

# 500 EURO STM-Projekt

Auftrag 18113

## 1 Problemstellung

Für das 500 EURO STM-Projekt soll eine Steuerungselektronik und Software entworfen werden. Die Randbedingungen hierzu sind:

- Einfacher Aufbau, auch von Schülern und Physiklehrern möglich
- Keine Verwendung von schwer beschaffbaren Spezialteilen
- Kosten so niedrig wie möglich

## 2 Lösungsansätze

### *Entwurf einer eigenen Hardware*

Dies wäre schaltungstechnisch die optimale Lösung und würde zu den niedrigsten Produktionskosten führen. Dabei wird die Schaltung bestehend aus Mikrocontroller, A/D-, D/A-Wandler und Piezo Treiber selbst entwickelt und ein eigenes Leiterplattenlayout erstellt. Die Schaltung wäre kompakt mit minimalen Verdrahtungsaufwand (nur Verbindungsstecker zur Hardware) und das Layout könnte technisch optimiert werden um die Voraussetzungen bestmöglich zu erfüllen.

#### Vorteile

- Niedrige Kosten bei einer Serienproduktion
- Schaltung kann optimiert werden um die technisch beste Lösung zu erreichen
- Niedriger Verdrahtungsaufwand

#### Nachteile

- Nachbau für Schüler und Lehrer aussichtslos
- Zahlreiche Bauteile müssen einzeln beschafft werden. Nicht alle sind in Kleinstmengen verfügbar

### *NI Labview USB-6001 Multifunktions-I/O-Gerät (Bild 1)*

Dieses Modul wird einfach an dem USB Anschluss angesteckt und stellt 8 Analoge Eingänge (14 Bit, 20 kS/s,  $\pm 10V$ ), 2 analoge Ausgänge (14 Bit, 5 kS/s,  $\pm 10V$ ) sowie 13 I/O Kanäle zur Verfügung. Der Preis des Moduls liegt bei 220 Euro netto.

#### Vorteile

- Niedriger Preis (220 EUR netto)
- Programmierung der Software über NI Labview (Demoversion für 30 Tage kostenlos)
- I/O Bereich  $\pm 10V$  könnte mit Einschränkungen der Dynamik ausreichen und den Piezo-Treiber überflüssig machen
- Einfache Visualisierung und Speicherung der Daten

#### Nachteile

- Der PC muss schnell sein, um die Regelung im 1 kHz Takt zu schaffen. Das sollte aber funktionieren
- Nur 2 DACs und nur 14 Bit Auflösung. Dies ist für die Z-Achse zu wenig. Als Lösung müsste man noch einen 16 Bit DAC an die I/O-PINs anschließen (Z) und die internen DACs für X und Y verwenden. Damit wird die externe Piezo Verstärkerstufe aber weiterhin benötigt. Die Gesamtkosten erhöhen sich damit auf etwa 320 Euro brutto und bieten somit keinen Vorteil mehr gegenüber der umgesetzten Lösung.
- Timing stark vom PC abhängig.





**Bild 1:** NI USB-6001 Modul

#### *Raspberry Pi Modul (Bild 2)*

Diese kleinen Mikrocontroller/Computer sind sehr preisgünstig und weit verbreitet. Es sind externe D/A-Wandler, A/D-Wandler und der Piezo-Treiber notwendig.

#### Vorteile

- Äußerst Preisgünstig (Raspberry Pi mit TFT Anzeige ca. 70 EUR, restliche Elektronik ca. 120 EUR. Gesamtkosten unter 200 EUR)
- Programmierumgebung kostenlos – Schüler könnten zumindest theoretisch den Quellcode ändern

#### Nachteile

- Timing kritisch da auf dem Modul ein Betriebssystem läuft
- Viel Handverdrahtung (=viele Fehlermöglichkeiten)



**Bild 2:** Raspberry Pi Modul

#### *Mikroe mikromedia Boards (Bild 3)*

Hierbei handelt es sich um Mikrocontrollerboards mit integriertem TFT Displays. Mit einer aufsteckbaren Erweiterungsplatine (Shield) lassen sich 4 Module (Click Boards) aufstecken. Click Boards gibt es vom Hersteller mit zahlreichen Funktionen, wie z.B. D/A oder A/D Wandler. Der Vorteil des Systems ist die entsprechend einfache und schnelle Erstellung von Prototypen.

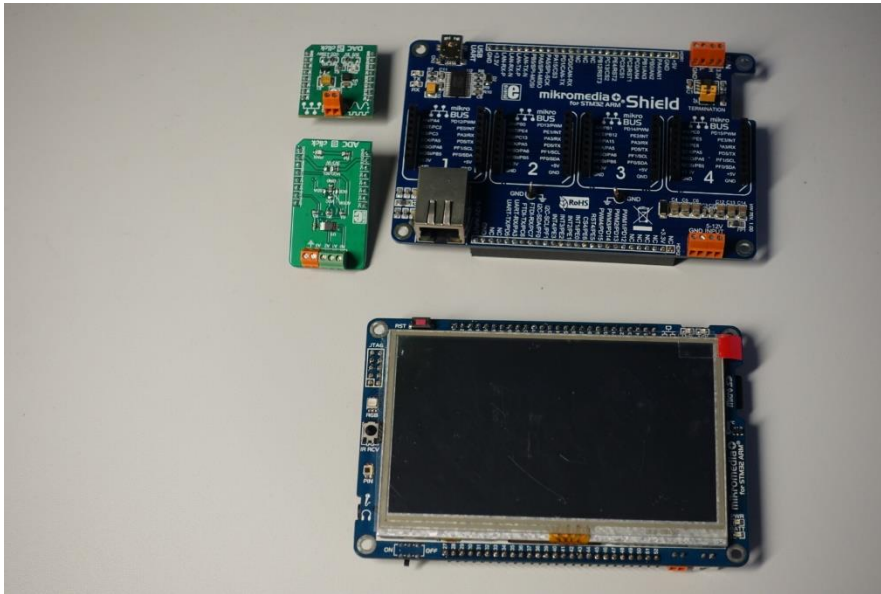
#### Vorteile

- Schnell zum Ziel
- Einfaches Baukastensystem
- Einfache und schnelle Beschaffung (Conrad, RS Components, Farnell, ...)

## Nachteile

- Preis moderat/hoch (ca. 200 EUR für Controller mit Display, ca. 120 EUR für A/D- und D/A-Wandler)
- Compiler kostenpflichtig (ca. 400 USD)

Es gibt auch ein Board „mikromedia 3 STM“ vom gleichen Hersteller, welches nur knapp 100 Euro kostet. Das Board hat die gleiche Performance, aber ein kleineres Display und es gibt kein Shield zur Aufnahme der insgesamt 4 Click Boards. Die Einsparung von 100 Euro erfordert also manuelle Lötarbeiten um die Click Boards mit dem Controllerboard zu verbinden. Dies erhöht die Fehlermöglichkeiten massiv und ist für elektrotechnisch ungeschulte Anwender problematisch.



**Bild 3:** Mikromedia Plus for STM32 Modul mit Shield und Click Boards

## 3 Realisierung

Als einfachste Lösung scheint die Umsetzung mit den Mikro-e mikromedia Boards. Aus diesem Grund wurde diese Variante ausgewählt.

Benötigt werden folgende Komponenten:

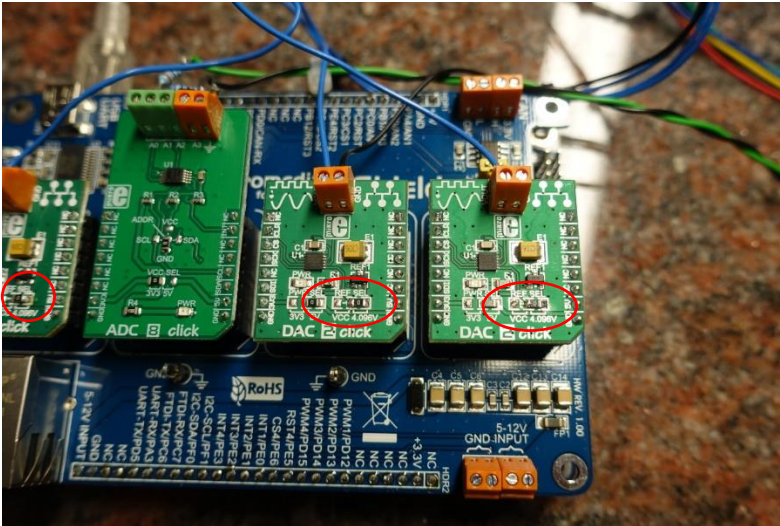
- 1x Mikromedia Plus for STM32 (mikroe-1397), USD 199,00
- 1x Mikromedia Plus for STM32 Shield (mikroe-1417), USD 35,00
- 1x ADC 8 Click (mikroe-3394), USD 21,00
- 3x DAC 2 Click (mikroe-1918), USD 19,00
- Optional: Compiler mikroC Pro for ARM (USD 299,00) mit Visual TFT (USD 99,00)
- Piezo-Treiber mit Erzeugung der Signale für 4 Quadranten aus X,Y und Z  
Diese Baugruppe kann direkt von Dan Berard übernommen werden. Der Aufbau ist auf einem Steckbrett mit bedrahteten Bauteilen möglich.
- STM Mechanik (nicht Gegenstand der Entwicklung)
- Vorverstärker, an STM Mechanik angebracht  
(Leiterplatte kommerziell gefertigt mit Layout von Dan Berard)
- Stabilisiertes, rauscharmes Netzgerät  $\pm 15V$  für Vorverstärker und Piezotreiber  
(alternativ zwei 9V Batterien, Lebensdauer abhängig von den verwendeten Operationsverstärkern)
- Stabilisiertes, rauscharmes und einstellbares Netzgerät  $-0...-3V$  für Biasstrom (optimal: ca.  $-30\text{ mV}$ )

### Aufbau der Mikromedia Komponenten

Die den Mikromedia Modulen beiliegenden Stiftleisten sind (seitenrichtig!) anzuöten, so dass das Shield auf das TFT-Board aufgesteckt werden kann. Bei den DAC Click Boards sollte der Widerstand zur Auswahl der Referenzspannung von VCC auf die interne Referenzspannung von 4.096V umgelötet werden (**Bild 4**).

Die Click Boards sind wie folgt auf dem Shield zu platzieren:

- Modul 1: DAC2 – Piezo X
- Modul 2: ADC8 – vom Ausgang des Vorverstärkers (PIN 3) an Eingang A0 des ADC8
- Modul 3: DAC2 – Piezo Y
- Modul 4: DAC2 – Piezo Z

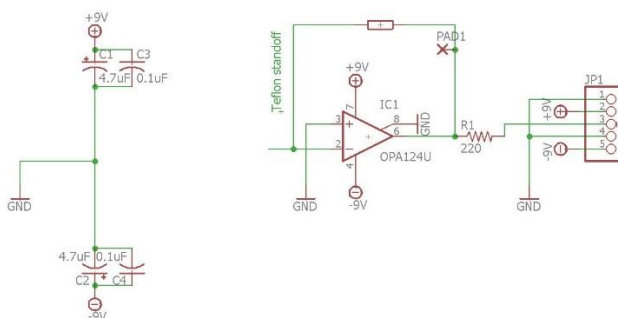


**Bild 4:** Aufgesteckte Click Boards und umgelötete Referenz beim DAC2

### Vorverstärker

Die Verstärkung des Transimpedanzverstärkers ist in der Firmware des Mikromedia Boards auf 10 nA/V festgelegt. Hierzu ist ein Rückkopplungswiderstand von 10 MOhm erforderlich.

Da der Vorverstärker je nach verwendeter Betriebsspannung einen Ausgangsspannungsbereich von etwa  $\pm 9 \dots \pm 15$  V besitzt, muss diese mit einem Spannungsteiler reduziert werden. Dieser ist so zu dimensionieren, dass die maximale Eingangsspannung von 2,048 V des ADC8 bei einem Tunnelstrom vom 160 nA erreicht wird bzw. theoretisch erreicht werden würde. Der Faktor 7,81 ist hierzu fest in der Firmware hinterlegt. Zusätzlich sollte der Eingang mit einer einfachen Diode (z.B. 1N4148) gegen negative Spannungen im Falle einer falschen Polarität der Biasspannung geschützt werden. Die Diode ist hierzu einfach vom Eingang des ADC8 nach Masse zu schalten (Anode an Masse).



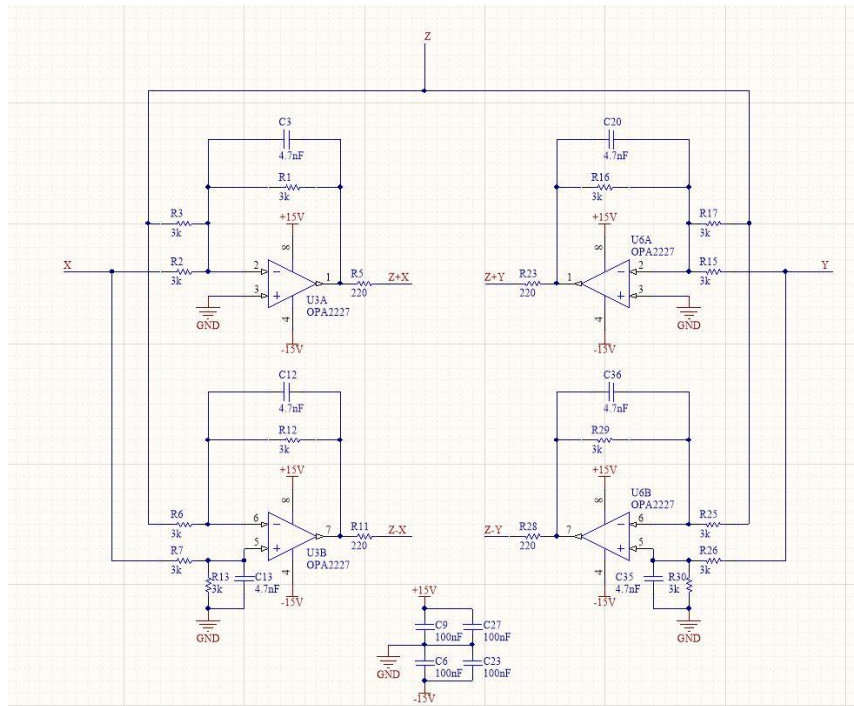
**Bild 5:** Schaltbild Vorverstärker (von Dan Berard übernommen)



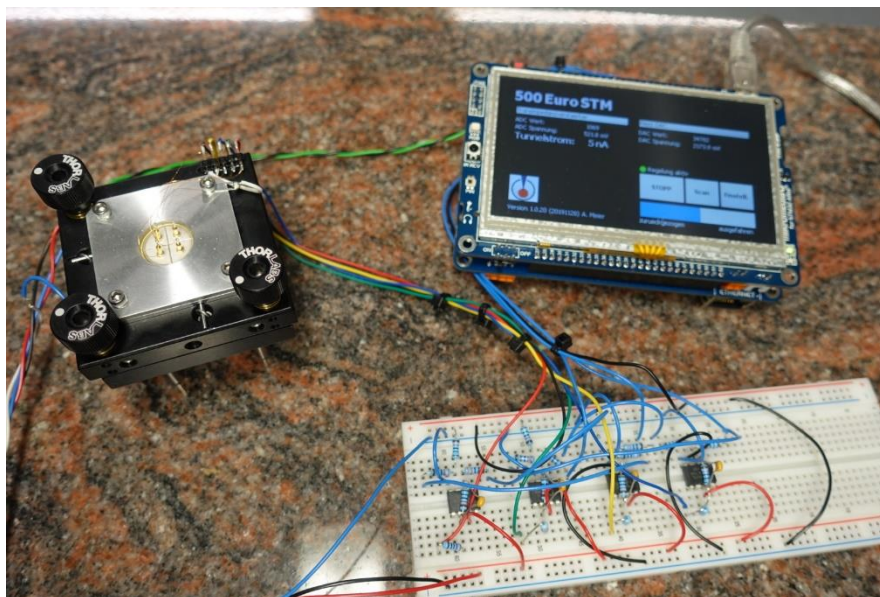
Auf den Teflon-Lötfuß beim Vorverstärker kann verzichtet werden, wenn der Bauteilanschluss PIN 2 des Operationsverstärkers nicht auf die Leiterplatte gelötet wird, sondern „in der Luft“ hängt und dort die Verbindung zur Spitze mittels einer kleinen Lötverbindung hergestellt wird. **Bild 5** zeigt das Schaltbild des Vorverstärkes von Dan Berard. Das zugehörige Leiterplattenlayout kann auf seiner Webseite heruntergeladen werden (<https://dberard.com>).

#### Piezo-Treiber

Die Verbindung zwischen DAC Click Boards und dem Piezo Treiber von Dan Berard wurde mit einfachen Drähten hergestellt. Der Piezo Treiber wurde auf einem einfachen Steckboard aufgebaut. Die Schaltung von Dan Berard ist in **Bild 6** dargestellt, der aufgebaute Treiber zusammen mit den anderen Komponenten in **Bild 7**.



**Bild 6:** Schaltbild Piezo Treiber (von Dan Barard übernommen)



**Bild 7:** aufgebauter Piezo Treiber auf Steckboard, zusammen mit mikromedia Board und STM Hardware

## Firmware

Die Firmware für das STM wurde in C mit dem kostenpflichtigen Compiler mikroC Pro for ARM mit Visual TFT geschrieben. Die Firmware ist sehr gut dokumentiert. Da die Firmware stückweise entwickelt wurde, wäre es nach Projektabschluss möglich (und sinnvoll) den Programmcode zu optimieren.

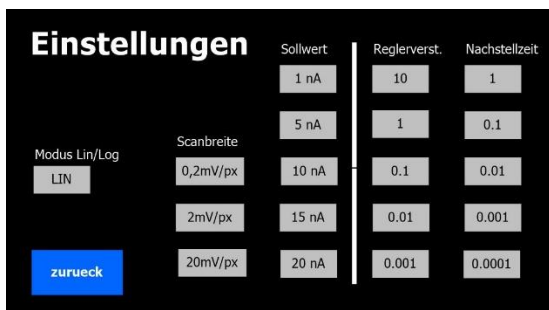


**Bild 8:** Hauptfenster der STM Applikation

Nach dem Einschalten des Boards muss der Touch TFT kalibriert werden. Hierzu sind nacheinander die vier Ecken an den angezeigten Stellen zu berühren. Erst danach erscheint der Hauptbildschirm (**Bild 8**).

Auf der linken Seite wird der ADC-Wert in Bits und als ADC-Spannung angezeigt. Darunter der zugehörige Tunnelstrom. Auf der rechten Seite wird der DAC-Wert und die zugehörige DAC Spannung für die Z-Komponente dargestellt. Eine Balkenanzeige rechts unten zeigt, wie weit die Spitze nach unten gefahren ist. Ist die Spitze komplett ausgefahren oder komplett zurückgezogen, sind die Grenzen der Dynamik erreicht.

Mit dem Button „Einstell“ können die relevanten Parameter eingestellt werden (**Bild 9**). Diese sind: Reglerverstärkung und Nachstellzeit für den PI-Regler, Sollwert des Tunnelstroms und die Scanbreite (Piezoauslenkung je Pixel). Zuletzt lässt sich noch mit dem Button Modus das Fehlersignal des PI-Reglers logarithmieren. Dies ist jedoch nicht notwendig, da im normalen Betrieb die Regelung im Kleinsignalbereich als Linear angenommen werden kann.



**Bild 9:** Einstellungsmodus

Die Parameter des PI-Reglers können nur dekadisch ausgewählt werden, um möglichst schnell und einfach eine stabile Regelung durch Probieren zu erreichen.

Mit dem Button „Finde Probe“ wird die Regelung eingeschaltet, und ein PI-Regler mit einem Sampleintervall von 1 ms versucht den Sollwert des Tunnelstroms zu halten. Der ADC schafft die 1 ms nicht ganz (max. 860 kS/s), so dass ggf. zeitweise bei zwei Samples die gleichen Messwerte abgefragt werden. Die Anzeigelampe „Regelung aktiv“ leuchtet grün wenn der PI-Regler aktiviert ist.

Mit einem Druck auf den Button „SCAN“ wird das SCAN-Fenster (**Bild 10**) geöffnet. Hier lässt sich mit dem Button „USB“ zusätzlich die Übertragung der einzelnen Werte (X-Position, Y-Position, Z-DAC-Wert, Tunnelstrom) über USB übertragen. Der auf dem mikromedia Shield(!) verwendete FT232 stellt hierzu am PC einen virtuellen COM-Port mit 460800 Baud zur Verfügung.



**Bild 10:** Scanbildschirm

Mit einem Druck auf den Button „START“ wird der Scan gestartet. Es wird abwechselnd von links nach rechts und von rechts nach links gescannt. Die Scanbreite beträgt 200 Pixel in X- und Y-Richtung. Wenn der Scan fertig ist, beginnt direkt ein neuer Scan. Mit „STOPP“ kann der Scan jederzeit abgebrochen werden.

Zur Installation der Firmware auf dem Mikromedia Board ist wie folgt vorzugehen:

- Board mit PC verbinden (USB Anschluss direkt auf dem mikromedia Plus Board, NICHT auf Shield)
- mikroC Pro for ARM Demoversion installieren. Unter Tools -> USB HID Bootloader öffnen (**Bild 11**)
- Reset-Taste auf dem mikromedia Plus Board drücken, dann innerhalb von 5 Sekunden „Connect“
- Das Hex-File auswählen und mit „Begin uploading“ die Übertragung starten.



**Bild 11:** MikroBootloader von mikroe

## 4 Hinweise

Webseite Dan Berard: <https://dberard.com/home-built-stm/>

Webseite mikroe: <https://www.mikroe.com>

