Laser-CNC-Maschine bearbeiten kann, denn das ist schnell, exakt und kostet keine Unsummen. Auch kleinere Handwerksbetriebe, für die sich die Investition in eine derartige (teure) Maschine nicht lohnt, wenden sich oft an die Profis. Warum also nicht einfach mal hingehen und nachfragen, ob beim nächsten Auftrag etwas für uns mit erledigt werden kann?

Üblicherweise haben nämlich ein Handwerksbetrieb und sein CNC-Teilefertiger eine Abmachung getroffen, die für beide Aufwand spart: Der Besteller prüft selbst und sorgt dafür, dass die Vorlagen korrekt sind, er kennt die Preise, bestellt regelmäßig und zahlt deshalb keine Überprüfungs- und Einrichtgebühren, sondern quasi nur Material und Maschinennutzung; der Fertiger muss die Prüfung nicht selbst machen und auch nicht für jeden Auftrag erst ein schriftliches Angebot erstellen. So haben beide etwas davon – und wir auch, wenn wir uns da einklinken können. Direkt einen Teilefertiger anzusprechen kann natürlich auch klappen, wenn man einen in seiner Nähe hat oder idealerweise vielleicht sogar jemanden gut kennt, der da arbeitet.

Laserschneiden

Der Vorgang des Laserschneidens ist ein thermisches Verfahren und funktioniert mit ziemlich vielen Materialien. Es ist lediglich erforderlich, dass der Laserstrahl so viel Energie in das Material einbringen kann, dass es sich verflüssigt, verbrennt oder sogar verdampft – das kennen Sie vielleicht schon von den kleinen Lasercuttern. Die Leistungen der Profi-Laser liegen allerdings im Bereich bis zu etlichen Kilowatt, das ist allein schon aus Sicherheitsgründen definitiv nichts mehr für den Hobbykeller. Der Laserstrahl erhitzt das Werkstück lokal, das heißt lediglich an der Schneidkante, sehr schnell bis zum Schmelzpunkt. Und mit einem unter Druck stehenden Prozessgas (oft Stickstoff) wird das verflüssigte, verbrannte oder verdampfte Material aus dem Schnittpalt geblasen. Die Prozesse heißen dann entsprechend *Laserstrahlschmelzschnneiden*, *Laserstrahlbrennschnneiden* und *Laserstrahlsublimationsschnneiden*.

Kurzinfo

- » Auftragsfertigung beim Dienstleister
- » Laserschneiden von Stahl- und Aluminiumblech
- » Wasserstrahlschnneiden

Checkliste

-  **Zeitaufwand:**
1 bis 3 Stunden für Vorlagenerstellung
-  **Entwerfen:**
Bedienung eines Vektor- oder CAD-Zeichenprogramms
-  **Software:**
Vektor-Zeichenprogramm (Illustrator, Inkscape, CorelDraw) oder 2D-CAD-Programm
-  **Lieferzeit:**
Oft bis zu zwei Wochen, abhängig vom Dienstleister

Mehr zum Thema

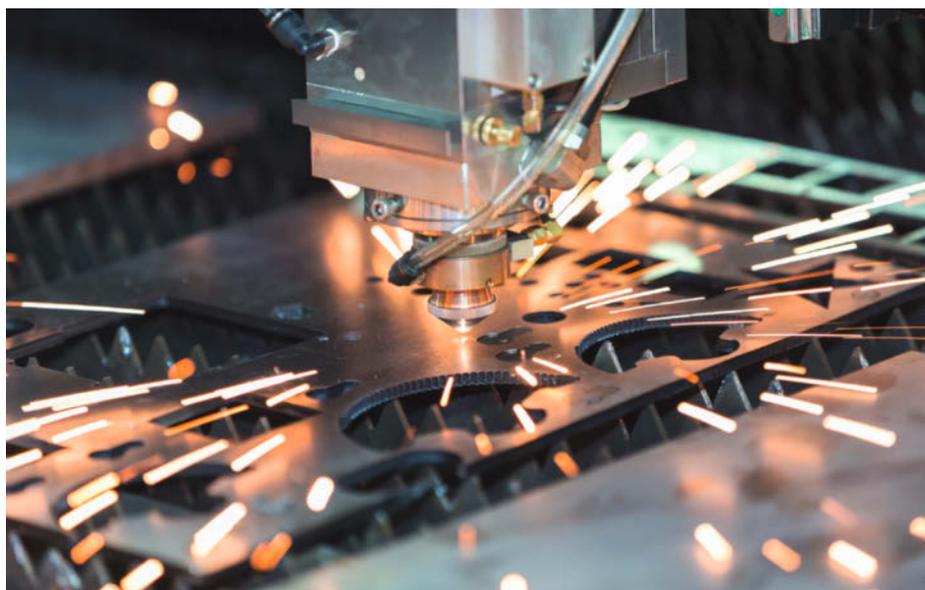
- » Roman Radtke, Plasmaschnneiden für Padawane, Make 2/21, S. 104
- » Ben Krasnow, DIY-Wasserstrahlschneider, Make 5/18, S. 116

Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xzkr

Für uns ist diese Unterscheidung aber eher akademisch – Hauptsache, das Material ist weg und unser Teil ist entlang des gewünschten Wegs ausgeschnitten. Der Schneidspalt ist so schmal, dass man in der Regel auf eine „Werkzeugkorrektur“ per CAM-Software verzichten kann; es wird einfach die Kontur der Vektorgrafik (vorzugsweise als DXF-Datei angeliefert, dazu später mehr) geschnitten.

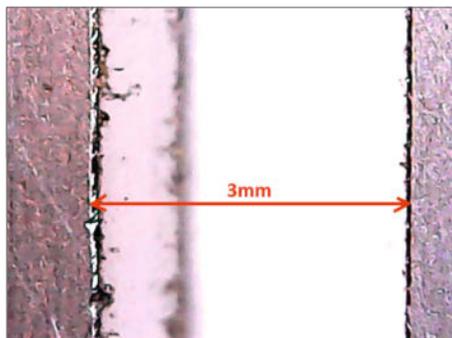
Üblicherweise werden Aufträge mit gleichem Material und Dicke gebündelt und in einem Arbeitsgang aus einer großen Blechtafel heraus gelasert. Das reduziert die Rüst-

zeiten und den Preis, hat aber die Konsequenz, dass es bei unüblichen Dicken schon einige Zeit dauern kann, bis der Fertiger genügend Aufträge für eine Tafelgröße beisammen hat, sodass sich das Einrichten der Maschine lohnt. Stahl und Edelstahl können bis etwa 40 oder 50mm Dicke geschnitten werden. Aluminium und Kupfer reflektieren dagegen mehr Laserlicht und leiten sehr viel Wärme ab, da geht selbst mit viel optischer Leistung nicht mehr als etwa 10mm. Aus diesem Grund nehmen Laser-Bearbeitungszentren Aufträge in dicken Aluminiumplatten eher ungern an.



Aumm Graphixphoto/Shutterstock

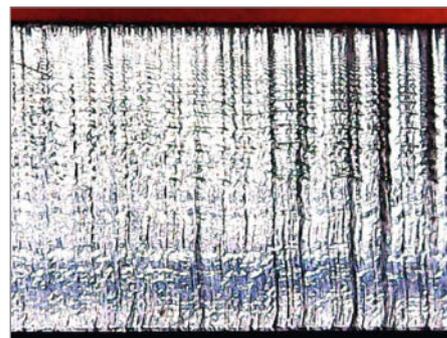
Laserschneiden ist besonders bei Stahl- und Edelstahlblech ein wirtschaftliches Trennverfahren mit hoher Präzision. Der Lichtleiter zum Schneidkopf muss dabei optische Leistungen im Kilowatt-Bereich übertragen.



Als Nachbearbeitung fällt beim Laserschneiden lediglich das Entgraten an. Die Schneidkante ist oben recht scharfkantig, hier zu sehen an der Mikroskopaufnahme eines 3mm-Langlochs.



An der Unterseite bildet sich ein kleiner Grat von ausgeblasenem Material, hier als dunkler (oxidiertes) Streifen erkennbar. An der Einstichstelle (unten im Bild) entsteht ein etwas größerer Grat.



Mikroskopische Aufnahme der Schnittkante an einem 4mm-Edelstahlblech: Der Schnitt weist maximale Rautiefen unter 0,1mm auf, was Nacharbeiten oft erübrigt.

Für die meisten Anwendungen dürften wir es im Hobbybereich aber eher mit wenigen Millimetern starkem Material zu tun haben – und solches Zeug geht täglich in großen Mengen durch die Laserschneidmaschine; darauf müssen wir nicht lange warten. Der größte Bastler-Vorteil dieses Verfahrens dürfte vermutlich bei geringen Blechdicken liegen. Wer schon mal versucht hat, einen eckigen Ausschnitt oder nur ein rundes Loch in ein Blech mit 0,1mm Dicke zu bohren oder zu feilen, der weiß, was ich meine: Das geht gar nicht, weil das Material ausweicht. Laserschneiden ist aber nahezu kraftfrei in Schnittrichtung, damit lassen sich auch sehr dünne Bleche oder Folien problemlos bearbeiten. Beispiele dafür sind Edelstahl-Schablonen für Lötpaste oder Kleber in der SMD-Fertigung mit „Dicken“ von zum Teil nur 20µm.

Obwohl so auch Einzelstücke gefertigt werden, bietet sich CNC-Laserschneiden insbesondere dann an, wenn man mehrere (identische) Teile fertigen lassen will. Und gegenüber der eigenen Herstellung ist das Ergebnis ungleich genauer: Die Bohrung sitzt exakt da, wo sie sein soll, nichts verläuft oder schlägt aus; rechteckige Ausschnitte haben exakt gerade Kanten, die Ecken sind scharfwinklig und es lassen sich Formen ausschneiden, die mit keinem Handwerkzeug gehen.

Der Nachteil ist nur die „Latenzzeit“: Es geht nicht mal eben schnell am Sonntagnachmittag, man ist auf Arbeits- und Lieferzeiten angewiesen, was dann halt eine etwas vorausschauendere Planung erfordert. Im unten abgebildeten Beispiel habe ich vor einiger Zeit für einen Anbau von vier Mover-Antrieben an einem Anhänger ein paar Teile in 6mm-

Edelstahl benötigt. Es erfordert nicht viel Phantasie sich vorzustellen, dass es keinen Spaß macht, die alle von Hand aus einem Blech herauszusägen. Da habe ich dann doch lieber eine Woche gewartet, bis der Laser das für mich erledigt hatte.

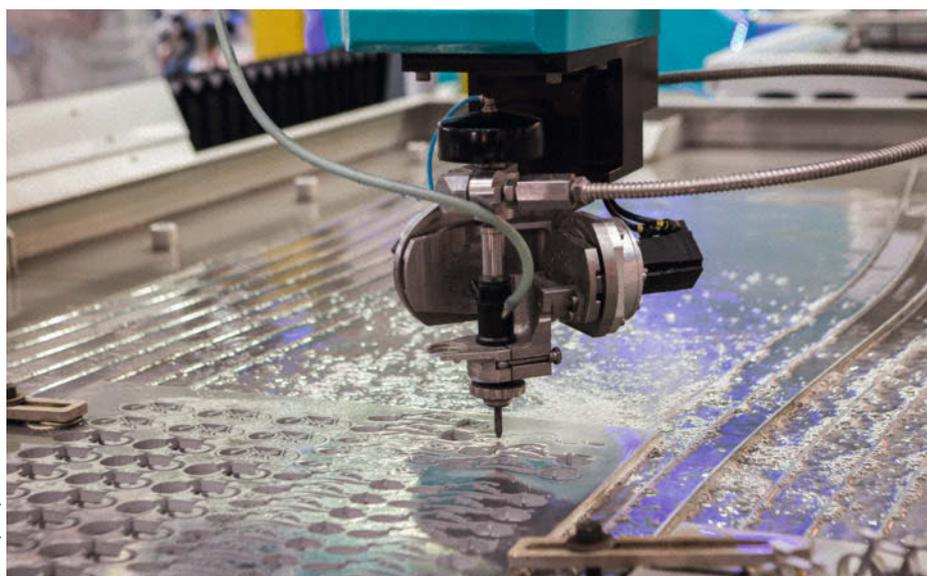
Durch die Erhitzung und recht schnelle Abkühlung tritt ein gewisser Härteeffekt an den Schnittkanten ein, der aber meist nicht stört. Die Schnittkante besitzt im unteren Teil größere Riefen als oben, bei dickeren Blechen tritt das noch stärker in Erscheinung, im Bild zu sehen am Beispiel eines 4mm-VA-Blechs. Die Rautiefen liegen aber auch in diesem Fall unter einem Zehntelmillimeter.

Nacharbeiten

Falls das dem eigenen ästhetischen Empfinden nicht entsprechen sollte, dann bleibt nur der Griff zur Feile, zum Beispiel an der sichtbaren Außenkante von Frontplatten. Bei Ausschnitten können wir uns das aber fast immer sparen, da wird ja ohnehin ein Element eingesetzt, welches die Kante verdeckt. Und auch bei vielen Konstruktionsteilen ist die Schnittkante nicht sichtbar, weil dort entweder ein anderes Teil ein- oder angesetzt wird, oder eine Schweißnaht hinkommt.

Bei empfindlichen Oberflächen, wie zum Beispiel bei gebürstetem Edelstahl, ist auf der Oberseite eine Schutzfolie aufgebracht, die vor dem Laserschneiden nicht entfernt wird, denn die fertig geschnittenen Teile sollen ja auch noch weiterhin geschützt sein. Die Folie verschmort an den Schnittkanten natürlich auch, aber die Rückstände lassen sich nach dem Abziehen der Folie mit etwas Spiritus oder Lösungsmittel leicht wegwischen.

Die Erhitzung mittels Laser erlaubt nicht nur das vergleichsweise rigorose Trennen. Wenn man die Leistung richtig einsetzt, kann man damit hartlöten, beschriften, schweißen, beschichten, 3D-drucken oder Oberflächen



Bei einem Düsendurchmesser im Zehntelmillimeter-Bereich kann man auch beim Wasserstrahl-schneiden oft auf eine „Werkzeugkorrektur“ per CAM-Software verzichten. Das Verfahren eignet sich besonders für weiche und extrem harte Materialien.

Factory Easy/Shutterstock

härten. Unter den Links im Info-Kasten kann man sich beispielhaft ansehen, wie solche Maschinen aussehen, funktionieren und konstruiert sind.

Wasserstrahlschneiden

Im Gegensatz zum Laserstrahlschneiden erfolgt beim Schneiden mit Wasser keine Erhitzung des Materials. Das Werkstück bleibt nahezu kalt, es werden keine Gefüge umgewandelt und die Materialeigenschaften bleiben deshalb so gut wie unverändert, auch ist die Schnittkante fast vollkommen gratfrei. Es gibt kein thermisches Verziehen und es entstehen keine gesundheitsschädlichen Dämpfe oder Gase. Das sind alles gute Gründe, warum in einigen Branchen, zum Beispiel der Automobil-, Luftfahrt- oder Lebensmittelindustrie, häufig mit Wasser geschnitten wird.

Die Drücke sind enorm, es kommen bis zu mehrere Millionen Hektopascal (für die Älteren unter uns: mehrere tausend Bar) zum Einsatz. Das Wasser wird in einer Düse mit einem Durchmesser von etwa 0,08 bis 0,35 mm sehr fein gebündelt und durch den Druck beschleunigt. Der Wasserstrahl tritt mit so hoher Geschwindigkeit aus, dass er aus der Werkstückoberfläche winzigste Teilchen herausreißt. Die

Tröpfchenbildung ist dabei so langsam, dass der Strahl selbst bei vergleichsweise niedrigen Drücken erst ein gutes Stück nach dem Verlassen der Düse auffächert und damit überhaupt erst sichtbar wird. Umgekehrt ist es aber auch so, dass der Wasserstrahl durch das Material in Abhängigkeit von dessen Beschaffenheit eine gewisse Führung erfährt. Dadurch kann man auch wesentlich höhere Materialstärken sauber trennen, als es aufgrund der Strahlauffächerung an der Luft zu erwarten wäre.

Aufgrund der extremen Geschwindigkeit des Wasserstrahls lassen sich gerade weiche Materialien (Gummi, Weich-PVC, Schaumstoff) vorteilhaft schneiden, und im Unterschied zum Laserschneiden müssen die auch nicht schmelzbar sein. Schaumgummi zum Beispiel ist im Hobbykeller recht frustrierend, wenn



Teuer, weil High-Tech: Hochdruckpumpe und Druckübersetzer mit rund 4000 bar für eine Wasserstrahl-Schneideanlage.

KMT Waterjet

es darum geht, gerade Schnitte hinzubekommen, denn die zum Schneiden mit einer Klinge erforderliche Kraft verformt das Material. Der alte Trick, den Schaumstoff etwas Wasser aufsaugen zu lassen, dann einzufrieren und mit der Kreissäge zu schneiden hilft ja nur beim Ablängen, aber nicht beim Ausschneiden von Formen; Wasserstrahlschneiden ist hier das Mittel der Wahl.

SO SPANNEND KANN WISSEN SEIN!

Das Magazin, das Wissen schafft.

TESTEN SIE WISSEN MIT 30% RABATT!

2 Ausgaben für nur 11,20 €* statt 15,80 €* im Handel

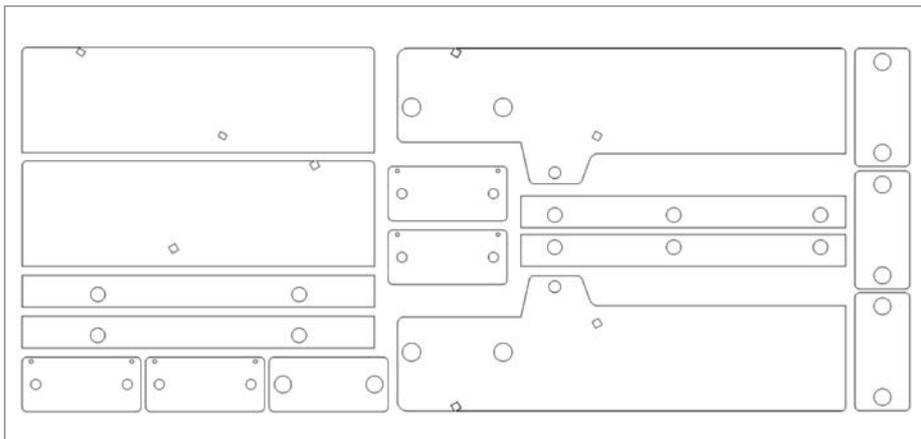
*Preis in Deutschland.



+ Geschenk

Jetzt bestellen:

www.emedia.de/wissen-mini



In den DXF-Daten für den Fertiger ordnet man die Teile so an, dass möglichst wenig Verschnitt entsteht. In der Zeichnung darf nur der Werkzeugweg enthalten sein, keine Beschriftungen und dergleichen.

Selbst komplizierte Formen von z.B. Elastomer-Dichtungen lassen sich so schnell, genau und effizient herstellen. Auf industriellen Fertigungslinien werden übrigens zunehmend auch Lebensmittel mit dem Wasserstrahl in Stücke oder Scheiben geschnitten, weil damit verschiedenste Forderungen sehr einfach erfüllt werden können: Keine Veränderung des Lebensmittels, Keimfreiheit (die ergibt sich schon aufgrund der immensen Drücke), kein Abstumpfen/Verschmieren/Verstopfen des Schneidwerkzeugs und damit kurze Rüstzeiten, schnelle Positionierung. Sogar Wasser kann man mit Wasser schneiden, zumindest im gefrorenen Zustand, wie die Firma KMT Waterjet Systems auf ihrer Homepage (siehe Links im Info-Kasten) in Videos sehr eindrucksvoll zeigt. Dort finden sich noch viele weitere eindrucksvolle Anwendungsbeispiele der Wasserstrahltechnologie.

Mit Wasser kann man sogar Papier direkt auf einer Walzenoberfläche aus Metall schneiden; ich habe das vor einigen Jahren in einem Projekt selbst gesehen und kein anderes Verfahren hätte das geschafft. Der Techniker, der damals die Schneideanlage in Betrieb genommen hat, sagte, dass er für unsere Anwendung den Druck ziemlich absenken müsse, damit er uns nicht den Stahlzylinder in zwei Teile schneidet. Das war zwar vermutlich etwas übertrieben, denn zum Schneiden von harten Materialien wie Stahl oder Titan wird dem Wasser üblicherweise noch feinkörniges *Abrasiv* zugegeben, weil es sonst zu lange dauert, bis alleine durch Wasser genügend Material abgetragen worden ist. Das Verblüffende war allerdings, dass die Papierkante beim Trennen nicht einmal nass wurde; der Strahl hat die Fasern so schnell auseinandergeschlagen, dass die gar keine Zeit hatten, Wasser aufzusaugen.

Weich gegen Hart

Beim Schneiden mit Abrasiv wird prozesstechnisch noch unterschieden zwischen *Einste-*

chen und *Schneiden der Kontur*. Das Einstechen in besonders spröde Materialien oder in solche mit einem laminaren Aufbau kann dazu führen, dass bei maximal eingestelltem Wasserdruck das jeweilige Material reißt oder es zu Delaminationen (Absplitterungen) kommt. Dies ist bei Glas, Granit, Marmor und verschiedenen Sandwich-Materialien der Fall. In diesen Fällen sticht man bei Drücken zwischen 500 und 1000 bar in das Material ein, um eine Startbohrung zu erzeugen. Dieses Einstechen erfolgt mit kleinsten kreisenden Bewegungen des Schneidkopfes, um die Partikel, welche bereits Material am Werkstück abgetragen haben, zusammen mit dem Material aus der Einstichbohrung heraus zu spülen und Platz für neue, energiegeladene Abrasivpartikel zu schaffen. Man spricht hier auch von *Dynamic Piercing*.

Ist die Einstichbohrung geschafft, wird die Pumpe auf Hochdruck geschaltet – dies sind Drücke ab ca. 3500 bar bis über 6000 bar – um die eigentliche Kontur zu schneiden. Dabei werden die Abrasivpartikel durch den Wasserstrahl beschleunigt und erodieren so das Material entlang der Schnittkante aus dem Werkstoffverbund. Je größer die Geschwindigkeit der Abrasivpartikel, desto energiegeladener sind sie, um die Konturen in der entsprechenden Geschwindigkeit herauszuschneiden. Die Strahlgeschwindigkeit hängt dabei maßgeblich vom eingestellten Druck an der Hochdruckpumpe ab, wobei ihn der Maschinenoperator für ein optimales Schneidergebnis an das jeweilige Material anpasst.

Wasserstrahlschneiden ist ähnlich weit verbreitet wie Laserschneiden, und es gibt in wirklich sehr vielen Städten Deutschlands Lohnbetriebe, die ihre Dienste im Bereich Wasserstrahlschneiden anbieten. Gerade weil es dem Wasserstrahl egal ist, was er zu schneiden hat, bauen viele Betriebe ihren Geschäftserfolg auf dieser Flexibilität auf – etwa indem sie das Ausschneiden beliebiger Formen in Keramikfliesen und Natursteinplatten anbieten.

Die Chancen, einen passenden Partner für unser Hobbyprojekt zu finden, sind tatsächlich ganz gut. Fragen Sie einfach mal den Metallbaubetrieb in Ihrer Nähe, vielleicht hat er jemanden an der Hand. Und mit Suchbegriffen wie „Wasserstrahlschneiden als Dienstleistung“ lassen sich viele dieser Firmen im Internet finden; manche liefern Standardbleche sogar über eine Online-Bestellung. Das Laserschneiden ist zwar bei der Metallbearbeitung tendenziell etwas günstiger als das Wasserstrahlschneiden, aber in Abhängigkeit der Gegebenheiten wie Losgröße, Rüstkostenanteil und Qualitätsanforderungen sowie wegfallender Nacharbeiten wie Entgraten kann das Wasserstrahlschneiden in Summe die bessere Alternative sein; bei etlichen Materialien sogar die einzig mögliche.

Digitale Vorlage

Nachdem das Laserschneiden ebenso wie Wasserstrahlschneiden ein CNC-Verfahren ist, benötigt der Teilefertiger nicht einfach eine händische Skizze, sondern etwas maschinenlesbares. Weil es viele Hersteller von CNC-Maschinen gibt, hat man sich schon vor langer Zeit auf einen Standard geeinigt, nämlich DXF (Drawing Interchange File Format), der ursprünglich von Autodesk spezifiziert und offengelegt wurde. Das ist für Hobbybastler ein Vorteil, denn es gibt sehr viele erschwingliche Programme, die in DXF exportieren können, etwa das beliebte *Corel-Draw*. Ich habe eine Zeitlang sogar *Microsoft Visio* dafür missbraucht, aber die Exporte waren nicht immer stabil: Manchmal konnte der Fertiger die Datei öffnen, manchmal nicht. Auch die DXF-Exporte aus Inkscape sollte man vor der Bestellung genauer unter die Lupe nehmen.

Aber prinzipiell beherrscht wirklich jedes x-beliebige CAD-Programm den DXF-Export, deshalb verwende ich jetzt *Turbo-CAD*. Ältere Versionen davon bekommt man für kleines Geld; es geht ja nicht um die neuesten Features. Ich schätze, dass ich noch bei keinem meiner Projekte mehr als Linie, Rechteck, Bogen und Kreis benötigt habe, und 2D-Fähigkeiten reichen dafür vollkommen aus. Die erstellte DXF-Datei schickt man dann zusammen mit den Angaben zu Material, Blechdicke und Stückzahl entweder direkt an den Fertiger oder eben den Metallbaubetrieb Ihres Vertrauens, der das dann weitergibt. Bitte bei unüblich großen oder kleinen Teilen auch die Dimensionen mit angeben; DXF kennt nämlich keine Standard-Dimensionen und der Laserschneider nimmt daher an, dass die Zahlenwerte in der DXF-Datei Millimeter sind und nicht Meter oder Mikrometer. Unsere DXF-Exporte ergaben in der Einstellung *AutoCAD 2007, Millimeter* beim Fertiger die wenigsten Nachfragen. —cm

Für Wissenshungrige und Maker

Zubehör und Lesestoff



Raspberry Pi-Kameras

Aufsteckbare Kameras, optimiert für verschiedene Raspberry Pi-Modelle mit 5 Megapixel und verschiedenen Aufsätzen wie z. B. Weitwinkel für scharfe Bilder und Videoaufnahmen.

shop.heise.de/raspi-kameras

ab 18,50 € >



Aluminium-Case FLIRC

Das hochwertige Gehäuse aus stabilem Aluminium ist ideal, um den Raspberry Pi 4 als Media Center zu verwenden. Das elegante Design integriert sich optimal in jede Wohnumgebung. **Auch im Set mit Raspi 4 Model B 2GB erhältlich.**

shop.heise.de/flirc

23,90 € >



NEUER PREIS!

ArduiTouch-Set

Setzen Sie den ESP8266 oder ESP32 jetzt ganz einfach im Bereich der Hausautomation, Metering, Überwachung, Steuerung und anderen typischen IoT-Anwendungen ein!

shop.heise.de/arduitouch

~~69,90 €~~

36,90 € >



NEUER PREIS!

Komplettset Argon ONE Case mit Raspberry Pi 4

Das Argon One Case ist eines der ergonomischsten und ästhetischsten Gehäuse aus Aluminiumlegierung für den Raspberry Pi. Es lässt den Pi nicht nur cool aussehen, sondern kühlt auch perfekt und ist leicht zu montieren. Praktisch: alle Kabel werden auf der Rückseite gebündelt ausgeführt – kein Kabelsalat!

~~117,60 €~~

shop.heise.de/argon-set

99,90 € >



Thomas Riegler

Erste Schritte in der Elektronik

Für den perfekten Start in die Welt der digitalen Elektronik. Anhand vieler erklärender Bilder und Schaltpläne werden die Grundlagen und der sichere Umgang mit Elektronik vermittelt.

ISBN 9783645606707

shop.heise.de/buch-elektronik

19,95 € >



28% RABATT

Make Family + Makey-Paket

Darüber freut sich die ganze Familie: „Make Family“ - das vollgepackte PDF-Magazin mit 21 Anleitungen zum kreativen Basteln mit Kids auf über 200 Seiten. Dazu: der knuffige Makey-Plüschroboter und der Makey-Lötbausatz mit LEDs und Batterie.

~~27,70 €~~

shop.heise.de/makey-paket

19,90 € >



Detlef Ridder

Autodesk Fusion 360 (3. Auflage)

Praxiswissen für Konstruktion, 3D-Druck und CNC. Eine praktische Einführung in die wichtigsten Funktionen des umfangreichen, cloudbasierten CAD/CAM-Programmsystems Fusion 360.

ISBN 9783747503553

shop.heise.de/fusion360

29,99 € >

9 JAHRE BASTLER-KNOW-HOW KOMPAKT

Make Komplettarchiv 2011–2020.
54 Ausgaben Make
auf 32 GByte USB-Stick

shop.heise.de/make-archiv20

99,90 € >



PokitMeter – Multi- meter, Oszilloskop und Logger

PoKit misst, zeigt und protokolliert eine Vielzahl von Parametern wie Spannung, Strom, Widerstand und Temperatur mittels Verbindung via Bluetooth mit Ihrem Smartphone oder Tablet.

shop.heise.de/pokit

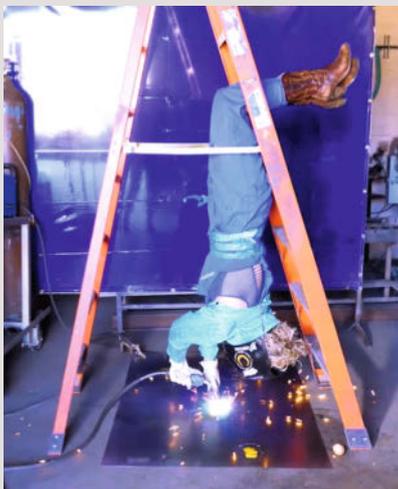
94,90 € >

heise Shop

shop.heise.de >

Thea Ulrich

YouTube-Schweißerin mit Akrobatik-hintergrund



Wer auf Thea Ulrichs Instagram-Account schaut, sieht sie erst in der Schutzmontur beim Schweißen, dann wie eine Schlangenfrau um ein hängendes Metallgerüst gewickelt. Der Kontrast ist Programm, denn die YouTuberin begann ihre Karriere einst als Luftakrobatin im Zirkus. Um ihren Wunsch umzusetzen, auch eigene Shows zu entwickeln, lernte sie an der Uni dann das Schweißen. Daher sind die Metallgerüste, in denen sie auftritt, heute meistens selbst geschweißt. Ihr Wissen gibt sie außerdem in Schweißworkshops weiter. Die eigentlichen Jobs der Künstlerin waren bisher aber meist Auftragsarbeiten – spezielle Werkstücke für Film- und Fernsehproduktionen und individuelle Barbecue-Smoker.

Als während der Coronazeit diese Aufträge wegblieben, startete sie auf YouTube mit einer Maker-Challenge. Drei zufällig gezogene Kärtchen ergaben dabei absurde Aufgaben, etwa Papier-tüten zu verbrennen, um eine Tapete zu gestalten. Inzwischen widmet sie sich Fragen wie „Kann man Eier mit einem Schweißgerät kochen?“ Die Antwort ist übrigens „Nein“. Aber dafür erfüllt sich Ulrich einen alten Traum und treibt den Versuch auf die Spitze – indem sie kopf-über in einer Leiter hängt und dann ein Ei schweißt. —hch

URL [instagram.com/theaulrich](https://www.instagram.com/theaulrich)

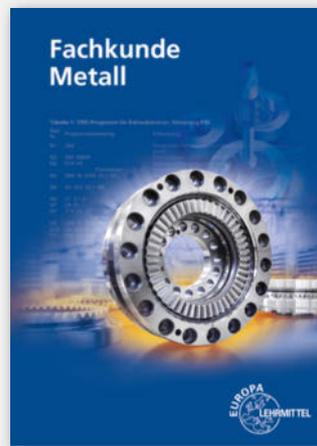
Fachkunde Metall

Wer in den vergangenen Jahrzehnten eine Berufsausbildung absolviert hat, hat (je nach Gewerk) gute Chancen, dabei mit *Europa Lehrmitteln* in Kontakt gekommen zu sein. Die Bücher dieser Marke genießen zu Recht einen so guten Ruf, dass sich auch viele Hobbyhandwerker zum Nachschlagen und Vertiefen der eigenen Kenntnisse Fachbücher von *Europa* zulegen.

Zugegeben: Bei der *Fachkunde Metall* in der aktuellen (58.!) Auflage hat man als interessierter Laie doch eine Menge Stoff vor sich, denn das Werk deckt die ganze Bandbreite der Themen ab, die in den Maschinenbauberufen (vom *Zerspanungsmechaniker* bis zum *Technischen Produktdesigner*) relevant sind. Deshalb reicht das inhaltliche Spektrum von den klassischen *Feilen, Sägen, Bohren* bis zum Qualitätsmanagement und zur Automatisierung der Fertigungstechnik – allein das Stichwortverzeichnis umfasst 20 Seiten. Dafür bleibt aber

kaum eine Frage offen, etwa wenn man in diesem Heft auf Seite 50 über den Begriff *Funkenerodieren* stolpert und mehr dazu wissen will.

Das Buch ist gespickt mit Fotos und schematischen Zeichnungen, die bei aller Klarheit (jedenfalls für Technikerds) auch visuell genug Futter liefern, sodass man sich stundenlang in diesem Band verlieren kann. Ob in der Lehre oder zum eigenen Spaß: Die *Fachkunde-Bücher* von *Europa* sind eine Anschaffung fürs Leben – zumindest aber bleiben sie über viele Jahre praktisch nutzbar, ohne in großen Teilen zu veralten. —pek

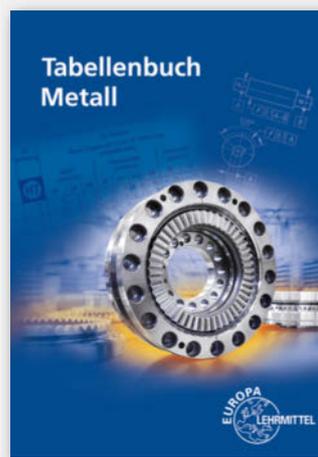


Autoren J. Burmester, J. Dillinger, W. Escherich, E. Ignatowicz, S. Oesterle, L. Reißler, A. Stephan, R. Vetter, F. Wieneke
Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co KG
Umfang 704 Seiten mit CD (Bilder und Tabellen interaktiv)
ISBN 978-3-8085-1290-6
Preis 41,30 €

Tabellenbuch Metall

Anders als die *Fachkunde Metall* verführt das *Tabellenbuch Metall* weniger zum Schmökern, ist dafür aber auf Effizienz beim Nachschlagen optimiert: Dank der Griffmulden in den Seiten schlägt man mit einer Fingerbewegung die gewünschte Abteilung auf – sei es *Technische Mathematik* oder *Physik, Werkstoff- oder Fertigungstechnik, Maschinenelemente* oder *Automatisierungstechnik* – und findet auf der jeweils ersten Seite des gewünschten Bereichs ein

detailliertes Inhaltsverzeichnis, mit dessen Hilfe sich die benötigten Diagramme und Tabellen schnell auffinden lassen. Und da ist so gut wie alles denkbare im Angebot, von Schraffur-Arten in technischen Zeichnungen über Kennzeichen auf Gasflaschen bis hin zu G-Codes aus der CNC-Steuerung; natürlich dürfen auch Kenngrößen für Normgewinde



ebensowenig fehlen wie Formeln für die Berechnung von Kräften und Drehzahlen beim Drehen und Fräsen. Optional und gegen geringen Aufpreis steckt in einer Tasche des hinteren Umschlags eine separate Formelsammlung mit 56 Seiten, in der besonders häufig gebrauchte Daten, Fakten und Formeln noch mal kompakt zusammengefasst sind. —pek

Autoren R. Gomeringer, R. Kilgus, V. Menges, S. Oesterle, T. Rapp, C. Scholer, A. Stenzel, A. Stephan, F. Wieneke
Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co KG
Umfang 496 Seiten
ISBN 978-3-8085-1728-4
Preis 27,30 €, 28,90 € mit Formelsammlung, 45,30 € mit CD

Alles Schrott?

Ein Werkbuch zum Gestalten mit Altmittel

Die ersten drei Kapitel (die ungefähr die Hälfte des Buches ausmachen), widmen sich ausführlich den Grundlagen: Mit welchen Metallen hat man es bei der Arbeit mit Schrott zu tun, wie lassen sie sich bearbeiten und wie identifiziert man sie etwa anhand von optischem Eindruck, Gewicht, Klang oder Funkenbild beim Flexen? Welche Werkzeuge braucht man und wie nutzt man sie? Als Verbindungstechnik steht naturgemäß das Schweißen im Vordergrund, aber auch Techniken wie Nieten, Kleben, Gewindegewinde stellt die Autorin ausführlich und durchaus anfängertauglich vor.

In der zweiten Hälfte des Buchs stehen hingegen eher die gestalterischen Fragen im Vordergrund. So zeigt Martina Lauinger anschaulich, wie viele unterschiedliche Möglichkeiten dasselbe Schrottfundstück bietet. So können aus den Zinken eines Heuwenders je nach Geschmack und Bedarf eine Ständer- oder Wandgarderobe, Windlichthalter oder unterschiedlichste Tierplastiken entstehen; aus zwei Schaufeln wird ein Stuhl und aus Verkehrsschildern und Stahlroh-

ren eine Sitzgruppe. Dabei diskutiert die Autorin an den konkreten Beispielen jeweils deren spezielle technische Probleme, die es zu lösen galt: Manchmal müssen Aluminium und Stahl verbunden werden, mal geht es um die Stabilität der Konstruktion, oft ist aber auch eine angemessene Oberflächenbehandlung das Problem. In diesem Teil des Buches gibt es auch viele (durchaus inspirierende) Beispiele für Gestaltungen mit Schrott zu sehen, wobei sich Kunstobjekte und praktisch nutzbares wie Möbel, Leuchten und Feuerkörbe oder Grills angenehm die Waage halten. Ein inspirierendes Buch, das gleichzeitig solide Grundlagen vermittelt. —pek



Autorin	Martina Lauinger
Verlag	Haupt
Umfang	256 Seiten
ISBN	978-3-258-60088-8
Preis	49,90 €

Bau dein eigenes Fahrrad

Das Werkstattbuch – reparieren, restaurieren, warten

Der Haupttitel des Buches lässt sich (speziell im Umfeld einer Zeitschrift wie *Make*) leicht missverstehen – denn auf den 120 Seiten dieses Buches lernt man keineswegs, wie man sich etwa selber einen Rahmen schweißt. Es geht vielmehr – da ist der Untertitel deutlicher – darum, aus Standard-Teilen fahrbereites Rad zusammenzufügen, sei es im Rahmen einer gründlichen Wartung und Reparatur oder weil man etwa ein Vintage-Rennrad wieder flott machen und bei der Gelegenheit nach den eigenen Wünschen modifizieren will. Speziell auf dieses Szenario ist das Buch zugeschnitten, daher gibt es

auch keine systematischen (und potenziell akademischen) Übersichten aller denkbaren Schaltungs-, Bremsen-, Lenker- und Rahmenvarianten – stattdessen plaudert hier ein vollbärtiger Autodidakt aus Kopenhagen aus dem Nähkästchen und macht dabei aus seiner persönlichen Vorliebe für alte Rennräder keinen Hehl.

Der Text setzt dabei anfängerfreundlich wenig Vorkenntnisse voraus und die vielen Fotos zeigen meist anschaulich, was gemeint ist – manche sind aber auch einfach nur schön. Mit dieser hochwertigen Aufmachung eignet sich das Buch ideal als Geschenk, falls Sie mal auf diesem Weg jemanden stupsen wollen, der schon ewig davon spricht, endlich mal sein altes Rennrad wieder flott zu machen – mit dieser Anleitung gibt es dann keine Ausrede mehr, das Vorhaben aufzuschieben, bis die Retrowelle schon wieder durch ist. Das Buch kann aber auch nützlich sein, wenn Sie ein Fahrrad-Ucycling-Projekt wie den Tandem-Eigenbau in Angriff nehmen wollen, den wir ab Seite 108 beschreiben. —pek



Autor	Christian Rindorf
Verlag	Haupt
Umfang	120 Seiten
ISBN	978-3-258-60240-0
Preis	28 €

Andi Feldmann und sein Funktionspunk

Auf diesem YouTube-Kanal wird gedengelt



Andi Feldmann – unter anderem die Synchronstimme von Meister Röhrich aus den *Werner-Filmen* – bezeichnet sich selbst als Eisenbieger, Rohrflechter und Metall-Artist. Mit dem *Riesen von Ulsnis* hat er eine fünf Meter hohe Statue gefertigt, die aus einer lokalen Sage entammt und seinen Stil als Universal-künstler auch aus großer Ferne zeigt: herrlich anachronistisch und eisenhaltig.

Auf seinem YouTube-Kanal *Andis Funktionspunk* teilt er mit seiner YouTube-Gemeinde Einblicke in und Erfahrungen aus seinem Bastler- und Schrauberleben. Dort können wir dabei zusehen, wie an Motorrädern und anderen fahrbaren Untersätzen geschweißt, gedengelt und mit ölverschmierten Flossen in der Werkstatt gestanden wird. Andi Feldmanns Projekte heißen *Zündapp 517 Arbeitsmaschine*, *BSA M21 Fahrradmaschine* oder auch *Kaffee-Maschine*. Bei Letzgenannter wurde der Krümmer eines Mofa zum Durchlauferhitzer für einen Espresso-Kocher umgebaut, um während der Fahrt frischen Kaffee kochen zu können.

Andi steht selten alleine vor der Kamera. Meistens sind Freunde zu Gast, sodass nicht nur seine Eigenbauten zu sehen sind, sondern auch die wilden Konstruktionen anderer abgelichtet werden. Mit viel trockenem Humor aus Deutschlands Norden wird dann gesabbel, gebastelt und Technik vorgestellt. Wer auch dann noch nicht genug hat, kann auf *Patreon* für kleines Geld Unterstützer werden und kriegt darüber Zugang zu Podcasts, einem ausgezeichneten Apfelkuchenrezept und anderen Goodies. —*rehu/Josha von Gizycki*

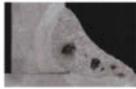
URL www.youtube.com/channel/UCtWATVGeUNco4IKIfPofoA

Schweißfehler und was Sie dagegen tun können

Die *GTS Schweißtechnik GmbH* aus Bielefeld ist ein Fach- und Servicebetrieb für Schweiß- und Elektrotechnik, handelt mit neuen und gebrauchten Schweißgeräten – und auf ihrer Webseite zeigt sie die typischen Fehler, die beim Schweißen so passieren können, gibt aber auch Tipps zur Abhilfe. Schön systematisch findet man hier für jeden denkbaren Fehler ein Foto und weitere Hinweise, wie man das Problem klar identifiziert. Ist das geklärt,

kann man sich die Punkte *Woran kann das liegen?* und *Was kann ich tun?* zu Gemüte führen und so weiter an seiner eigenen Schweißtechnik feilen. Dieser Webseiten-Tipp stammt von unserem Autoren Moritz Metz, der für dieses Heft den Artikel *Einstieg ins Schweißen* auf Seite 104 geschrieben hat – und wir geben ihn hier gerne weiter! —*pek*

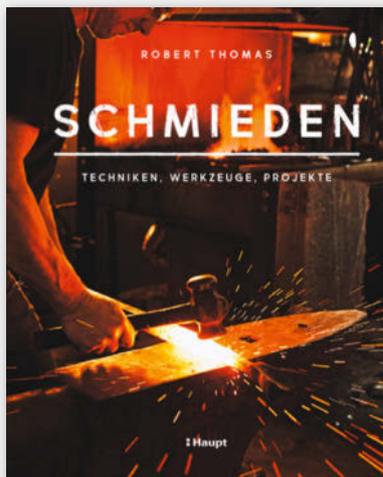
URL <http://shop.gts-schweisstechnik.de/schweisfehler>

<p>Bindfehler</p> 	<p>Wie erkenne ich sie?</p> <p>Bei Bindfehlern entsteht keine korrekte Verbindung zwischen dem Schweißgut und dem Grundwerkstoff. Die Verbindung wackelt oder bricht auseinander, wenn Sie mit beiden Händen daran ziehen oder Druck ausüben.</p>	<p>Woran kann es liegen?</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Schweißleistung ist falsch. Die Schweißgeschwindigkeit ist zu hoch. Sie haben vielleicht fallend geschweißt. Der Lichtbogen ist nicht genug geführt worden. Der Lichtbogen ist übermäßig lang. 	<p>Was kann ich tun?</p> <ul style="list-style-type: none"> Erhöhen Sie die Schweißleistung. Verringern Sie die Schweißgeschwindigkeit. Schweißen Sie steigend. Ändern Sie die Brennerhaltung.
<p>Poröse Bindung</p> 	<p>Wie erkenne ich sie?</p> <p>Poröse Schweißnähte wirken, als ob dort winzige Partikel eingeschlossen wären. Oft ist die Oberfläche rau und farblich ungeschmäl. Auch scheint sie nicht rein metallisch zu sein und weist kleine Löcher auf.</p>	<p>Woran kann es liegen?</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Schweißstelle war nicht ausreichend mit Schutzgas abgedeckt. Die Schweißstelle ist feucht. Die Schweißstelle ist verunreinigt. Die Schweißstelle ist störend beschichtet. 	<p>Was kann ich tun?</p> <ul style="list-style-type: none"> Verbessern Sie die Schutzgasabdeckung. Trocknen Sie die Werkstücke. Reinigen Sie das Werkstück. Entfernen Sie störende Beschichtungen.
<p>Einschlüsse</p> 	<p>Wie erkenne ich sie?</p> <p>Schlackeneinschlüsse zeigen sich durch kleine Bröckchen von Schlackenresten, die in der Schweißnaht eingeschlossen sind.</p>	<p>Woran kann es liegen?</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Schweißleistung ist zu gering. Der Lichtbogen ist zu lang. Die Schweißnaht ist nicht gut vorbereitet. Vorlaufende Schlacke 	<p>Was kann ich tun?</p> <ul style="list-style-type: none"> Erhöhen Sie die Schweißleistung. Verkürzen Sie den Lichtbogen. Bereiten Sie die Schweißnaht sorgfältig vor. Halten Sie den Lichtbogen in Richtung des Schweißbades.

Schmieden Techniken, Werkzeuge, Projekte

Das Buch ist klar in vier Teile gegliedert. Auf die Einleitung folgt die ausführliche Darstellung von Werkzeugen und Arbeitsgängen wie *Aufdornen* und *Strecken*. Nach einem kurzen Design-Intermezzo nimmt schließlich der Projektteil mit etwa 70 Seiten den größten Raum des Buches ein. Hier verfolgt man Schritt für Schritt den Entstehungsprozess von 18 Werkstücken wie einer handgeschmiedeten Zange oder einem Gartentor. Das Buch ist lebendig geschrieben und vor allem im ersten Kapitel gewürzt mit kurzen Ausflügen zur Entstehung von Eisen im Inneren von Sternen, zur Stellung des Schmieds in der mittelalterlichen Gesellschaft, aber auch mit vielen Geschichten aus dem Erfahrungsschatz des Autors. Das macht

Spaß zu lesen und an den schönen Fotos kann man sich buchstäblich wärmen.



Schmieden erfordert Übung und Training – das ersetzt kein Buch. Doch sein Ziel erreicht der Autor: „Hobbyhandwerkern, die möglicherweise schon mal ins Schmieden hineingeschnuppert [...] haben, eine solide Grundlage [zu] bieten.“ Dank seiner reichen Weiterbildung und des mit Kennerwissen gespickten Textes eignet sich das Buch auch als Geschenk für alle, die sich fürs Selbermachen begeistern – aber lieber bei der Theorie bleiben. —*pek*

Autor Robert Thomas
 Verlag Haupt
 Umfang 160 Seiten
 ISBN 978-3-258-60202-8
 Preis 39,90 €

Gestalten mit Metall

Schweißen, Löten, Schmieden

Das spanische Original dieses Buches erschien bereits 2004, die erste Auflage der deutschen Übersetzung 2006, aber das schöne bei handwerklichen Techniken ist ja, dass das meiste Wissen über Jahrzehnte nicht veraltet. Als wolle er das bekräftigen, beginnt José Antonio Ares i Río sein Buch mit einer kurzen Geschichte der Metallurgie und Metallverarbeitung, die ja im Wortsinn bis in die Bronzezeit zurückreicht. Mit der anschließenden Materialkunde steigt er dann in die systematische Einführung in die Arbeit mit Metall aller Art mit Hilfe von Werkzeugen aller Couleur von der Reißnadel

bis zum Schweißgerät, vom Amboss bis zum Plasmaschneider ein. Nur gefräst, gedreht und in 3D gedruckt wird hier nicht, es bleibt beim Handwerk, auch wenn dazu durchaus Biege- und Schleifmaschinen zum Einsatz kommen.

Besonders bei der Erklärung von Grundtechniken wie *Trennen* (mit Meißel, Säge, Bleischere oder Plasmaschneider), *Umformen* (Abkanten, Biegen, Verdrehen, Treiben), *Verbinden* (etwa mit Nieten oder Schrauben), punktet das Buch durch seine Mischung von vielen Detailfotos und klaren schematischen Zeichnungen zur Erklärung, die in ihrer hohen Qualität durchaus auch einem Fachkundebuch zur Berufsausbildung zur Ehre gereichen würden. Eingestreut sind zusätzlich Fotos von Metallkunstwerken des Autors. Da die zur jeweiligen Technik passen, funktioniert diese Mischung gut.



Die systematische Einführung in Material, Werkzeug und Techniken nimmt zwei Drittel des Buches ein, das sind gut investierte Seiten. Es schließen sich drei Doppelseiten *Galerie* mit Metallkunstwerken unterschiedlichster Art an, bevor in Schritt-für-Schritt-Anleitungen etwa ein Couchtisch aus Edelstahl, ein Gartentor, ein geschmiedeter Türklopfer oder die Plastik eines Drachenkopfes aus Messing-

blech entstehen. Auch wenn manche der hier gezeigten Objekte Geschmackssache sind, ist das Buch als inspirierende Einführung für Einsteiger und als Nachschlagewerk für fortgeschrittene Metallheimwerker auf jeden Fall empfehlenswert.

—pek

Autor	José Antonio Ares
Verlag	Haupt
Umfang	160 Seiten
ISBN	978-3-258-60121-2
Preis	39,90 €



my mechanics

YouTube-Kanal zum Staunen

Der verstellbare Schraubenschlüssel sieht aus, als hätte er mindestens 50 Jahre in einer vergessenen Garagenecke vor sich hingestanden, bevor er irgendwie in die Schweiz und dort in die Werkstatt von *my mechanics* geraten ist. Der Macher dieses YouTube-Kanals heißt Urs (wie ein Journalistenkollege herausgefunden haben will, es steht nirgends) und hat ein Herz für Dinge, die in der Substanz solide sind, aber lange nicht gepflegt wurden. So wird vor der Kamera der erwähnte Schraubenschlüssel erst mal über Nacht in Rostlöser eingeweicht, in winzigen Schritten mit Hilfe eines Schraubstocks wieder beweglich gemacht und schließlich in alle Einzelteile zerlegt. Die meisten Leute würden die Teile jetzt höchstens noch fetten, dann wieder zusammenbauen und wären stolz – Urs hingegen fängt da erst an: Der Schlüssel hat zu viel Spiel, findet er, also schmiedet er den Griff enger. Die Oberfläche wird poliert und vernickelt, die Rillen in der Stellschraube einzeln nachgefeilt und weil durch die ganzen Nacharbeiten am Ende die alte Unterlegscheibe für den Spalt zwischen Stellschraube und Griffstück zu klein ist, wird

kurzerhand eine neue gedreht. Am Ende sieht der Schraubenschlüssel besser als fabrikneu aus.

Fast alle Videos auf *my mechanics* zeigen so eine schier unglaubliche Verwandlung von schrottreifem Gerümpel zu praktisch einsetzbaren Werkzeugen und Haushaltsgeräten vergangener Tage – seien es Schraubstock, Waage oder Petroleumlampe. Visuell sind die Filme ein Hochgenuss, denn sie sind nicht nur technisch perfekt produziert, es ist zudem ein Vergnügen, diesem begnadeten Handwerker bei der Arbeit mit Feile, Säge, Drehbank und Fräse zuzusehen. Allerdings sieht man stets nur dessen Hände und hört nie seine Stimme; seine lakonischen Kommentare wie *I need to fix that* erscheinen nur als kurze Texteinblendung. Ansonsten sind auf der Tonspur nur die originalen Geräusche der Maschinen und Werkzeuge zu hören. Alles zusammen wirkt anregend und beruhigend zugleich. Noch dazu lernt man auch die Funktionsweise der restaurierten Objekte genau kennen, etwa, wie der ausgeklügelte Ratschenmechanismus des Schraubendrehers Marke „Weltrekord“



aus dem Jahr 1891 funktioniert. Und ja, jedes noch so kleine Einzelteil bekommt Urs' Aufmerksamkeit. Selbst wenn das abgenudelte Schraubchen später wieder unsichtbar tief im Inneren des Geräts verschwindet – er schreibt: *I make a new one* und wirft die Drehbank an.

—pek

URL youtube.com/c/mymechanics

IMPRESSUM

Make: Nächste Ausgabe erscheint am 9. Dezember 2021

Redaktion

Make: Magazin
Postfach 61 04 07, 30604 Hannover
Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover
Telefon: 05 11/53 52-300
Telefax: 05 11/53 52-417
Internet: www.make-magazin.de

Leserbriefe und Fragen zum Heft: info@make-magazin.de

Die E-Mail-Adressen der Redakteure haben die Form xx@make-magazin.de oder xxx@make-magazin.de. Setzen Sie statt „xx“ oder „xxx“ bitte das Redakteurs-Kürzel ein. Die Kürzel finden Sie am Ende der Artikel und hier im Impressum.

Chefredakteur: Daniel Bachfeld (dab)
(verantwortlich für den Textteil)

Stellv. Chefredakteur: Peter König (pek)

Redaktion: Heinz Behling (hgb), Helga Hansen (hch),
Rebecca Husemann (rehu), Carsten Meyer (cm),
Elke Schick (esk), Carsten Wartmann (caw)

Mitarbeiter dieser Ausgabe: Achim Betram, Andreas
Bochmann, Hans Borngräber, Maximilian Czelinski,
Herrmann Dengler, Kurt Diedrich, Burkhard Fleischer,
Karsten Fuhst, Thomas Gamisch, Josha von Gizycki,
Joachim Haas, Jens Hackel, Georg Haug, Roland Hieber,
Jan Peter Kuhn, Moritz Metz, Gerd Michaelis, Tim Olszewski,
Ulrich Schmerold, Clemens Verstappen, Georg Zimmermann

Assistenz: Susanne Cölle (suc), Christopher Tränkmann (cht),
Martin Triadan (mat)

Leiterin Produktion: Tine Kreye

DTP-Produktion: Martina Bruns, Martin Kreft (Korrektorat)

Art Direction: Martina Bruns (Junior Art Director)

Layout-Konzept: Martina Bruns

Layout: Nicole Wesche

Fotografie und Titelbild: Andreas Wodrich

Digitale Produktion: Kevin Harte, Pascal Wissner

Hergestellt und produziert mit Xpublisher:
www.xpublisher.com

Verlag

Maker Media GmbH
Postfach 61 04 07, 30604 Hannover
Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover
Telefon: 05 11/53 52-0
Telefax: 05 11/53 52-129
Internet: www.make-magazin.de

Herausgeber: Christian Heise, Ansgar Heise

Geschäftsführung: Ansgar Heise, Beate Gerold

Anzeigenleitung: Michael Hanke (-167)
(verantwortlich für den Anzeigenteil),
[mediadaten.heise.de/produkte/print/
das-magazin-fuer-innovation](mailto:mediadaten.heise.de/produkte/print/das-magazin-fuer-innovation)

Leiter Vertrieb und Marketing: André Lux (-299)

Service Sonderdrucke: Julia Conrades (-156)

Druck: Dierichs Druck + Media GmbH & Co.KG,
Frankfurter Str. 168, 34121 Kassel

Vertrieb Einzelverkauf:
DMV DER MEDIENVERTRIEB GmbH & Co. KG
Meßberg 1
20086 Hamburg
Telefon: +49 (0)40 3019 1800
Telefax: +49 (0)40 3019 1815
E-Mail: info@dermedienvertrieb.de
Internet: dermedienvertrieb.de

Einzelpreis: 12,90 €; Österreich 14,20 €; Schweiz 25.80 CHF;
Benelux 15,20 €

Abonnement-Preise: Das Jahresabo (7 Ausgaben) kostet
inkl. Versandkosten: Inland 77,00 €; Österreich 84,70 €;
Schweiz/Europa: 90,65 €; restl. Ausland 95,20 €

Das Make-Plus-Abonnement (inkl. Zugriff auf die App, Heise
Magazine sowie das Make-Artikel-Archiv) kostet pro Jahr
6,30 € Aufpreis.

Abo-Service:

Bestellungen, Adressänderungen, Lieferprobleme usw.:
Maker Media GmbH
Leserservice
Postfach 24 69
49014 Osnabrück
E-Mail: leserservice@make-magazin.de
Telefon: 0541/80009-125
Telefax: 0541/80009-122

Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz sorgfältiger Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen werden. Kein Teil dieser Publikation darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Verlags in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Alle beschriebenen Projekte sind ausschließlich für den privaten, nicht kommerziellen Gebrauch. Maker Media GmbH behält sich alle Nutzungsrechte vor, sofern keine andere Lizenz für Software und Hardware explizit genannt ist.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Haftung übernommen werden. Mit Übergabe der Manuskripte und Bilder an die Redaktion erteilt der Verfasser dem Verlag das Exklusivrecht zur Veröffentlichung. Honorierte Arbeiten gehen in das Verfügungsrecht des Verlages über. Sämtliche Veröffentlichungen in Make erfolgen ohne Berücksichtigung eines eventuellen Patentschutzes.

Warennamen werden ohne Gewährleistung einer freien Verwendung benutzt.

Published and distributed by Maker Media GmbH under license from Make Community LLC, United States of America. The 'Make:' trademark is owned by Make Community LLC. Content originally partly published in Make: Magazine and/or on www.makezine.com, ©Make Community LLC 2020 and published under license from Make Community LLC. All rights reserved.

Printed in Germany. Alle Rechte vorbehalten.
Gedruckt auf Recyclingpapier.

© Copyright 2021 by Maker Media GmbH

ISSN 2364-2548

Nachgefragt

Stell dir vor, du lebst in einer dystopischen Mad Max-Zukunftswelt. Was stellst du mit deinen Metallbau-Fähigkeiten an?



Achim Bertram

Lamspringe, macht auf Seite 6 den Einstieg ins Thema mit einer Übersicht zu Metallen

Vermutlich bin ich in der Widerstandsbewegung für die Ausrüstung von Rebelleneinheiten mit Nachbauten historischer Vorderlader zuständig. Aber nicht als Q-Type, sondern eher als eine Art Düsentrieb.



Jens Hackel

Langenfeld, gibt auf Seite 24 Tipps zum Kleben von Metallen und zum Umgang mit Kleber

Mich könnte man vermutlich in der örtlichen Dorfschmiede wiederfinden, in der ich mein Wissen weitergeben und versuchen würde, anderen durch den Bau von Apparaturen das Leben zu erleichtern.



Roland Hieber

Braunschweig, zeigt auf Seite 28, dass Schönheit durch Unvollkommenheit entsteht

Vermutlich meine Hobel schärfen, damit ich was mit Holz machen kann.

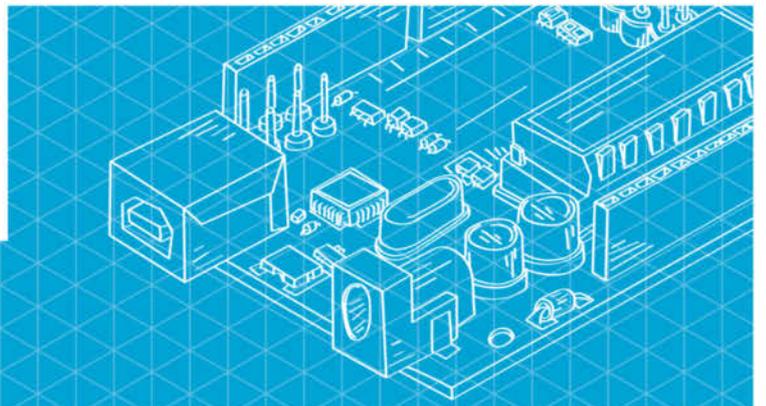


Thomas Gamisch

Holzkirchen, demonstriert auf Seite 118, dass man Aluminium-Metallguss selber machen kann

Maschinen zu konstruieren oder zum Laufen zu bringen, um Sicherheit und Lebensqualität für den Aufbau einer demokratischen Gemeinschaft zu schaffen und das Wissen darüber weiterzugeben.

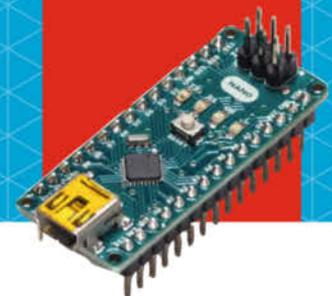
Make:



DAS KANNST DU AUCH!



GRATIS!



2x Make testen und 6 € sparen!

Ihre Vorteile:

- ✓ **GRATIS dazu:** Arduino Nano
- ✓ **NEU:** Jetzt auch im Browser lesen!
- ✓ Zugriff auf Online-Artikel-Archiv*
- ✓ Zusätzlich digital über iOS oder Android lesen

Für nur 15,60 Euro statt 21,80 Euro.

* Für die Laufzeit des Angebotes.

Jetzt bestellen: make-magazin.de/miniabo

© Copyright by Maker Media GmbH.



Maßgeschneiderter Anzug

Wählen Sie die entscheidenden Komponenten selbst



Prozessor
Intel oder AMD CPU



Grafikkarte
Integriert oder dediziert



Arbeitsspeicher
Jederzeit erweiterbar



Speicherplatz
Schnell, groß und erweiterbar



Netzwerk
Drahtlos, Mobilfunk
oder Gigabit LAN



100%
Linux

5

Jahre
Garantie



Lifetime
Support



Gefertigt in
Deutschland



Deutscher
Datenschutz



Support
vor Ort

TUXEDO COMPUTERS

tuxedocomputers.com

© Copyright by Maker Media GmbH.