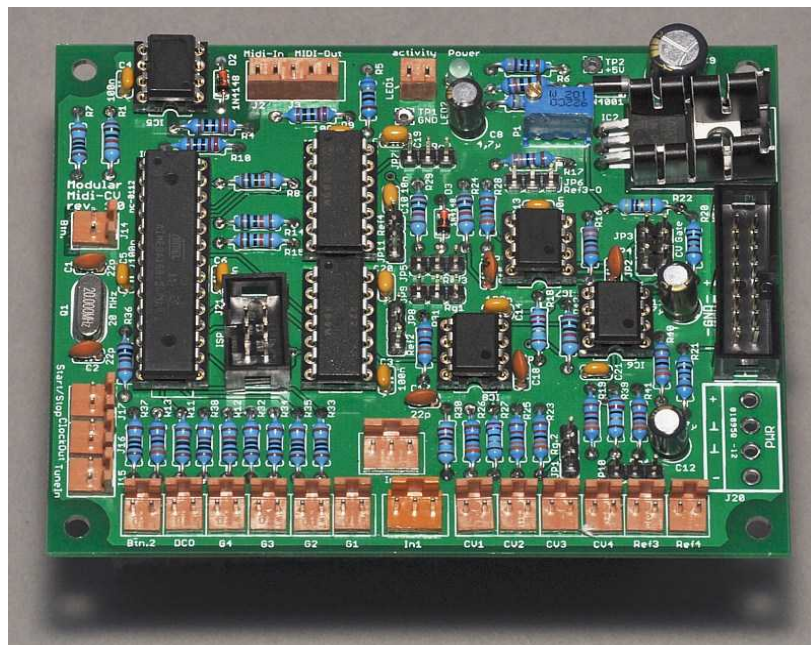


Modular Midi-CV

Selbstbau-Interface von Midi auf Steuerspannung und Gate-Signale für analoge Modulersthesizer.

BAUANLEITUNG



Anleitung: Version 1.01, gilt für Platinenrevision rev 1.0 und rev.1.1

Einführung

Zum Aufbau des Interfaces ist etwas Bastelerfahrung nötig, als erstes Selbstbauprojekt ist es eher zu aufwendig.

Rechnet mit etwa 50€ für den kompletten Aufbau, wenn ihr die Frontplatte selber bohrt.

Alle Elektronikteile sind bei Reichelt verfügbar, ich habe dort auch einen Warenkorb angelegt.

Von mir gibt es die unbestückte Platine und einen fertig programmierten Atmel, so dass ihr keinen Programmieradapter braucht. Der programmierte Atmel-Controller bringt eine sinnvolle Grundeinstellung mit. Zusammenbauen und es geht. Konfigurieren kann man das Interface per Midi-Sys-Ex mit einem CTRLR-Panel¹.

Zum Aufbau und ggfls. zur Fehlersuche wird ein Multimeter gebraucht.

Das **ganze** Projekt steht unter der GPL, es darf daher für beliebige – auch gewerbliche - Zwecke verwendet werden. Änderungen sind allerdings wieder unter die GPL zu stellen und zu veröffentlichen.

Es gibt zwei weitere Varianten des Interfaces, eine „kleine“ auf einer 50x50mm Platine mit (nur) 2 0..5V Ausgängen, und eine auf einer einseitigen Platine zum selber Ätzen. Die sind sehr ähnlich, es läuft auf allen drei die gleiche Software, die abgespeckte Hardware muss aber bedacht werden.

Funktionsübersicht

Die Platine ist gedacht zur Integration in einen Modularsynthesizer. Die Spannungsversorgung erfolgt über einen Doepfer, MOTM, Curetronic, oder (minimal bastelig) Yusynth Busstecker. Die Platine läuft mit +/-12 oder +/-15V. Die internen 5V werden auf der Platine erzeugt, für (kleine) externe Verbraucher (einige 10mA) können die auch auf den Doepfer-Bus gejumpt werden.

Es gibt 4CV-Ausgänge. Der Nennbereich der Ausgänge kann zwischen 0..5V, -5V...5V und 0...10V umgejumpt werden. Die Spannungen werden von einem 12Bit Wandler erzeugt (4096 Stufen). Das ergibt eine Auflösung, bei der Pitch-Bend per Software sinnvoll nutzbar ist. Der Pitch-Bend-Bereich ist +/-2 Halbtöne.

Als Standardeinstellung macht CV1 die Tonhöhe, CV2 die Velocity, CV das Mod-Wheel und CV den Pitch-Bender. Diese Zuordnung kann geändert werden, es gibt auch mehrere Betriebsarten. (2/4 Kanalgig, 2/4 stimmig Polyphon.)

Es sind eine ganze Reihe Controller-Pins herausgeführt, diese können softwaredefinierbar diverse Ein- und Ausgangsfunktionen übernehmen, u.a. bis zu 4 Gate Ausgängen. Diese Aus- und Eingänge arbeiten generell von 0 bis 5V. Es gibt allerdings Schutzwiderstände, damit nichts kaputt geht wenn man mal mit einem 10V Signal (o.ä) ankommt.

Midi-Start/Stopp Ausgang. Damit kann man einen Sequencer per Midi starten/halten lassen.

Midi-Clock Ausgang. Einstellbarer Teiler. Poti-Eingang, um den Teiler einzustellen. 16 musikalisch sinnvolle Werte zwischen "Din-Sync" und 1 Puls/ganze Note. Die Pulsdauer ist 50%, das kann man auch direkt als "LFO" missbrauchen.

0...5V CV-Eingang als Tonhöhen-Quantisierer. Was hier reingeht, wird auf die nächstliegende Halbtonhöhe gebracht und kann, optional transponiert und optional auf Hz/V gebracht, auf einem der CV-Ausgänge ausgegeben werden.

An Bedienelementen gibt es eine Taste und eine LED. Damit kann man den Midi-Kanal, die tiefste Note (welche Midi Note ist die kleinste CV-Ausgangsspannung) und den Controller einstellen, der CV3 zugeordnet ist. Außerdem gibt er den Panik-Button: wenn man ihn kurz antippt, gehen alle

¹ CTRLR ist ein kostenloses Programm, mit dem man Benutzeroberflächen für Midi-Geräte zusammenklicken kann.

Noten aus.

Die LED zeigt an, wenn ein Note-On ansteht (=ein Gate gesetzt ist). (+ noch ein paar Sachen, die hier jetzt zu weit führen...)

Die Konfiguration erfolgt über Midi per Sys-Ex. Dazu gibt es ein CTRLR-Panel.

Denkbare, angedachte und teilweise nie verwirklicht werdende weitere Optionen:

- DCO-Ausgang. Ein Oszillator, der Rechteck bzw. einstellbare Pulswelle ausgeben kann. (Das doofe daran ist, das sich der vor allem, da sehr stabil, als Modulationsoszillator eignet. Dafür wäre aber Sinus günstig. Und das ist gleich das volle Programm beim Waveshaper...)
- LFO-Erzeugung auf einem der CV-Ausgänge. Auch für Midi-Synchrone LFOs interessant. Würde dann per CC eingestellt. (Das Controllerkeybaord hat ja meist einige, doch eher ungenutzte davon...) (Übrigens gibt der Clock-Ausgang schon jetzt einen brauchbaren LFO ab!)
- Hüllkurve auf einem der CV-Ausgänge.
- Auto-Duosone/Duophoner-Modus: 2 CV-Ausgänge, die bei **einer** gedrückten Note das gleiche ausgeben (Unisono der beiden VCOs), bei **zwei** gedrückten Noten aber die beiden Tonhöhen.
- Mehrere Konfigurationen. Per (Poti-)Eingang eine aus X gespeicherten Konfigurationen auswählbar. (Die erstellt man sich einmal, und kann dann, ohne Computer, dazwischen auswählen.)

Software & μ Controller

Der Controller ist ein Atmel ATmega168. Den gibt es (von mir) fertig programmiert, zusammen mit der Platine. Da ist dann auch ein Bootlader drinnen, so dass man ihn einfach über Midi mit neuer Software updaten kann. (Update-Datei mit passender Software (MidiOX o.ä.) per Midi an das Interface schicken, fertig.)

Solche "neue Software" kann sich sogar jeder, der etwas programmieren kann, selber bauen. Denn die Entwicklungsumgebung, die man dazu braucht, kann man bei ATMEL kostenlos runterladen, und ein kleines Tool, was dann aus der Programmdatei ein "Midi-Sys-Ex" macht, gibt es auch.

Den Controller kann man nicht bricken². Zumindest so lange man die Updates nur über Midi/Sys-Ex macht.

Denn es gibt einen extra Bootlader(bereich), den man auf die Weise nicht überschreiben kann. Egal, was für einen Murks man da reinschießt: Beim Einschalten die Taste festhalten, und er geht in einen "Bootlader-Modus", in dem er auf ein neues File (per Midi) wartet.

Teile Bestellen

Reichelt Warenkorb:

<https://secure.reichelt.de/index.html?;ACTION=20;AWKID=544870;PROVID=2084>

(Eine simple Liste steht auch im Anhang.)

Bei ein paar Sachen müsst ihr noch selber heraus suchen, was ihr haben wollt, das betrifft vor allem die Steckverbinder und natürlich die Teile, die auf die Front kommen. Da wird, je nach

² Kleine Begriffsklärung: "Bricken" ist ein Ableitung von engl. "brick"=Ziegelstein, und meint das Verwandeln eines Gerätes durch ein schief gegangenes Software-Update in einen Gegenstand mit grob vergleichbarem Nutzwert. Kommt bei DVD-Laufwerken, Routern, DSL-Modems usw. schon mal vor ...

gewünschtem Ausbaugrad, unterschiedlich viel unterschiedliches Zeug benötigt. Außerdem kann man große Klinkenbuchsen und Potis nicht gut bei Reichelt kaufen. Auch Conrad hat keine Potis in brauchbarer Qualität, die sollte man doch besser bei Banzai oder Musikding bestellen. (Kosten da auch eher weniger, sind vor allem aber besser.)

Ich habe für fast alle Anschlüsse diese braunen Verbinder mit fertig konfektionierten Steckern mit Kabeln dran vorgesehen. Da kann man abspecken, was man nicht braucht, der sparsame Bastler lötet ja auch mal direkt...

ACHTUNG bei den Widerständen: Wenn ihr alles zusammen habt, Anzahl aufrunden: 10 Widerstände sind genau so teuer wie 6.

Als Stromanschluss habe ich eine 16 polige Wanne für Doepfer Buskabel drinnen. (Teile für das Bus-Kabel selber ggfls. ergänzen!)

(Die ist polarisiert, ich halte die verdrehbaren Doepfer-Kabel für einen Konstruktionsfehler, den ich nicht fortführen möchte. Flachkabel, Wannenstecker und Buchsenquetschleisten haben einen Industrieweit definierten Pin 1, insofern ist das eindeutig & immer gleich und passend - oder *falsch* aufgebaut.)

Alternativ kann man auch den MOTM Stecker (156 MTA), Curetronic (10 pol Wanne statt 16pol) oder Yusynth (6 pol einreihig 2,54mm Raster nach Wahl) bestücken, für den Yusynth-Stecker **vor** dem Einlöten zwei Bahnen durchkratzen (... wenn es denn 100% kompatibel sein soll...)

Die rote "activity" LED ist zwar direkt auf der Platine "eingezeichnet", da habe ich aber auch Kabel, Schrumpfschlauch und einen Montagerring für die Frontplatte vorgesehen, denn das ist ziemlich sinnvoll, wenn man die sehen kann.

Die grüne Power-LED ist mehr Mindestlast und Debug-Hilfe, die kommt auf die Platine.

Ein schwarzer mittelkleiner Bedien-Taster ist auch dabei, ggfls. gucken ob der euch gefällt. (So billig ist der nicht...)

Zwei Midi-Buchsen sind dabei, wobei Midi-Out derzeit nur „Midi-Thru“ kann. (Hier gucken, ob die Buchsen mechanisch zu eurem Aufbau passen!)

Sonstige Buchsen sind **nicht** dabei, das (optionale) Poti ist auch nicht dabei. Das würde ich auch nicht bei Reichelt kaufen, außerdem muss es ja zu eurem System passen.

Als Poti geht jedes lineare zwischen 10k und 100k.

Wie viele Buchsen braucht man denn so?

4 x CV

1 x Gate

1..3 x Gate2...4 (optional)

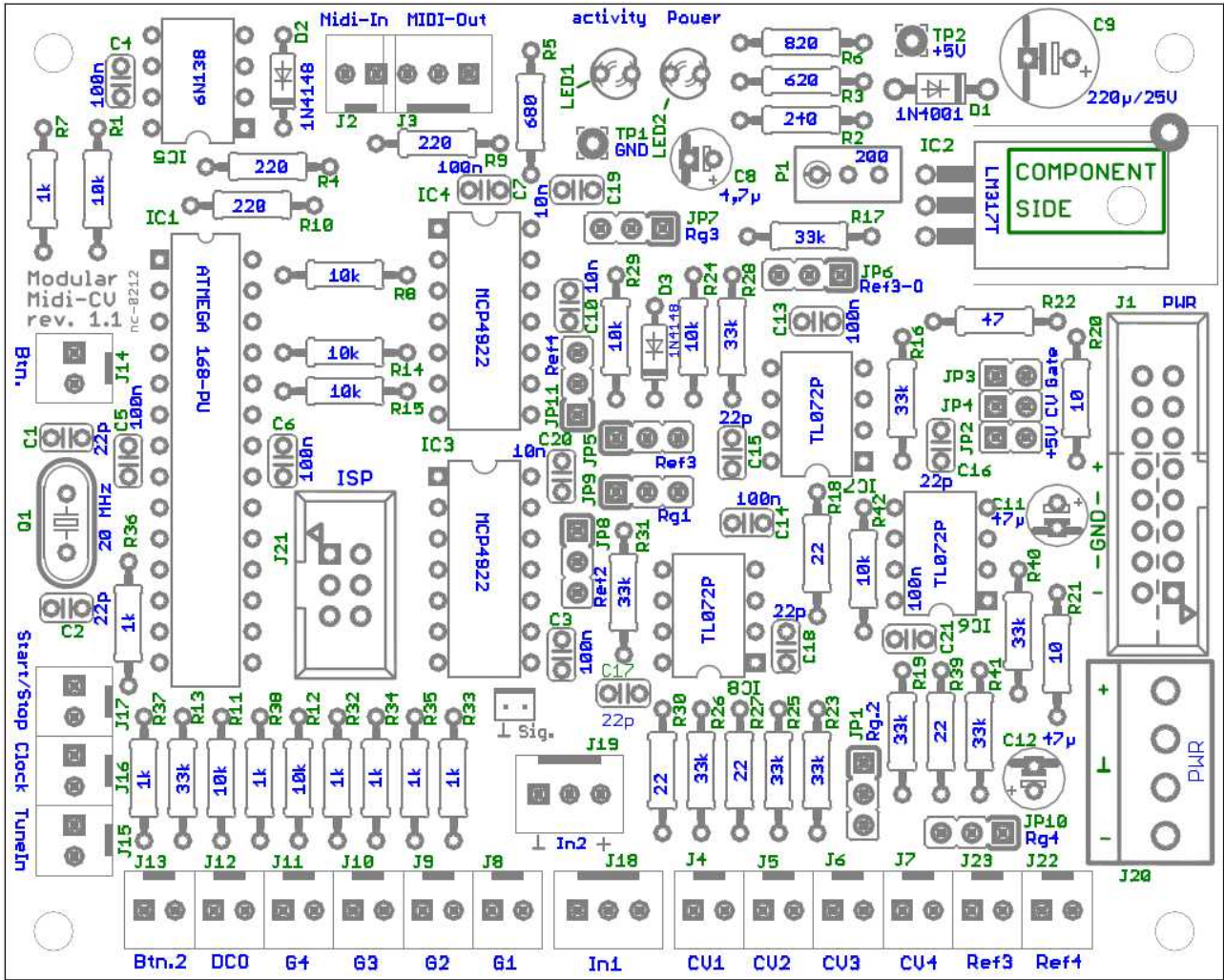
1 x CV In

1 x Midi Clock Out (kann man auch als Midi-Synchronen Rechteck-LFO-Out hernehmen...)

1 x Midi Start/Stop (wenn man es braucht)

Der Rest ist mehr oder weniger für zukünftige Erweiterung oder für speziellere Anwendungen.

Bestückung

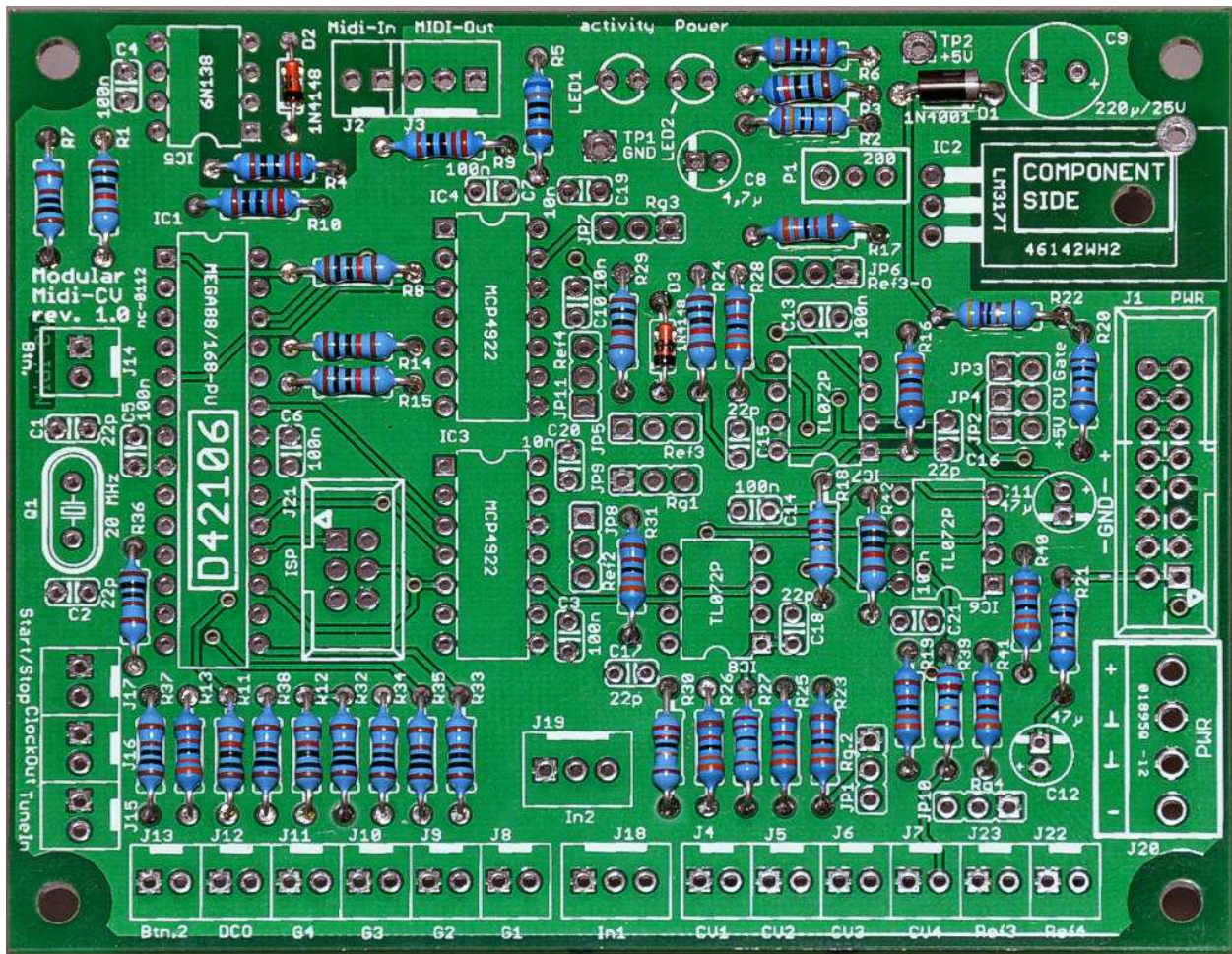


Bestückungsdruck

Platine von der richtigen Seite bestücken, es kommt alles auf die "Component Side".

Auf der "Solder Side" wird nur gelötet. Der Aufdruck dort ist nur da, damit man beim Messen/Fehlersuchen/Reparieren weiß, wo man gerade ist.

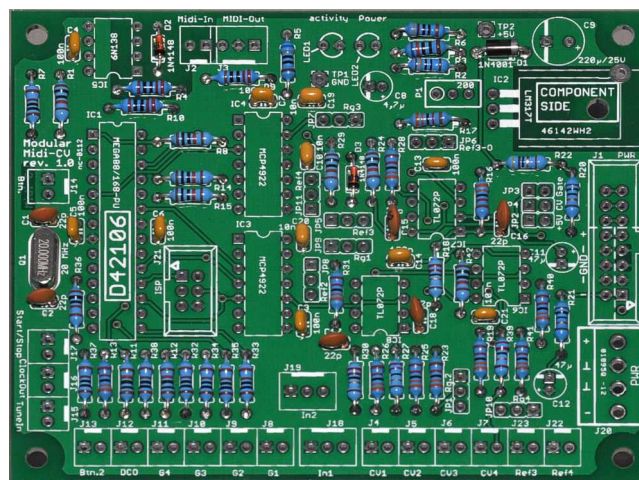
Wie üblich mit Widerständen anfangen und dann nach und nach die Teile nach Höhe sortiert einlöten. Stecker, Elkos, Jumper ... also zuletzt.



Widerstände und Dioden bestückt

wer wenig geübt im Fehler finden ist, und auch keinen Farbcode lesen kann, misst die Werte sicherheitshalber vor dem Einlöten noch mal nach.

Teile vertauschen ist großer Mist... "10" ist was anderes als "10k". (Faktor 1000)!



niedrige Kondensatoren und Quarz

nächste Etage: Kondensatoren und der Quarz.

Auf den Kondensatoren sind die Wert als Zahlen aufgedruckt, aber auch kodiert. Der Wert ist in pF angegeben, wenn keine Einheit drauf steht. (Sonst steht da ein μ für micro-Farad)

Die ersten beiden Ziffern sind der Wert, die dritte Ziffer ist die Zahl der Nullen. Da 220 so 22pF

wären, und das dann auch den Profis zu irritierend wird, steht da dann auch gerne mal nur 22 drauf. Ansonsten sind hier für uns 104 die 100nF Teile und 103 die mit 10nF.

Weiter mit:

- Ebene 3: IC-Sockel.

Beachtet auch bei den IC-Sockeln die Ausrichtung - auch Sockel haben eine Pin1 Marke, von der erwartet wird, auf der richtigen Seite zu sitzen.

- Ebene 4: die braunen Stifleisten, die grüne Power-LED

An Stelle der Activity-LED einen Stecker einlöten, denn die kommt auf die Frontplatte.

- Ebene 5: Jumper (Stifleisten), der Trimmer, die Pfostenwannen (Strom & ISP)

Beim Strom das Teil bestücken, was ihr für euer System braucht. Der ISP-Anschluß ist nur für einen Programmier/Debug-Adapter nötig, kann i.a. also auch unbestückt bleiben.

Nur für Yusynth-Stecker zwei (Masse)Leiterbahnen auftrennen: siehe Anhang.

- Ebene 6: die drei Elkos. **Polung beachten**, der Minuspol am Elko ist fett markiert und hat auch auf der Platine einen dicken weißen Strich.

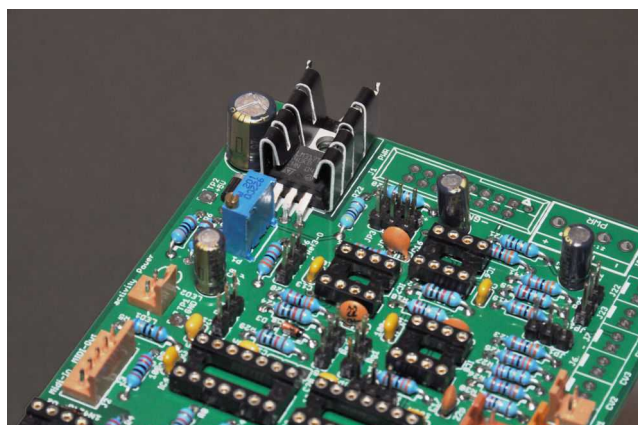
- Spannungsregler in den Kühlkörper reinschieben, Beinchen passend biegen und einlöten.

Das Einschieben geht etwas schwer, siehe Bild.



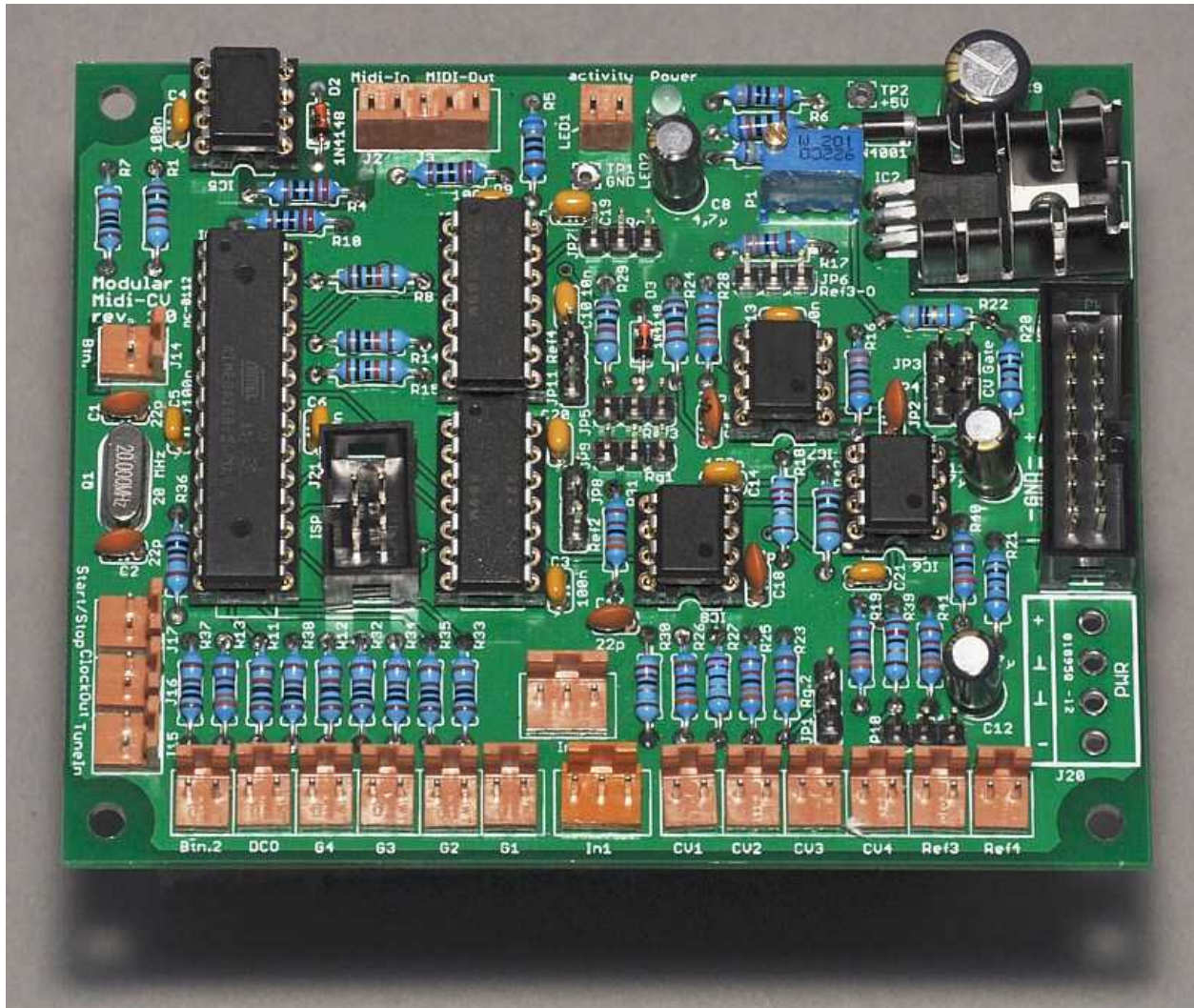
Spannungsregler in den Kühlkörper einschieben

Dann wird das zusammen (als letztes, denn das ist das klobigste Teil!) bestückt. Der Kühlkörper hat einen extra Lötstift, damit da nix wackelt. Eine Schraube ist daher nicht nötig, die braucht man nur, wenn man keinen Kühlkörper hat. (Thermisch ist der nicht unbedingt nötig.) Aufpassen, das er oben im ausgesparten Bereich sitzt. (Für Serienfertigung müsste ich das deutlich größer aussparen, aber wir haben ja die Zeit um das auszurichten...)



... und fertig montiert

Ihr müsst nicht alle Steckverbinder bestücken, mehr als ein Power-Stecker ist sogar ausgesprochen sinnlos...



Interface, komplett Bestückt

Inbetriebnahme

Wenn alles gelötet ist:

ICs noch **nicht** reinstecken, Stecker noch nicht anschließen. Nur Strom dran. Wenn nichts raucht, mit dem Multimeter an den beiden Testpads die Spannung messen. Die muss zwischen 4,5 und 5,5V liegen und wird mit dem Trimmer auf 5V eingestellt.

Strom wieder aus. ICs reinstecken. Kontrollieren, dass sie richtig rum sind, da kann sonst was kaputtgehen. (Welche kaputt gehen und welche nicht, verrate ich nicht, nur das die 10 Ohm Widerstände abbrennen können. Wenn ihr das vorhabt, wären Kohleschicht-Widerstände vorteilhaft, die brennen besser.)

Rote „Activity“-LED anschließen. Der Stecker kommt gleich herum (Steg zur Platinenmitte) wie die Midi-Stecker, die Kathode (Minus, kurzes Beinchen) ist dann das schwarze Kabel. Taster anschließen, der kommt an die Buchse "Btn" (neben dem Quarz).

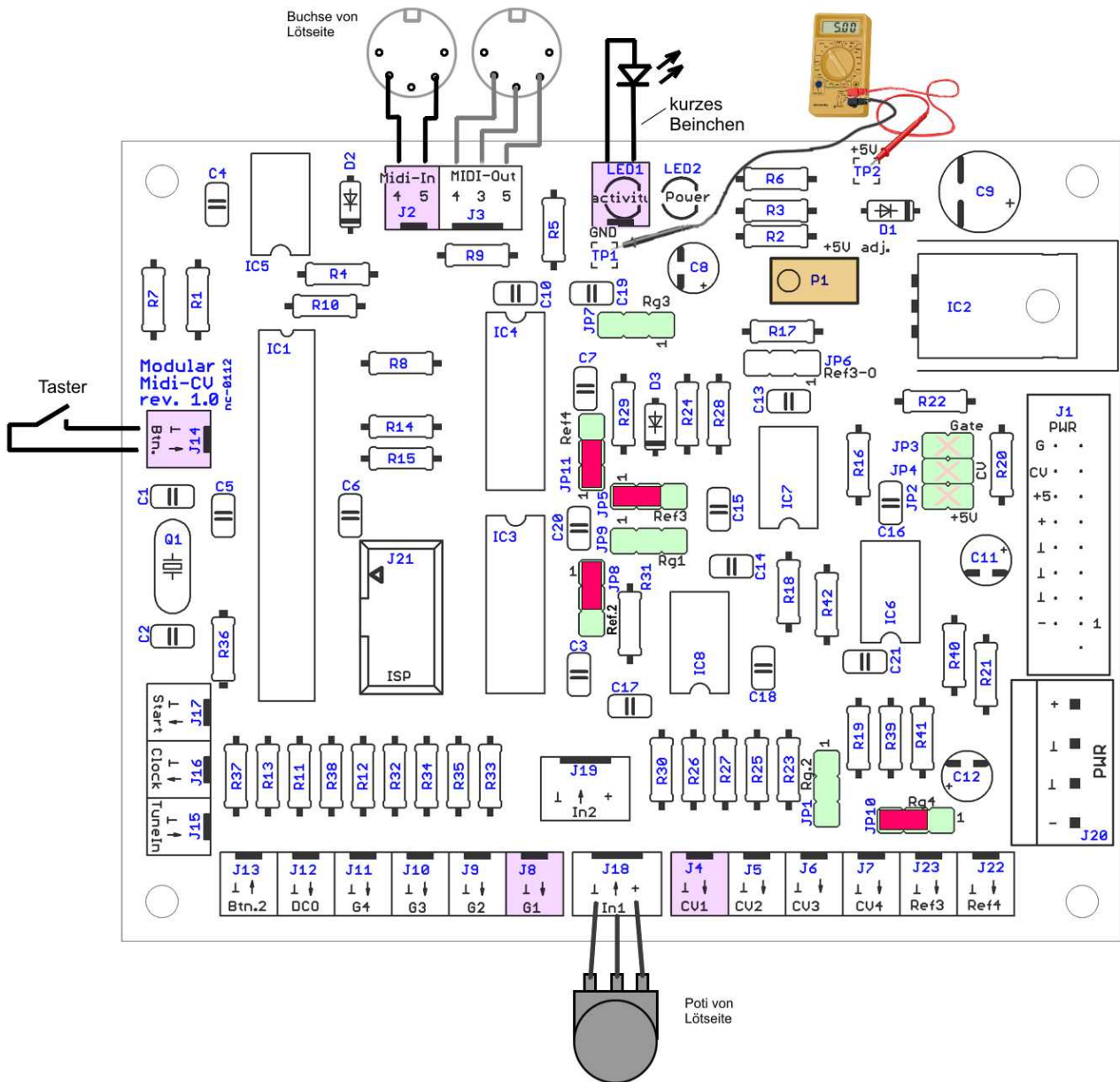
Einschalten. Die LED muss 2 x blinken. Das heißt, das der Controller läuft. Taste einen Moment drücken, die LED geht an. Taste nochmal drücken, LED geht aus.

Ausschalten.

Restliche Buchsen verkabeln (siehe Jumperplan unten, generell: der "eckige" Pin ist 1, das ist das schwarze Kabel, und das liegt auf Masse, Pin 2 = rotes Kabel, ist Signal)

Im Jumperplan rot markierte Jumper stecken.

Jumperplan



Default-Jumper-Plan, Minimalanschlüsse (Violett hinterlegt), Messpunkt für den 5V Abgleich, Midi und Poti-Anschluß

Jumpereinstellungen

Rg1....Rg4: Ausgangsspannungsbereich CV1 bis CV4 wählen:

Zuordnung: CV1 = Rg1 (JP9) CV2 = Rg2 (JP1) CV3 = Rg3 (JP7) CV4 = Rg4 (JP10)

Kein Jumper = 0...5V.

Jumper auf 1-2(1=eckiges Lötpad) =0...10V.

Jumper auf 2-3 = -5V...5V.

ref2, ref3, ref4: **D/A Referenzspannung** wählen: Die Wandler sind multiplizierend, können also eine unipolare Eingangsspannung mit dem Wandlerwert mal nehmen. Der anschaulichste Fall ist wohl die Hüllkurve für den VCA durch einen Wandler mit der Velocity zu multiplizieren. Die Schaltung ist nicht für alle CVs gleich.

Für CV1: kein Jumper, immer fest auf 5V, d.h. ganz normale CV

Für CV2:

ref2 (JP8):1-2 fest 5V, normale CV

ref2 (JP8): 2-3 CV1 als Referenz. Da werden also beide Wandler hintereinander geschaltet, das erhöht die Auflösung. Das ist für V/Hz gedacht und erfordert eine zukünftige Softwareanpassung. Sinnvollerweise muss der TL072 dann auch durch einen OP mit besseren DC-Eigenschaften (Offset-Drift) ersetzt werden. Damit könnte man dann auch Pitch-Bend und Glide bei V/Hz machen.

Für CV3:

ref3 (JP5): 1-2 fest 5V, normale CV

ref3 (JP5): 2-3 extern vom Eingang "Ref3" (J23).

ref3-O (JP6) wählt den Eingangsspannungsbereich für ref3:

offen: 0..5V, 1-2: 0...10V, 2-3: -5V ...5V

Der -5V Anfang ist allerdings nur ein Offset, d.h. bei -5V Eingang kommt immer null raus. Mag für bipolare LFOs nützlich sein, die würden sonst unter 0 abgeschnitten.

Für CV4:

JP11: 1-2 interne 5V, normaler CV Ausgang

JP11: 2-3 extern 0...5V über vom „Ref4“-Eingang (J22).

Buskonfiguration:

JP3 gesteckt: Gate-Signal auf den Doepfer Bus geben

JP4 gesteckt: CV1 als Tonhöhe auf den Doepfer-Bus geben

JP2 gesteckt: 5V auf den Doepfer Bus einspeisen(!) (nur wenige 10 mA Last sinnvoll. **Vorsicht, keine Doppelspeisungen basteln!**)

Hinweis zum Layout

Die Platine hat auf der Oberseite weitgehend Masse-Fläche und auf der Unterseite weitgehend +5V Fläche. Das gibt zwar eine saubere Versorgung, aber auch Probleme wenn ihr Teile auslöten müsst, die Verbindung zu einer dieser Flächen haben. Solche Löcher bekommt man schwer wieder frei. Also besser 2 x prüfen, das alles richtig ist.

Und bei der Inbetriebnahme und Fehlersuche bedenken, das unten die Fläche 5V hat, Masse ist oben.

Hinweis zum Abgleich

Der Trimmer stellt die Oktavspreizung ein, Spannung habt ihr oben mit dem Multimeter ja schon auf 5V eingestellt, Feinabgleich dann mit Stimmgerät, so dass die Oktaven stimmen. Wenn das nicht stimmt bzw. nicht plausibel ist, dann stimmt da etwas nicht, gerne ist mal die Batterie vom Multimeter alle.

Die Schaltung ist so dimensioniert, dass der komplette Trimmerbereich im "legalen" Versorgungsspannungsbereich liegt (4,5 bis 5,5V), da kann man also nix kaputt machen. (... und der "nominell richtige" Abgleich ist auch genau in der Mitte der Trimmereinstellung...)

Anhänge

Bauteilliste:

Widerstände (alle Bauform 207 Metallschicht = ganz normaler Widerstand)

R20, R21 10 Ohm

R22 47 Ohm

R18, R28, R30, R39 22 Ohm

R2 240 Ohm

R3 620 Ohm

R4,R9, R10 220 Ohm

R5 680 Ohm

R6 820 Ohm

R7, R32, R33,R34,R35,R36,R37,R38 1k Ohm

R1, R8, R11, R12, R14, R15, R24, R29, R42 10k Ohm

R13, R16, R17, R19, R23, R25, R26, R31, R40, R41 33k Ohm

P1 200 Ohm, 20-Gang Präzisionstrimmer stehend, Bauform „W“ (=Pins mittig in einer Reihe)

Kondensatoren:

C1,C2, C15,C16,C17, C18 22p keramisch, RM2,5

C3,C4,C5,C6,C7,C13,C14,C21 100n keramisch, XR7 oder Z5U, RM2,5

C10, C19,C20 10nF keramisch, XR7, RM2,5

Elkos, Spannungswerte nach Bauform, C8 ist für 5V; C9,C11,C12 hängen an 12 bzw. 15V.

C8 4,7 μ /50V RM 2mm, stehend, 5mm Becherdurchmesser

C11,C12 47 μ F/25V RM2mm, stehend, 5mm Becherdurchmesser

C9 220 μ /25V RM 3.5mm, Becherudurchmesser 8mm

Halbleiter

D1 1N4001 Diode

D2,D3 1N4148 Diode

IC1 ATMEGA 168-PU, Mikrocontroller, DIL28, der muss programmiert (geflasht) werden.

IC2 LM317T Spannungsregler, TO 220 Gehäuse

IC3,IC4 MCP4922 Dual 12Bit D/A-Wandler

IC5 6N138 Optokoppler, DIL8

IC6,IC7, IC8 TL072P Operationsverstärker, DIL 8

LED1 activity LED 3mm, rot, „low current“

LED2 Power LED 3mm grün, „low current“

Q1 20 MHz Quarz, Gehäuse HC49/U-S (=niedrige Bauform, ist nicht zwingend, aber praktisch)

Steckverbinder:

J1 16 polige Pfostenwanne (Doepfer-Busstecker)

alternativ: J20 MTA04-156 MOTM Stromanschluss

J2, J4, J5, J6, J7, J8, J10, J11, J12, J13, J14, J15, J16, J17, J22, J23, LED1

2 polige Steckanschlüsse für Ein- und Ausgänge, RM 2,5mm (optional, kann man auch direkt löten)

J3, J18, J19

3 polige Steckanschlüsse für Ein- und Ausgänge, RM 2,5mm (optional, kann man auch direkt löten)

J21 6 polige Pfostenwanne, OPTIONAL für ISP

Stiftleisten für Jumper, RM2,54mm

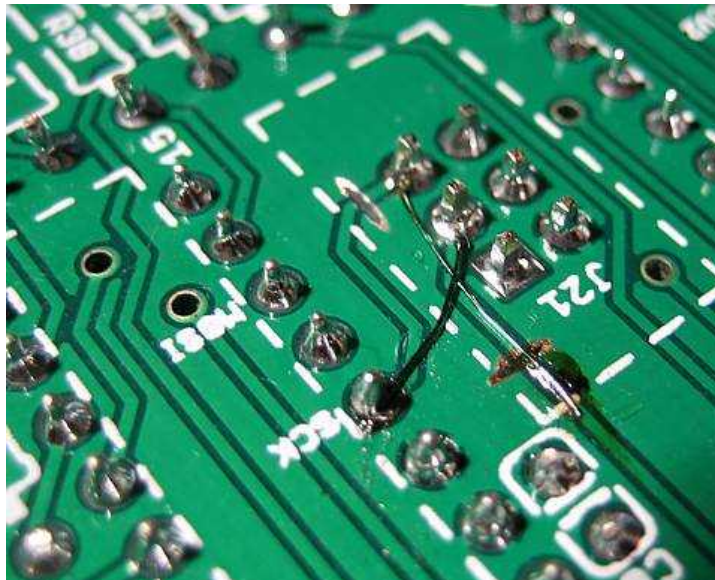
JP2, JP3, JP4 2Pins

JP1, JP4, JP6, JP7, JP8, JP9, JP10, JP11

Platinenrevisionen

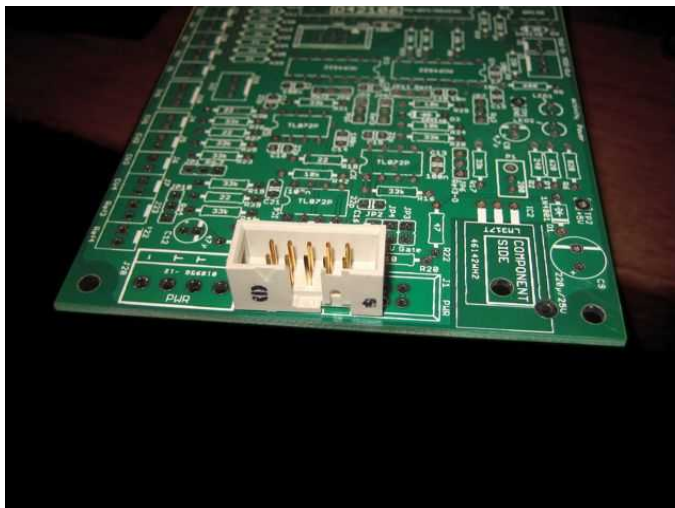
Es gibt eine Revision „rev 1.0“ und eine „rev 1.1“ der Platine, das steht auf der Platine (neben dem Atmel) drauf.

In der Revision 1.0 sind Pin 3 & 5 am ISP-Anschluss gegenüber der ATMEL-Standard-Belegung vertauscht. Wenn der Stecker nicht bestückt wird, dann spielt das keine Rolle, wenn man seinen Controller in der Platine (per Programmiergerät) Debuggen oder Flashen will, ist es allerdings sinnvoll, das zu Patchen:



Patch ISP-Anschluss von Platine in rev. 1.0

Andere Stromanschlüsse



Bestückungsvariante mit Curetronics-Anschluß.

Der Curetronics-Stecker lässt die rechten 6 Pins frei, siehe gestrichelte Linie auf dem Bestückungsdruck.

Default-Einstellung

Grundeinstellung des Interfaces:

- Midi-Kanal 1
- CV1 = 0..5V, Tonhöhe. Ohne Pitch-Bend. Grundnote = C2
- CV2 = Velocity
- CV3 = Mod-Wheel (den kann man per Taste auf einen beliebigen CC umlernen) (0..2,5V bzw. 0...5V, je nach Jumperstellung)
- CV4= Pitch-Bend (i.a. passend: Jumper auf +/-5V stellen)
- Gate 1 = Note-On

- Midi-Start/Stopp
- Midi-Clock = 16-tel.

Die Grundeinstellung kann wieder hergestellt werden, in dem man den Taster beim Einschalten so lange fest hält, bis das Geblinke der LED aufhört.

Hz/V

Hz/V geht mit dem 12Bit Wandler ganz passabel, mit einem DAC-Kanal schafft man etwa 4 Oktaven, die 5. ist dann schon etwas wacklig. Bei Hz/V wird die Auflösung bei den unteren Oktaven ein Problem, da stimmen die Töne einfach nicht mehr.

Bei den üblichen 1V/Oct sind die Wandler Schritte immer gleich groß (mit 12Bit auf 5Volt ca 1.5 Cent) egal wie hoch der Ton ist. Zudem kann man den Tonabstand zu einen ganzzahligen Vielfachen der Wandler Schritte machen, dann hat man keinen (zusätzlichen) Fehler durch die digitale Schrittweite (keinen Rundungsfehler). 8 Bit Wandler kann man *nur* so benutzen, da ist ein Halbton 2 (bei 10V Full Scale) bzw. 4 (bei 5V) Wandler Schritte - und die Töne werden entsprechend schief, weil die Wandler ihre Soll-Schritte natürlich nur begrenzt genau treffen. Unser 12-Bit Wandler ist merklich besser.

Bei Hz/V muss die Software die Logarithmierung machen (=einer Tabelle entnehmen), dadurch ist die Ausgangsspannung immer ein krummer Wert mit Rundungsfehler. Und da die Schritte bei tiefen Tönen sehr klein sind, nimmt der Fehler im Bass zu: er verdoppelt sich mit jeder Oktave.

Wenn man zwei Wandler hintereinander schaltet (die Hardware der großen Version "kann" das mit DAC 1 und 2, der eine Wandlerwert wird dann analog mit dem zweiten multipliziert), dann hat man eine viel bessere Auflösung und es sollten ein paar Oktaven mehr drin sein. Das ist dann durch die reale Genauigkeit der Wandler/Schaltung begrenzt und damit von Temperatur, Offsetspannungen, Glück und so Zeug abhängig. Das ist im Programm aber noch nicht drin, die „ein-Wandler“ Lösung ist aber auch schon völlig brauchbar.