

3D-Druck mit verteilten Rollen

Klipper mit dem Creality Sonic Pad

Womit betreiben wir die meisten unserer 3D-Drucker? Natürlich mit der Marlin-Firmware, die einen betriebssicheren und weitverbreiteten Standard darstellt. Mit zunehmender Maschinenqualität der 3D-Drucker und stetig wachsenden Ansprüchen an die Druckqualität stoßen allerdings die internen Prozessorboards der Drucker an ihre Leistungsgrenzen. Nur wenige (teure) Drucker verfügen über leistungsstarke interne Rechentechnik, die allerdings auch die Preise bestimmt. Warum also nicht die erforderliche Rechenleistung aufteilen? Genau dieses Konzept verfolgt die komplexe 3D-Drucker-Firmware KLIPPER. Diese läuft in der Regel auf einer Raspberry Pi-Plattform und ist für nicht programmieraffine Nutzer eher schwere Kost. Mit dem Sonic Pad bietet der 3D-Drucker-Hersteller Creality nun eine sehr bedienerfreundliche Hardware-Software-Kombination, die das Zeug hat, den Nutzerkreis für KLIPPER zu erweitern, und zahlreiche Mehrwerte wie schnellen, leisen, sauberen und großvolumigeren Druck mit sich bringt, ohne den Anwender zu überfordern.



Marlin – Antrieb für 3D-Drucker

Was macht eine 3D-Drucker-Firmware? 3D-Drucker basieren auf einer kompakten Steuerungstechnik, im Wesentlichen bestehend aus einer einfachen Mikroprozessoreinheit auf der Basis von AVR-Plattformen, STM32- und weiteren kleinen ARM-Plattformen. Diese beinhalten leistungsstarke Treiber für die Schrittmotoren des Druckers, den Extruder, Heizungen usw., ergänzt durch diverse digitale und analoge Eingänge für Sensoren – vom Endschalter über Fi-

lamentsensoren bis hin zu Temperatursensoren. Sehr verbreitet waren zunächst verschiedene Entwicklungsstufen der RAMPS-Plattform, die auf der Arduino-Mega2560-Plattform basiert (RAMPS = RepRap Arduino Mega Pololu Shield, Bild 1). Diese ist auch für andere Maschinen wie Plotter, CNC-Fräsen, Laser-Cutter usw. nutzbar. Das gleiche Prinzip liegt auch den meisten Motherboards zugrunde, diese fassen die gesamte Elektronik noch kompakter zusammen (Bild 2).

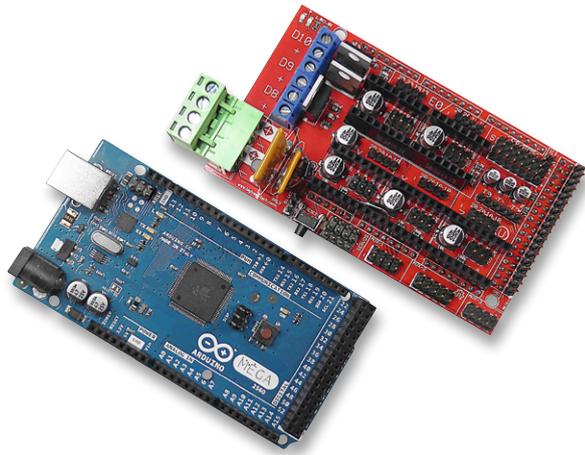


Bild 1: Ein typisches RAMPS-Shield für den Arduino Mega2560, hier fehlen nur noch die Schrittmotortreiber zur betriebsfertigen Steuerung für 3D-Drucker, CNC-Fräsen, Plotter etc.

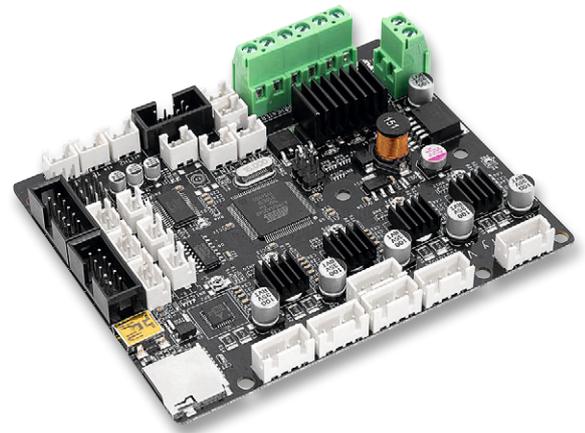


Bild 2: Moderne Motherboards, hier das aktuelle Silent Motherboard von Creality, fassen die gesamte Steuerung auf einer kompakten Platine zusammen. Diese Bauform ist heute die Norm. Bild: Creality

Nach den ersten proprietären Softwarelösungen zum Betrieb von FFF-3D-Druckern in den 2000er-Jahren stellte eine Entwicklergruppe um den Niederländer Erik van der Zalm [1], [2] im Jahr 2011 eine Open-Source-Firmware vor, die sich als weitgehender Weltstandard durchsetzen sollte und heute in nahezu allen FFF-3D-Druckern die Maschinensteuerung übernimmt. Sie setzt die vom Slicer erzeugten Maschinencode-Befehle um und steuert die Schrittmotortreiber, Heizungen, Lüfter usw., wertet Positionsdaten aus und auch die Daten von Sensoren wie dem Filamentsensor. Auch Funktionen wie Druckfortsetzung nach Spannungsausfall, automatische Druckbettnivellierung usw. beherrscht Marlin inzwischen sehr gut.

Die Rechenkapazität der eingesetzten Hardware ist jedoch begrenzt, und selbst recht leistungsstarke Mikrocontroller kommen hier an ihre Grenzen. So ist es eben nicht final möglich, mit hohen Geschwindigkeiten sauber und höchst präzise zu drucken. Dafür sind die auszuwertenden und auszugebenden Datenmengen zu hoch bzw. die Rechenleistung des kleinen Prozessors kann den Gesamtanforderungen nicht folgen. Die Folgen kennt jeder Praktiker: Aussetzer, Schrittverluste, unsaubere Oberflächen und Überhänge, plötzlich verschobene Ebenen usw.

Wer bereit ist, sich intensiv mit seiner Maschine zu beschäftigen, findet bei Marlin trotz spartanischer Bedienoberfläche (Bild 3) sehr viele Möglichkeiten, den eigenen Drucker optimal einzurichten und auf die jeweilige Aufgabe abzustimmen. Wer es bequemer und in den Möglichkeiten etwas genügsamer haben möchte, kann auch zu Marlin-Versionen mit grafischer Bedienoberfläche greifen (Bild 4 zeigt ein Beispiel mit dem Creality 3D-Pad, das auch noch einen Filamentsensor mitbringt), die inzwischen bei vielen Druckern Standard sind. Bei der heute üblichen Robustheit und Präzision moderner 3D-Drucker selbst in unteren Preissegmenten ist diese Lösung perfekt für Einsteiger und nicht technikaffine Nutzer.



Bild 3: Bekannt spartanisch, aber mit vielen Eingriffsmöglichkeiten des Nutzers in die Maschinensteuerung – die Standard-Bedienoberfläche von Marlin

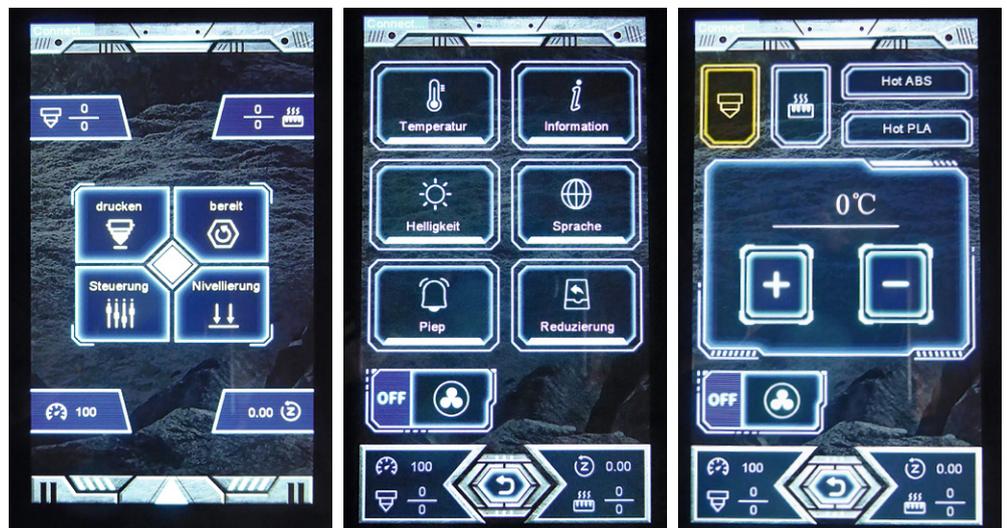


Bild 4: Marlin mit grafischer Bedienoberfläche-Lösungen wie das hier gezeigte Creality 3D Pad finden sich auch ab Werk bei vielen Druckern.

Ähnlichen Komfort bieten viele Drucker-Softwarelösungen wie Ultimaker Cura, Repetier Host oder Simplify3D, wenn man sie über eine Datenverbindung (USB, LAN oder WLAN) an den Drucker anbinden kann. Diese Lösungen ermöglichen komplette Fernsteuerung, Datenübertragung sowie umfangreiche Konfigurationsmöglichkeiten und arbeiten mit der Marlin-Firmware zusammen. Oft ist auch eine Kamera einbindbar, sodass man via Netzwerk den Druckprozess überwachen kann.

Apropos Fernsteuerung und Fernkonfiguration: Hier darf natürlich Octoprint [3] nicht unerwähnt bleiben. Das browserbasierte grafische Steuerungsprogramm (Bild 5) ist ein ebenfalls langjährig entwickeltes Open-Source-Programm, das perfekt zu Marlin passt und eine sehr komfortable Fernsteuerung, Fernkontrolle und Fernkonfiguration ermöglicht. Das Programm läuft Python-basiert und verfügt über einen integrierten Webserver, der eine Fernsteuerung via Netzwerk ermöglicht. Viele von der Community entwickelte Plug-ins realisieren unendlich viele Funktionen und die Anpassung an nahezu alle 3D-Drucker, dazu ist eine Kamera-Fernüberwachung realisierbar.

Octoprint erfordert aber bereits einen externen Rechner. Es ist plattformübergreifend, jedoch dürfte die Beschäftigung eines Raspberry Pi oder eines vergleichbaren SBC (Single Board Computer) den Regelfall darstellen. Für diesen gibt es betriebsfertige Images unter dem Namen „OctoPi“. Die Verbindung zum Drucker erfolgt per USB, der Fernzugriff via Webserver.

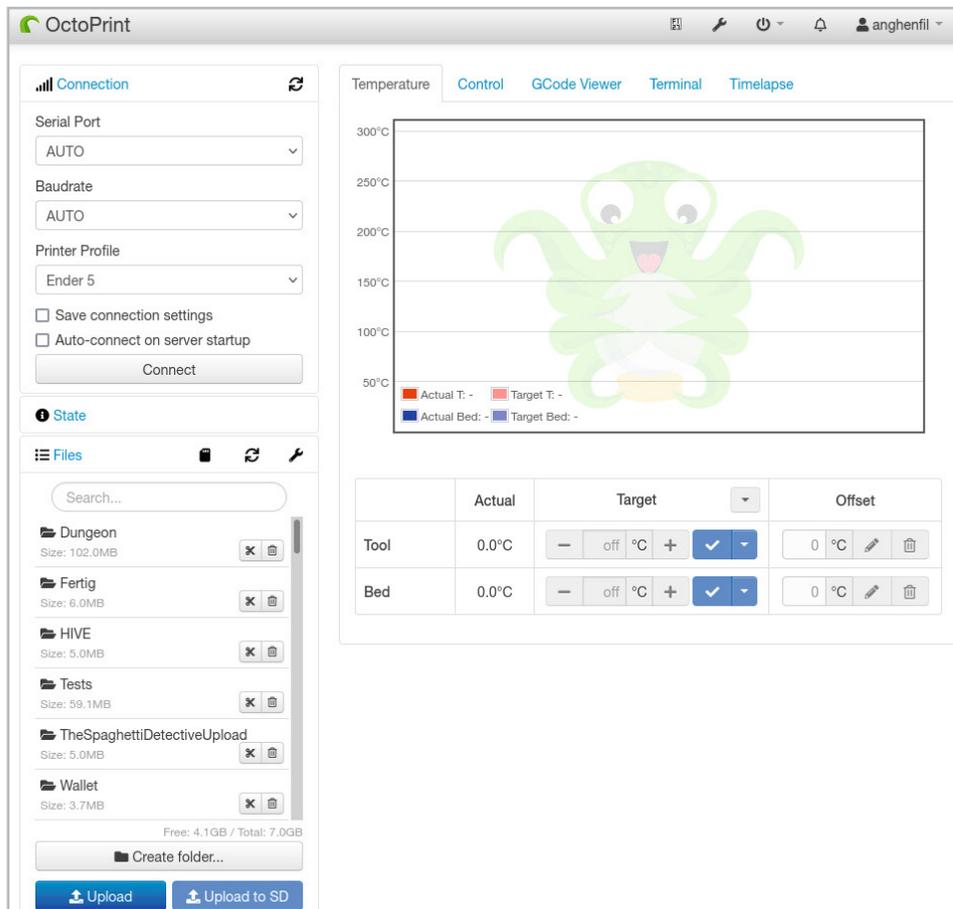


Bild 5: Octoprint ist eine per Browserzugriff bedienbare, grafische Steuerungs- und Konfigurationssoftware, die bereits einen externen Rechner erfordert. Bild: Wikimedia, Keanu Dölle - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0

KLIPPER - drucken mit verteilter Rechenpower

Dass der 3D-Druck mit Marlin irgendwann an seine Grenzen stößt, liegt (fast) nur am Gesamtkonzept, also der verbauten (und möglichst preiswerten) Rechentechnik in den Druckern. Deren Mechanik wurde inzwischen soweit perfektioniert, dass das Gerät stabil und verwindungssteif ausgeführt ist und insgesamt mechanisch in der Lage ist, auch die stark gestiegenen Nutzeranforderungen zu erfüllen. Diese wären u. a. Druckgeschwindigkeit, Druckraum, Präzision, möglichst glatte Oberflächen, die Beherrschung komplizierter Vorgänge wie Überhänge, Hohlräume usw.

Nehmen wir einmal das Beispiel Druckgeschwindigkeit. Soll diese erhöht werden, muss der steuernde Rechner deutlich mehr Leistung erbringen. Denn jeder Schritt der bis zu fünf Schrittmotoren muss genau berechnet werden. Dazu sind Offsets einzuberechnen, eventuelle Ausgleichsschritte nach automatischem Nivellieren der Druckplattform – insgesamt eine Daten- und Berechnungsmenge, die der Onboard-Prozessor, der ja auch nur über seine internen Speicherreserven verfügt, irgendwann nicht mehr ausreichend berechnen kann. So kommt es zu einer steigenden Anzahl an Fehlern bei der Ausgabe, die bekanntesten dürften sich unschön auswirkende Schrittverluste sein. Im Extremfall können diese zum undefinierten Druck ohne Kontakt zur vorangegangenen Schicht oder im anderen Fall zum Abreißen des Druckstücks von der Plattform führen.

Die Marlin-Community entwickelt zwar ihre Firmware ständig weiter, und es halten immer wieder neue Features wie etwa „Pressure Advance“ Einzug, an der Hardwarebasis ändert dies jedoch nur wenig.

So kam es zur Entwicklung der alternativen Firmware KLIPPER [4], wie Marlin ebenfalls als Open Source und Freeware verfügbar. Der hauptsächliche Entwickler ist Kevin O'Connor, er entwickelt zusammen mit Eric Callahan und zahlreichen Mitgliedern der Community von klipper3d.org die Firmware ständig weiter. Mit im Boot sind einige begleitende Open-Source-Projekte, die sich vor allem der Visualisierung und Vernetzung widmen wie Moonraker, Mainsail, Fluidd, KlipperScreen, und ein alter Bekannter: Octoprint.

Was zeichnet KLIPPER nun aus? Zunächst das Wichtigste: die Hardware. KLIPPER läuft auf leistungsfähiger, druckerunabhängiger Hardware wie typischerweise dem Raspberry Pi. Hier gilt zunächst allgemein, je leistungsstärker, desto größer darf auch der Druckbereich sein. Wir haben es hier also nicht mehr mit einem kleinen Mikrocontrollersystem zu tun, sondern mit einem kompletten Einplatinen-Computersystem mit leistungsstarkem Mehrkern-Mikroprozessor und somit reichlich Rechenleistung, flankiert von ausreichend Speicher und weiterer Peripherie.

Das Mikroprozessorsystem ermöglicht damit den Betrieb eines kompletten Betriebssystems (Linux) mit all seinen Vorteilen sowie eine komfortable Vernetzung. KLIPPER selbst ist in Python geschrieben und so besonders einfach programmierbar, etwa für Plug-ins und weitere Funktionen.

Das Mikroprozessorsystem ermöglicht damit den Betrieb eines kompletten Betriebssystems (Linux) mit all seinen Vorteilen sowie eine komfortable Vernetzung. KLIPPER selbst ist in Python geschrieben und so besonders einfach programmierbar, etwa für Plug-ins und weitere Funktionen.

Mit dieser leistungsfähigen Hardware als Anwendungsprozessor vermag es KLIPPER als Host-Software den G-Code (Code für den Verfahrensweg des Druckers) eines Druckprojekts deutlich umfangreicher auszuwerten und eine hochdetaillierte kinematische Bewegungsplanung der Druckmechanik inklusive Materialfluss, Temperaturmanagement und gezielter Lüftersteuerung auszuführen. Diese kinematische Bewegungsplanung ist auch die Grundlage dafür, dass der Drucker mit hochpräzisen Schrittbewegungsbefehlen arbeitet, die zu einem deutlich flüssigeren und auch leiseren Bewegungsablauf führen. Jedes Schrittbewegungsereignis wird so mit einer Genauigkeit von ≤ 25 ms geplant. Der Mikrocontroller des Druckers erhält bei KLIPPER durch eine spezielle Konfigurationsdatei eine auf wesentliche Funktionen konzentrierte Firmware. Dadurch wird seine Arbeit auf die reinen Ansteuerungs- und Auswertungsfunktionen für Aktoren und Sensoren reduziert. Deshalb erreicht man auch mit älteren 8-Bit-Controllern auf dem Controllerboard sehr hohe Schrittraten, die bei modernen Controllern bis zu mehreren Millionen Schritten je Sekunde gehen können. Somit ist KLIPPER druckerseitig ebenfalls hardware-unabhängig.

Ein Vorteil von KLIPPER ist dabei, dass diese Konfigurationsdatei über das Dashboard von KLIPPER sehr bequem angepasst werden kann und es nicht erforderlich ist, nach jeder Änderung die Firmware auf den Mikrocontroller des Druckerboards zu flashen. So kann man u. a. nachträglich Sensoren wie einen BLTouch (automatischer Nivellierungssensor für 3D-Drucker) oder eine getrennte Ansteuerung von zwei Z-Antrieben implementieren. Hier hat man innerhalb der Hardwareoptionen des Druckers dann völlig freie Hand, kann beliebig experimentieren, spezielle Konfigurationen in einem Filesystem speichern usw. Auf der Git-Hub-Seite von KLIPPER wie auch direkt über das Installationsimage für den Raspberry Pi finden sich fertige Konfigurationsdateien aller gängigen FFF-Drucker dieser Welt.

Firmware mit exzellenten Features

KLIPPER hat durch die starke Hardwaregrundlage die Möglichkeit, die Bewegungsalgorithmen, die bei traditioneller Firmware als kinematische Schätzungen ausgeführt werden (z. B. der Rastergrafik beschreibende Bresenham-Algorithmus [5]), exakt zu berechnen („iterativer Solver“). Das Ergebnis sind präzise Schrittzeiten, die exakt auf Beschleunigungsphysik und Maschinenkinematik basieren. Genaueres zu dieser kinematischen Bewegungsplanung kann man unter [4] im Kapitel „Developer Documentation/Kinematics“ nachlesen. Stark vereinfacht kann man sagen, es ist der Unterschied zwischen einer aus Punkten erzeugten Linie und einer durchgehend direkt auf den Zielpunkt zu gezeichneten Linie.

Diese exakte Berechnung erlaubt Features wie z. B. „Smooth Pressure Advance“. Hier folgt die Extrusion des Filaments exakt den Achsenbewegungen angepasst, sodass es bei der Extrusion nicht zu zeitlichen Verzögerungen kommt (Verschmieren, Aussetzer, nicht exakt ausgeführte Objekt-ecken). Bei Marlin findet man ein ähnliches, wenn auch auf anderen Algorithmen basierendes und den Hardwarebeschränkungen unterliegendes Feature: „Linear Advance“, das eine ähnliche dynamische Filamentfluss-Steuerung erlaubt. KLIPPER bietet hier das detaillierte Tuning anhand des bekannten Pressure-Testwürfels

an. Nach dessen Ausdruck und dem Ausmessen anhand der Tuning-Anleitung rechnet man einen Wert für die optimale Fluss-Steuerung aus und trägt diesen in die Konfigurationsdatei ein. So kann man u. a. auch Tests mit verschiedenen Filamentarten ausführen und die Konfigurationen getrennt abspeichern.

Ein weiteres interessantes Feature aus der Liste ([4], Kapitel Features) ist „Input Shaping“. Hier werden die spezifischen Vibrationen der Druckermechanik durch einen 3-Achs-Beschleunigungssensor (ADXL345) ermittelt und diese Beschleunigungswerte bei verschiedenen provozierten Bewegungen des Druckbetts und des Extruders als Variablen in der Konfigurationsdatei des Druckers hinterlegt. Diese Werte fließen dann später in die Bewegungsberechnungen ein und ermöglichen durch die Kompensation der Eigenschwingungen des Druckers wiederum, negative Effekte wie „Ringing“, „Ghosting“, „Echoing“, „Welling“ zu vermeiden und gleichzeitig die Druckgeschwindigkeit auch bei hohen Anforderungen an die Druckqualität zu erhöhen.

KLIPPER unterstützt mit seinen umfangreichen Rechen- und Speichermöglichkeiten auch weitere detaillierte Kalibrierungen des Druckers, so etwa die Druckbett-Nivellierung. Diese kann in den neueren Marlin-Versionen in Verbindung z. B. mit einem BLTouch-Sensor schon recht detailliert ausfallen, etwa mit 16 Abtastpunkten auf dem Druckbett, bei KLIPPER geht das noch ausgefeilter. Die Nivellierungsfunktion erstellt hier eine Art Karte (Bild 6), die sogar visuell darstellbar ist, speichert so also den Zustand der Druckfläche als Ganzes und hinterlegt diese Parameter ebenfalls in der Druckerkonfiguration. Das Verfahren nennt sich „Mesh-Bed-Leveling“. Sieht diese „Karte“ zu abenteuerlich aus, was ein extrem verstelltes Druckbett bedeutet, kann man dieses mit den mechanischen Einstellschrauben deutlich ebener und gerader ausrichten und wiederum durch die Nivellierung kontrollieren lassen. Resultat: Je ebener das Druckbett liegt, desto weniger muss gerechnet werden. Der Druck kann schneller, flüssiger und präziser erfolgen.

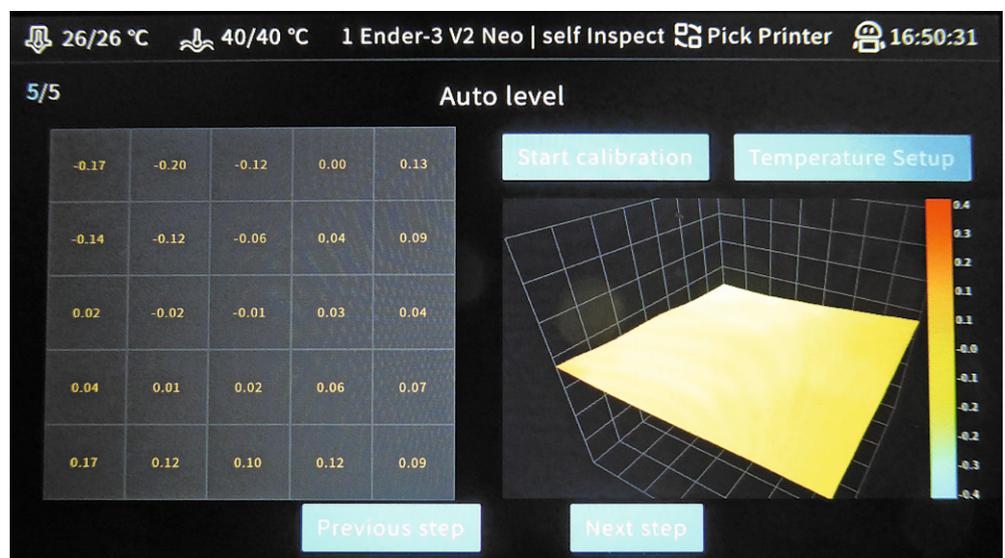


Bild 6: Mit der Autolevel-Funktion von KLIPPER lässt sich das Druckbett sehr exakt einstellen. Hier sieht man, dass an den Ecken noch nachgestellt werden muss.

Schließlich soll auch noch die Makrofunktion erwähnt werden. Je nach Drucker, Druckobjekt und Filament benötigt man bestimmte G-Codes für die Konfiguration. Die Slicer schreiben bei der automatischen Maschinencode-Erzeugung jedoch meist nur (einmalig) Standardwerte für Maschineneinstellungen in den G-Code. Individuelle Codes müssen mehr oder weniger komfortabel manuell eingegeben werden – und zwar jedes Mal neu. In KLIPPER kann man individuelle G-Codes ganz einfach in ein Makro schreiben, das in die Drucker-Konfigurationsdatei integriert wird und im Dateisystem speicherbar sowie direkt aus einer Menüliste aufrufbar ist.

Headless/browserbasiert oder lokal?

Am Ende stellt sich die Frage, wie denn KLIPPER visualisiert werden kann? Die Antwort lautet: quasi beliebig. KLIPPER verfügt über mehrere Web-Interfaces und kann über diese an die verbreiteten Visualisierungs-, Fernbedien- und Konfigurationsoberflächen wie Mainsail, Fluidd oder Octoprint angebunden werden.



Bild 7: Manche 3D-Drucker, wie der BIQU Hurakan haben KLIPPER bereits serienmäßig an Bord. Bild BIQU



Bild 8: Auch der V400 von FLSUN ist bereits ab Werk mit KLIPPER als Firmware ausgestattet. Bild: FLSUN

Damit ergeben sich verschiedene Möglichkeiten wie der Headless-Betrieb des Raspberry Pi. Hier erfolgt der Zugriff ausschließlich browserbasiert über die o. a. Oberflächen, die in der Regel auf entfernten PCs oder Tablets laufen. Der Raspberry Pi mit KLIPPER bietet zudem die einfache Möglichkeit, direkt eine Webcam einzubinden, die eine visuelle Fernkontrolle oder eine Aufzeichnung ermöglicht. KLIPPER verfügt zusätzlich über eine Zeitraffer-Aufzeichnungsfunktion.

Da der Raspberry Pi über sein Betriebssystem auch die Display-Anbindung erlaubt, kann man auch ein lokales Display anbinden, auf dem dann eine der o. a. Oberflächen oder eine marginalisierte Oberfläche läuft, bedient per von Marlin bekanntem Drehknopf oder per Touch. Auf ähnlicher Hardware mit Visualisierung basieren auch einige 3D-Druckermodelle wie der BIQU Hurakan (Bild 7) oder der FLSUN V400 (Bild 8), die KLIPPER serienmäßig an Bord haben. Über das bordeigene Display kann man, wie von Marlin gewohnt, die essenziellen Funktionen des Druckers direkt an diesem bedienen. Über das Web-Interface können dann diese Drucker wie beschrieben, auch mit komplettem KLIPPER-Umfang bedient, kontrolliert und konfiguriert werden.

Die Boards dieser Drucker sehen freilich anders aus als die gewohnten Mainboards, wie man am Beispiel des vom KLIPPER-Sponsor angebotenen Makerbase-SKIPR-Boards (Bild 9) sehen kann. Hier ist ein leistungsstarker Quadcore 64-Bit-SoC (Rockchip ARM Cortex-A53 RK3328 mit Armbian) an Bord, auf dem KLIPPER laufen kann.

Als Controller ist ein STM32F40VET6 direkt per USART angebunden, ein 1 GB externer DDR3-RAM bietet reichlich Speicherplatz. Es verfügt über alle nötigen Schnittstellen bis hin zu LAN, HDMI-Interface für ein großes Display, EMMC-Interface für das Speichern von Druckdateien, wenn man keine SD-Karte verwenden möchte, und Treiberanschlüsse für bis zu sieben Schrittmotoren. Dazu gibt es ein passendes 3,5"-Farbdisplay als MMI.

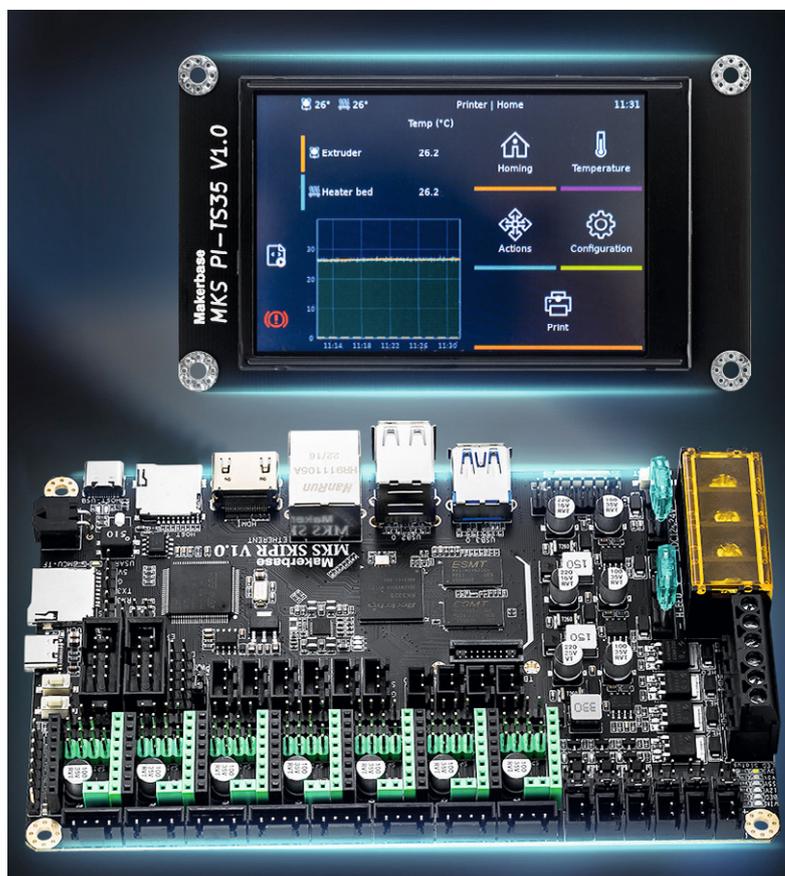


Bild 9: Das SKIPR-Board von Makerbase ist, samt Touchdisplay, eine komplette DIY-Nachrüstlösung. Bild: Makerbase

Universell, voller KLIPPER-Umfang – CREALITY Sonic Pad

KLIPPER ist also eine interessante Alternative zum Marlin-Standard, will man mit mehr Qualität, schneller, leiser und größer drucken. Nicht jeder will sich jedoch für die Aufrüstung seines vorhandenen 3D-Druckers mit KLIPPER auf die Konfiguration eines kleinen Linux-Rechners wie dem Raspberry Pi einlassen (obwohl diese unproblematisch ist). Zudem hat der Rechner in der derzeitigen Gesamtsituation (Stand Winter 2022/23) ein extrem hohes Preisniveau von über 200 Euro in der empfohlenen leistungsstarken Version 4 B mit reichlich Speicher erreicht. Da sind weder Netzteil noch (Touch-)Display oder Gehäuse enthalten.

Der renommierte 3D-Druckerhersteller Creality hat darum ein komplettes, betriebsfertig eingerichtetes KLIPPER-System entwickelt – das Sonic Pad (Bild 10) [6], das per Plug-and-Play „out of the box“ geliefert wird. Für knapp 200 Euro erhält man ein Komplettgerät im robusten Gehäuse samt Tisch-Klappstützen, mit 7"-Touchdisplay und reichlich Schnittstellen (3xUSB, USB-Kameraport, LAN/WLAN, Beschleunigungssensor-Anschluss). Als SoC (System-on-Chip) arbeitet hier ein 64-Bit-Creality T800 mit 2 GB RAM und 8 GB ROM. Ein Beschleunigungssensor für das „Input Shaping“ wird mitgeliefert, für seine Anbringung ist eine Druckdatei für eine Halterung mit auf dem ebenfalls im Lieferumfang befindlichen USB-Stick mit diverser Software, Manuals etc. untergebracht. Das Sonic Pad bietet eine vollständige KLIPPER-Version mit wahlweise Fluid- oder Mainsail-Frontend, kann aber auch ins Netz eingebunden und so per beliebigem Webbrowser (Bild 11) bedient werden.

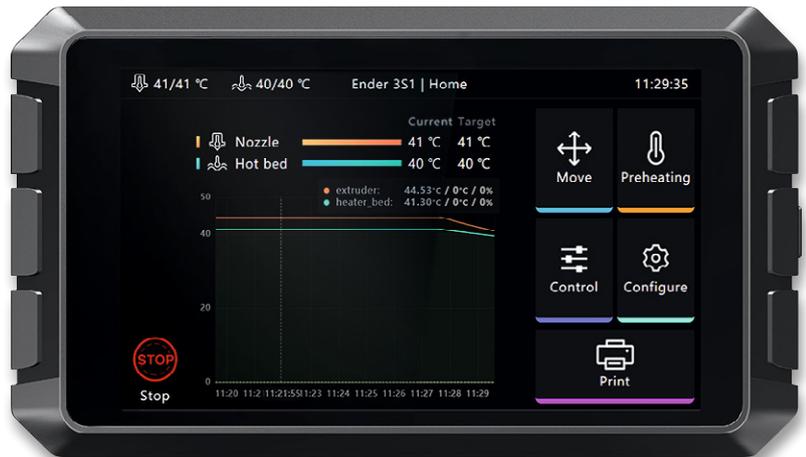


Bild 10: Die Alternative zur Selbstbau-KLIPPER-Lösung: das Creality Sonic Pad. Es verfügt u. a. über Anschlüsse für einen Beschleunigungssensor und eine USB-Kamera.

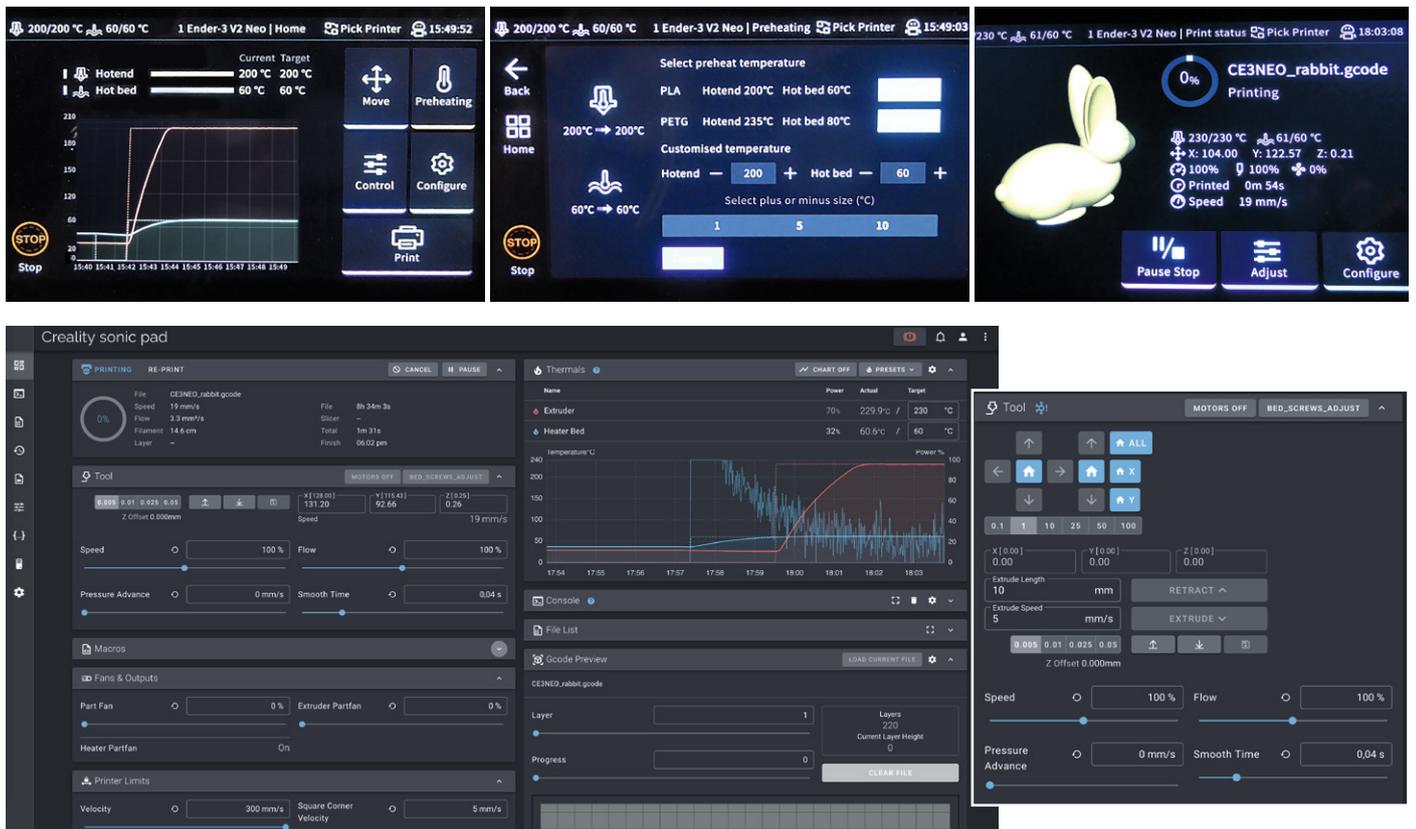


Bild 11: Das Sonic Pad kann sowohl über seinen Touchscreen als auch über einen beliebigen Browser gesteuert werden.

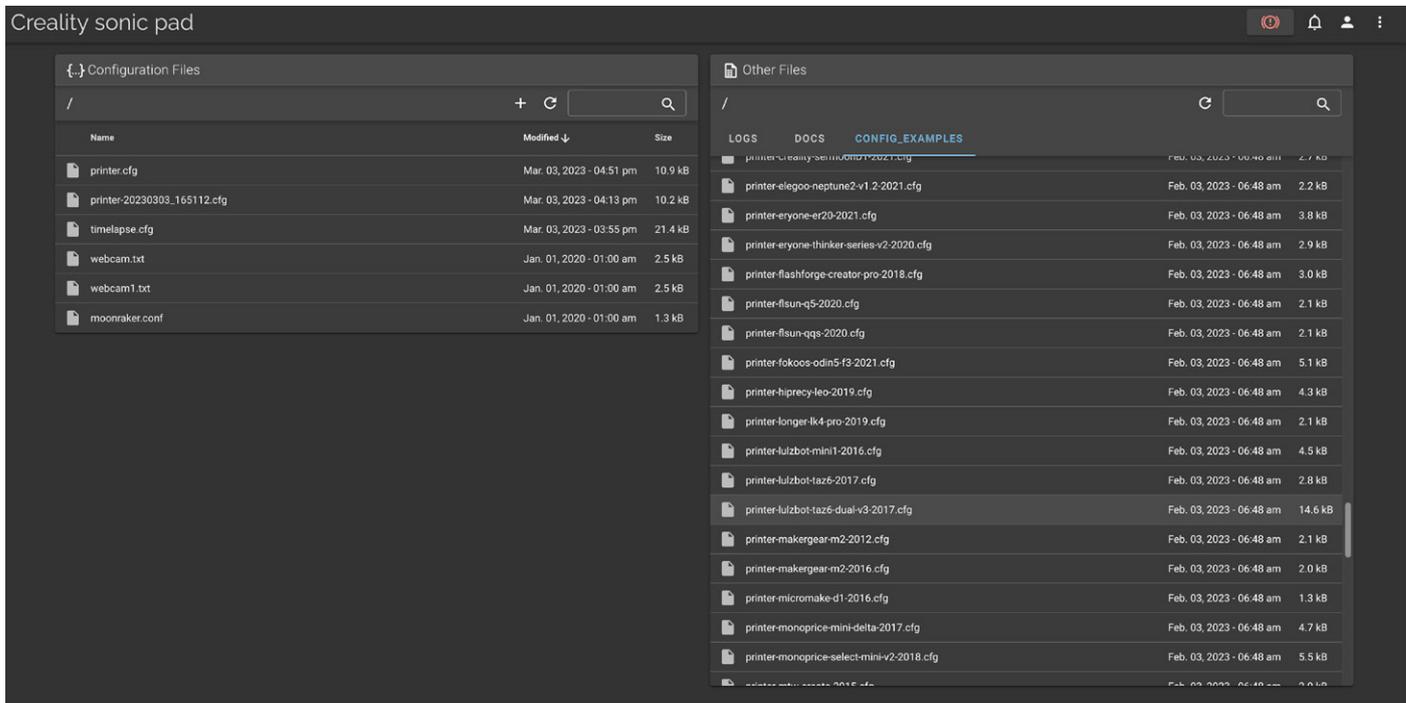


Bild 12: In KLIPPER sind bereits zahlreiche Druckerprofile hinterlegt.

Ein USB-Kameraanschluss ermöglicht die Fernkontrolle und die (Zeitraffer-) Aufzeichnung des Druckverlaufs.

Die Einrichtung ist dank eines logisch aufgebauten Einrichtungsassistenten einfach, jedoch steht neben Chinesisch nur Englisch als Sprachoption zur Auswahl.

Das Sonic Pad ist druckerunabhängig einsetzbar, hier müssen lediglich die zum eigenen Drucker angebotenen Konfigurationsdateien (Bild 12) geladen, erstellt oder angepasst sowie die speziell erzeugte Firmware auf den Drucker übertragen werden. Das Nachladen und Installieren des Systems erfolgt wie vom Raspberry Pi bekannt, über automatische Installationsprozesse von der KLIPPER-Git-Hub-Seite. In den Konfigurationsdateien kann man über jede Funktion detaillierte Informationen aufrufen und hat hier quasi eine Art komplettes Lehrbuch über alle Funktionen von KLIPPER verfügbar.

Als Besitzer eines Creality-Druckers hat man es besonders einfach – man muss nur aus der angebotenen Palette (derzeit 21 Geräte) des Creality-Sortiments seinen Drucker auswählen (Bild 13), danach eine Konfigurationsdatei für den Drucker aus dem Sonic Pad auf eine SD-Karte übertragen und diese Datei auf dem eigenen Drucker einladen. Dann kann man sofort starten. Denn so hat das Controllerboard des Druckers eine rudimentäre Firmware, die die Anbindung an die

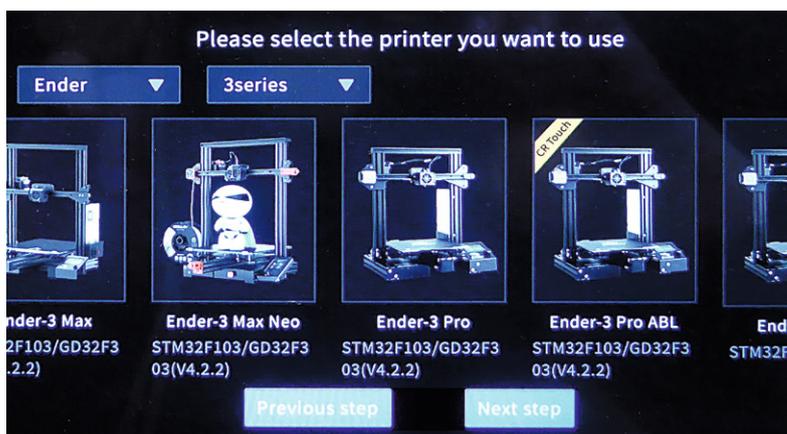


Bild 13: Das Sonic Pad erlaubt die direkte Auswahl aus nahezu allen Creality-Druckern. Mit der Auswahl wird die komplette Konfiguration geladen.

Host-Software auf dem Sonic Pad erlaubt. Für die Verbindung genügt ein USB-Kabel.

Auf der Creality-Website gibt es zusätzlich zahlreiche Creality-Druckerprofilvorgaben für Cura, die man dort auch hinterlegen sollte. Sie nennen sich „Speed-Profile“ und sind auf den schnellen Druck unter KLIPPER ausgerichtet.

Für den normalen Betrieb erscheint eine einfach bedienbare und übersichtliche Oberfläche, an der es nichts auszusetzen gibt. Alle gewohnten Funktionen sind hier erreichbar, und man kann den Drucker komplett voreinstellen, bedienen, beim Druck tunen usw., wie man es von Marlin gewohnt ist.

Im Übrigen kann man sich über geeignete Slicer wie z. B. Cura auch eine Modellvorschau des Druckobjekts erzeugen lassen, die mit der G-Code-Datei an KLIPPER gesendet wird. Dies erleichtert die Dateiverwaltung der Druckobjekte im Sonic Pad erheblich. Alle Daten werden in einem regulären Dateisystem, wie von Linux gewohnt, abgelegt und sind so leicht zu finden. Für die lokale Speichererweiterung und z. B. die Videoaufzeichnung sind auch USB-Massenspeicher anschließbar.

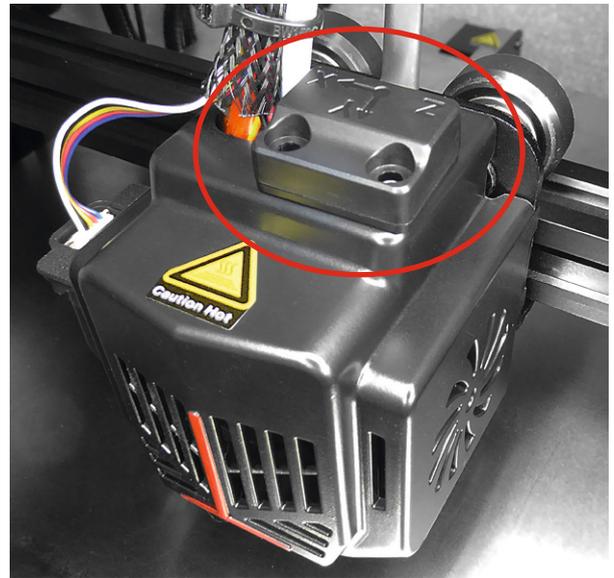
Für die Datenermittlung der Funktion „Input Shaping“ ist der mitgelieferte Sensor am Druckbett und am Druckkopf zu befestigen (Bild 14).

KLIPPER leitet durch den Abgleich, und schließlich erscheinen die zugehörigen Daten in der Konfigurationsdatei.

Der angebotene Halter für den Sensor, den man selbst drucken kann, ist aus unserer Sicht eher nicht zu empfehlen. Er dürfte die vom Sensor aufgenommenen Schwingungen beim Betrieb des Druckers eher verstärken und kann so falsche Werte liefern.

Den Wert für „Pressure Advance“ ermittelt man auch hier anhand des Musterwürfels und trägt den errechneten Wert in die Konfigurationsdatei ein (Bild 15).

Bild 14: Über den mitgelieferten Sensor werden die Konfigurationsdaten für die „Input Shaping“-Funktion ermittelt.



Interessant ist auch die Optimierungsfunktion für die Hotend-Temperatur mittels eines frei einstellbaren PID-Algorithmus (Bild 15), so kann man die Regelung quasi beliebig beeinflussen.

Das Sonic Pad kann bis zu vier Drucker steuern, deren Konfigurationen im beschriebenen Dateisystem hinterlegbar sind. Wir haben das Pad mit einem modifizierten Creality Ender 3 Neo getestet. Als Nicht-Creality-Drucker haben wir das Sonic Pad mit dem Monoprice Select Mini V2 getestet.

Fazit

Mit dem Creality Sonic Pad wird die leistungsstarke und mit vielen Features ausgestattete Firmware KLIPPER selbst für 3D-Druck-Einsteiger deutlich einfacher handhabbar. Man erhält eine komplette Plug-and-Play-Lösung und kann seinen Drucker wirklich optimal und sehr komfortabel nutzen. Nach einiger Einarbeitung in die von KLIPPER gebotenen Sonderfunktionen sind fein detaillierte, schnell aufgebaute Drucke auch für große Objekte das Ergebnis. Zusätzlich zeichnet sich das Gerät durch angenehm leisen und flüssigen Lauf der Antriebe sowie eine intelligente Steuerung der Extruderlüfter aus. **ELV**

```
printer-20230303_165112.cfg
position_max: 255
position_min: -10
homing_speed: 4
second_homing_speed: 1
homing_retract_dist: 2.0

View 'extruder' documentation
[extruder]
max_extrude_only_distance: 1000.0
step_pin: PB4
dir_pin: PB3
enable_pin: !PC3
microsteps: 16
rotation_distance: 32.473
nozzle_diameter: 0.400
filament_diameter: 1.750
heater_pin: PA1
sensor_type: EPCOS 100K B57560G104F
sensor_pin: PC5
control: pid
pid_Kp: 29.291
pid_Ki: 1.743
pid_Kd: 123.021
min_temp: 0
max_temp: 265
pressure_advance: 0.05
```

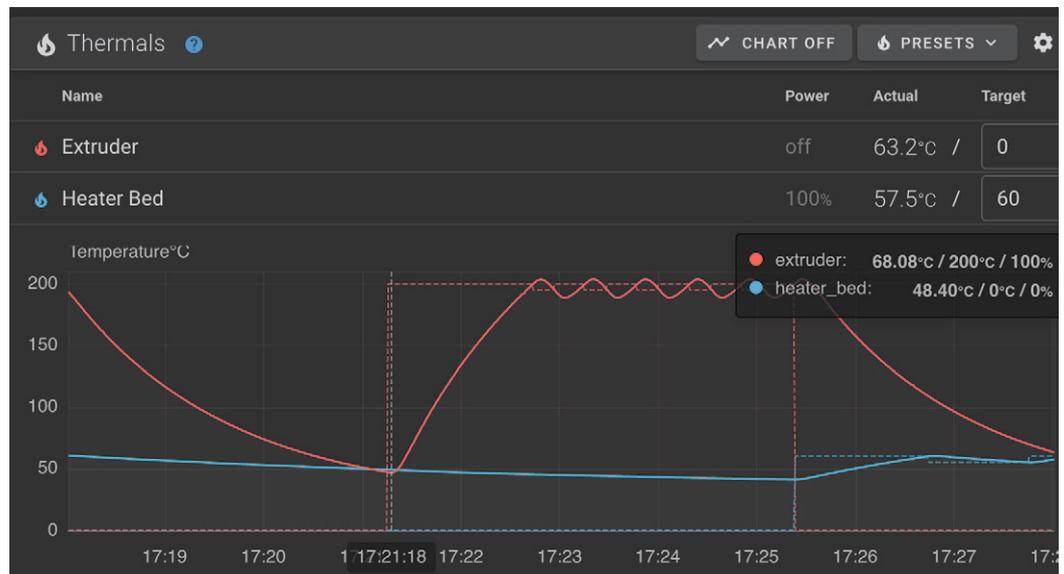


Bild 15: Die Konfigurationsdatei lässt sich über den integrierten Editor sehr einfach anpassen. Hier ist das Regelverhalten der Extruderheizung (PID) und der ermittelte Wert für „Pressure Advance“ eingetragen.

i Weitere Infos

- [1] Marlin-Website: <https://marlinfw.org/>
- [2] Git-Hub-Seite Erik van der Zalm: <https://github.com/ErikZalm>, Marlin-Firmware: <https://github.com/MarlinFirmware>
- [3] Octoprint-Website: <https://octoprint.org/>
- [4] KLIPPER - Website: <https://www.klipper3d.org/> und Git-Hub: <https://github.com/Klipper3d/klipper>
- [5] Bresenham-Algorithmus: <https://de.wikipedia.org/wiki/Bresenham-Algorithmus>
- [6] Creality-3D-Drucksteuereinheit Sonic Pad, Open-Source-Firmware: Artikel-Nr. 253261

Alle Infos finden Sie auch online unter: de.elv.com/elvjournals-links