

ABC - an Amazing Binary Clock with LCD

Richard Fuchs, Elisabeth Hoppe, Johannes Höhn, Lukas Scheuring
 Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Zusammenfassung—Diese Paper ist im Zuge der DIY Vorlesung an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg entstanden und beschreibt die Herstellung einer Binäruhr mit einem LCD Display. Detailliert beschrieben und mit vielen Erfahrungen erweitert ist vor allem der Beitrag zur Herstellung eines Flüssigkristalldisplays. So haben wir verschiedene Ansätze zur Elektrodenstrukturierung und Oxidierung der leitend beschichteten Glasplatten getestet. Eine Testplatine zur Ansteuerung des Displays wurde ebenfalls erstellt. Im weiteren Verlauf müssen die Elektronik getestet, das Programm geschrieben und ein Gehäuse hergestellt werden.

Die aufgeführten Erkenntnisse vereinfachen die zukünftige Herstellung von LCDs enorm und stellen einen großen Informationsgewinn für die Menschheit dar. Denn diese Displays können äußerst vielseitig für verschiedenste Anwendungen eingesetzt werden.

I. PROJEKTBESCHREIBUNG

A. Motivation

In diesem Projekt soll eine selbstgebaute Dezimal-Binär-Uhr hergestellt werden. Diese soll mit Batterien und ohne Netzanbindung betrieben werden, da solche Uhren noch nicht existieren. Hinzu kommt, dass solch eine Uhr energiesparend und kabellos ist. Die Anzeige soll aus einem selbstgebauten Flüssigkristalldisplay (Liquid Crystal Display, LCD) bestehen. Angesteuert wird der Display über einen Microcontroller. Zwei Buttons werden verbaut, um die Uhr minutengenau einzustellen zu können.

B. Spezifikationen

Die Uhr sollte folgende Eigenschaften aufweisen:

- Anzeige der Uhrzeit in einem Dezimal-Binär-Code (binäre Darstellung der Dezimalstellen)
- Energiearmer Verbrauch mit Batterien
- Ansteuerung durch Microcontroller

C. Produktionsschritte

Bei der Herstellung des Uhr soll wie folgt vorgegangen werden: Zuerst wird das LCD-Display an sich hergestellt. Nach der Fertigstellung der Elektronik wird das Programm geschrieben und das Gehäuse gefertigt.

D. Voraussetzungen

Für die Herstellung der Uhr werden folgende Werkzeuge/Maschinen gebraucht:

- Folienplotter
- Backofen
- Multimeter
- Stromversorgung 5 V AC

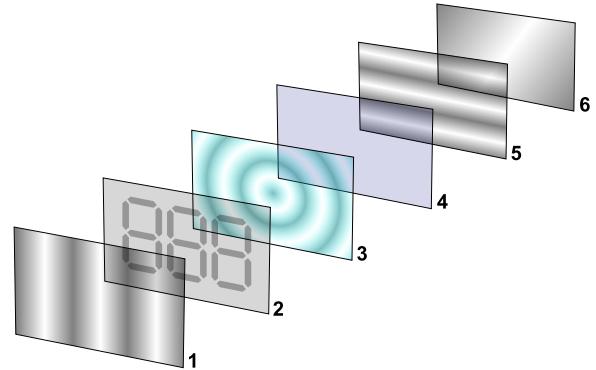


Abbildung 1. Aufbau eines LCDs mit Polarisationsfolien (Markierung 1 und 5), zwei beschichteten, leitenden Glasplatten (Markierung 2 und 4), den Flüssigkristallen (Markierung 3) und einem Reflektor (Markierung 6) nach ref[FIXME REF]

Folgende Materialien wurden verwendet:

- ITO beschichtete Glasplatten
- Aceton
- 5%-ige Salzsäue
- Siedesteinchen
- Zweikomponentenkleber
- Nematicsche Weitbereichsmischung / Flüssigkristall
- Reinigungskonzentrat
- Polarisationsfolie transparent
- 2 Polarisationsfolie (selbstklebend) mit Reflektor
- 1 Bogen Abstandshalter 15 µm

II. LCD

A. Funktionsweise

Das Display besteht aus zwei zusammengeklebten Glasplatten mit einem Abstand von circa 10 Mikrometer. Auf den Glasplatten befinden sich leitende Schichten aus Indium-Zinn-Oxid. Diese Schichten werden später zur Darstellung von Zeichen verwendet. Grundsätzlicher Aufbau eines LCD Displays besteht aus folgenden Teilen (siehe Abbildung 1):

- zwei Glasplatten, die sich gegenüber liegende Innenseiten jeweils mit leitender Schicht bezogen (Markierung 2 und 4)
- zwischen den Glasplatten: Flüssigkristall (Markierung 3)
- außerhalb der Glasplatten: Polarisationsfolien (Markierung 1 und 5)
- Ein Reflektor am Ende (Markierung 6)

Die Glasplatten werden so präpariert, dass die zigarrenförmige Moleküle auf jeweils einer Glasplatte in eine Richtung zeigen, auf der gegenüberliegenden Seite sind sie um 90 Grad gedreht. Flüssigkristall beschreibt somit eine "Schraubenstruktur". Diese verschraubte Struktur veranlasst polarisiertes Licht, ihr zu folgen. Ohne Spannung wird Polarisationsebene um 90 Grad gedreht und das Licht wird durchgelassen. Beim Anlegen von Spannung (ca. 3V Wechselspannung -> siehe Kapitel III): Moleküle richten sich kollektiv senkrecht zu Elektroden aus, also existiert für das Polarisationslicht somit keine Schraubenstruktur mehr. Folglich wird beim Durchgang durch die Zelle der Polarisationszustand nicht beeinflusst, was schließlich dazu führt, dass die Bereiche dunkel erscheinen (Quellen: Bauanleitung und <https://www.cmb-systeme.de/technikwissen/aufbau-und-funktion-einer-lcd-zelle>)

B. Produktionsschritte

Schritt 1: Strukturierung der Elektroden, um Bereich, die leuchten sollen, abzudecken.

Schritt 2: Wegätzen der beschichteten Bereiche, die nicht leuchten sollen (mit 3-5% Salzsäure), sodass die braune Färbung der Glasplatten verschwindet.

Schritt 3: Entfernen der Abdeckschicht (Klebefolie, siehe Abschnitt II-C), dabei werden Klebereste mit Aceton entfernt.

Schritt 4: Oxidieren der Indium-Zinn-Schicht (im Ofen bei 300 Grad), damit die Glasplatten soweit wie möglich transparent erscheinen.

Schritt 5: Reinigung der Glasplatten durch das Kochen dieser in einem im Verhältnis 1:5 verdünnten alkalischen tensidfreien Reinigungsbad 3 bis 5 Minuten, damit die Glasplatten komplett fettfrei werden. Dabei werden auch Siedesteinchen verwendet, um einen Siedeverzug zu vermeiden.

Schritt 6: Orientierung der Glasoberfläche durch sogenanntes Reiborientieren. Dabei wird je eine Oberfläche mit einem Zellstofftuch in eine bestimmte Richtung gerieben, sodass beide Oberflächen jeweils senkrecht zueinander ausgerichtet sind.

Schritt 7: Zwischen den Glasplatten werden Abstandshalter (am Rand) eingelegt, damit diese sich später mit einem Abstand von ca. 10 bis 15 Mikrometer gegenüberliegen. Hier einigt sich Folie von z.B. Zigaretenschachteln, weil diese eine Dicke von ca. 12 Mikrometer aufweist.

Schritt 8: Die Glasplatten werden mit den Abstandshaltern übereinandergelegt. Dabei sollen sich die leitenden Seiten der Glasplatten gegenüberliegen. Danach werden zunächst sich zwei gegenüberliegenden Seiten der Glasplatten mit einem Zweikomponent-Kleber verklebt. Hierbei sollen die Glasplatten im Bereich der Abstandshalter zusammengepresst werden, um den Abstand zu bewahren, ansonsten zeigt die Zelle später eine langsamere elektrooptische Reaktion.

Schritt 9: An einer der noch offenen Seiten wird nun der Flüssigkristall durch Kapillarwirkung eingefüllt. Es werden Tropfen des Flüssigkristalls an die noch offene Kanten gesetzt, und der Flüssigkristall zieht selber in die Zelle ein. Anschließend werden die noch offenen Kanten mit dem Kleber verschlossen. (Quelle: Bauanleitung)

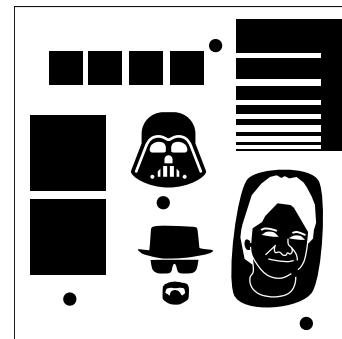
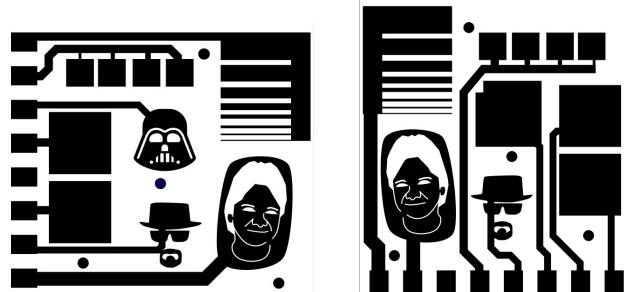


Abbildung 2. Testmuster (Anzeigen und Ausrichtungspunkte)



(a) Testmuster (Anzeigen, Ausrichtungspunkte und Zuleitungen untere Seite)
(b) Testmuster (Anzeigen, Ausrichtungspunkte und Zuleitungen obere Seite)

Abbildung 3. Testmuster obere und untere Seite

C. Elektrodenstrukturaufbringung

Fotolack:

Klebefolie: Muster werden entworfen und mit einem Plotter aus einer selbstklebenden Klebefolie ausgeschnitten. Das Muster wird auf einer Übertragungsfolie aufgebracht und auf die leitende Schicht der Glasplatten aufgeklebt, anschließend wird die Übertragungsfolie abgezogen. Nun sind alle Stellen, die später leuchten sollen, abgedeckt.

Edding/Tesa: Eine weitere Möglichkeit, die später zu leuchtende Stellen abzudecken, ist mit Hilfe von Tesa oder durch das direkte Aufmalen von Strukturen mit einem wasserfesten Edding. Diese Verfahren sind zwar einfacher, allerdings entstehen hierbei keine so scharfen Kanten wie durch eine Folie.

D. Ätzen der Struktur

Salzsäure:

Platinenätzmittel

Das Wegätzen der Indium-Zinn Schicht ist auch durch das Ätzbad möglich, welches im FAUFabLab zum Ätzen von Platinen verwendet wird. Dazu wird eine Natriumpersulfatlösung verwendet und nach ca. 20 Minuten war bei unserem Versuch die leitende Indium-Zinn-Schicht entfernt. Diese Methode stellt also eine gute Alternative zur Salzsäure dar.

E. Oxidierung der Glasplatten

Die Oxidierung der Indium-Zinn Schicht der Glasplatten zu Indium-Zinn-Oxid kann auf mehrere Arten erreicht werden. Im

Folgenden werden die Verfahren vorstellt und deren Einsetzbarkeit abgewogen. Indikatoren für eine gelungene Oxidierung sind:

- Die für die leitende Schicht typische braune Färbung muss merklich verschwinden
- Eine Messung mittels eines Multimeters muss eine Nennenswerte Änderung der Leitfähigkeit ergeben

1) *Wasserstoffperoxid*: Die Testplatte wurden in ein Wasserstoffperoxid-Bad gegeben und nach 1h wieder entnommen. Beide oben genannten Indikatoren haben nicht angesprochen, was darauf schließen lässt, dass der Oxidierungsversuch nicht erfolgreich war. Nun soll ein Langzeittest über mehrere Tage Erkenntnisse geben, ob der Oxidierungsvorgang bei einer längeren Einwirkungsdauer funktioniert. Dies war nicht der Fall.

Somit lässt sich festhalten, dass eine Oxidierung mittels Wasserstoffperoxid bei Raumtemperatur nicht möglich ist.

2) *Wasserstoffperoxid mit Hitze*: Da die Oxidierung bei Raumtemperatur nicht funktioniert hat wurde ein Versuch gestartet, die Indium-Zinn Schicht in erwärmten Wasserstoffperoxid durchzuführen. Keiner der oben genannten Indikatoren wies auf eine Oxidierung hin, weshalb das Verfahren ebenfalls als nicht tauglich eingestuft werden kann.

3) *Hitze im Ofen*: Ein funktionierendes, aber sehr zeitaufwändiges, Verfahren ist die Oxidierung in einem Ofen. Hierbei kann ein gewöhnlicher Pizzaofen eingesetzt werden. Wir haben den Reflow-Ofen aus dem Fablab hierfür benutzt. Bei einer Temperatur werden die Glasplatten mit der beschichteten Seite nach oben auf das Gitter gelegt. Wichtig ist, dass der Ofen maximal leicht vorgeheizt wurde, da zu starke Temperaturunterschiede die Glasplatten zum brechen bringen könnten. Nun wurden die Testplatten für 1:30h im Ofen belassen und anschließend für 30min abkühlen lassen. Beide Indikatoren haben angeschlagen was zeigt, dass die Oxidierung erfolgreich war.

Da dies das einzige funktionierende Verfahren ist, wird es zur Herstellung der Displays eingesetzt.

F. Ausrichtung der Glasplatten

G. Verkleben und befüllen

2-K Kleber, Abstandhalter, Einfüllen des LCD

H. Anzeigefähigkeit

Selbst die kleinste Zuleitung (Dicke 1mm) bei den kleinen Rechtecken versorgt diese sicher mit Spannung und sie können somit angezeigt werden. Die kleinste Struktur beim Strukturtest wird ohne Probleme angezeigt (Dicke 0,4mm). Der Grund dafür sind die scharfen Kanten, die durch den Folienplot erreicht werden können. Die Ausrichtung ist gut möglich, da die Struktur nach der Oxidierung der Glasplatten noch leicht, aber dennoch gut sichtbar ist. Komplexe Strukturen (Walter White, Darth Vader, Jürgen) können ebenso ohne Probleme angezeigt werden. Vermutlich könnten diese noch verkleinert werden und dennoch ohne Probleme angezeigt werden.



Abbildung 4. Produktionsschritte bei LCD-Herstellung

Tabelle I
STROMFLUSS BEI VERSCHIEDENEN SPANNUNGSWERTEN UND ANZEIGEN

DC Spannung	großes Rechteck (22,5 × 22,5 mm)	kleine Rechtecke (10 × 10 mm)	Darth Vader	Walter White
[V]	[μ A]	[μ A]	[μ A]	[μ A]
10	0,47	—	—	—
5	0,27	0,12	150	0,02
4	0,23	0,08	66	0,04
3	0,18	0,07	37	0,03
2	0,13	0,06	9	0,04

III. ELEKTRONIK

A. Ansteuerung

1) *Spannungsart:* Das LCD Display sollte mit einer Rechteck-Wechselspannung angesteuert werden. Gleichspannung würde auf Dauer die Flüssigkristalle unwiederherstellbar zerstören und den Display somit unbrauchbar machen.

2) *Spannungshöhe:* Hierbei gibt es zwei ausschlaggebende Kriterien:

- Welche Spannung ist nötig um ein schönes Bild zu erhalten.
- Bei welcher Spannung zieht das Display wie viel Stromstärke, um einen möglichst geringe Leistung zu erhalten.

Unter einer Rechteck-Wechselspannung von 2 V wird die Anzeige zu schwach, um klar etwas zu erkennen. Mit steigender Spannung nimmt nur die Schnelligkeit zu, mit der das Anzeigefeld angezeigt wird, die Intensität nimmt nicht weiter zu. Ab einer Spannung von 6V besteht die Gefahr, dass auch benachbarte Felder aufleuchten. So wurde bei unserem Testdesign

Darth Vader auf Platte 1 und die

kleinen Rechtecken auf Platte 2 angeschlossen. Die kleinen Rechtecken haben aufgeleuchtet.

Die Stromstärken haben wir mit einem Multimeter gemessen. Im Ruhezustand hat das Messgerät bereits einen Strom von $-2 \mu\text{A}$ angezeigt. Wir bewegen uns im Microamperebereich weshalb die folgenden Messwerte nur als Richtwerte zu verstehen sind. Sie spiegeln aber sehr gut wieder, dass ein LCD sehr energiesparend ist.

Tabelle I zeigt die Messungen der Stromstärken in Microampere der einzelnen Testanzeigedesigns bei einer angelegten Gleichspannung. Dies ist für einen Dauerbetrieb nicht zu empfehlen (siehe Abschnitt III-A2), wurde aber zur Vereinfachung der Messung so gewählt. Weshalb die Anzeige von "Darth Vader" so hohe Stromstärken aufweist ist uns (noch) unklar.

3) *Frequenz:* Zur Feststellung mit welcher Frequenz das LCD angesteuert werden sollte, haben wir eine Rechteckspannung mit verschiedenen Frequenzen an verschiedene Elektroden angelegt. Unter einer Frequenz von 30Hz fängt die Anzeige an zu flackern, da das menschliche Auge dort das Umschalten feststellen kann. Über einer Frequenz von 1 MHz lässt die Intensität merklich nach. Um den Mikrocontroller möglichst stromsparend benutzen zu können, sollte aber eine möglichst geringe Frequenz verwendet werden.

4) *Ansteuerungsart:* Bisher wurden die Glasplatten nur einzeln angesteuert. Dadurch wären bei einem 2×4 Aufbau 8 Anschlüsse an jeder Glasplatte nötig. Will man mehrere Symbole, z.B. 4×4 anschließen, wären pro Glasplatte 16 Anschlüsse von Nötzen. Um den Aufwand zu verringern, stehen 2 Möglichkeiten zur Verfügung: Zum einen kann auf die Glasplatte 1 die Elektrodenstruktur aufgebracht werden und jede Elektrode einzeln verbunden werden. Auf Glasplatte 2 muss dann nur eine gemeinsame Fläche für alle Anzeigesymbole angebracht werden, da nur die Symbole an der Stelle aufleuchten, an der sie auch auf Glasplatte 1 angesteuert werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Ansteuerung per Multiplexverfahren. Hierbei müssen z.B. bei einer 4×4 Platte nur 4 Anschlüsse pro Platte angebracht werden. Das verschafft mehr Platz für die Anschlüsse an der Glasplatte und die Fehlerwahrscheinlichkeit von unguter Kontaktierung wird verringert. Außerdem kann dadurch ein kleinerer Mikrocontroller eingesetzt werden, da weniger Ausgangspins benötigt werden. Dadurch steigen jedoch die Anforderungen an die Software. Wie die Platten dann an den Mikrokontroller angeschlossen werden steht im Abschnitt IV-A.

Aufgrund der oben genannten Vorteile des Multiplexverfahrens haben wir dieses für die Ausarbeitung unseres Displays genutzt. Seine Vorteile spielt es vor allem bei einer Symbolbelegung von 4×4 Symbolen auf einer Glasplatte aus.

Zusammenfassend sind also folgende Ansteuerparameter optimal für die Ansteuerung dieses LCD:

- Rechteckspannung von -3 V bis 3 V
- Frequenz 50 Hz
- Multiplexverfahren

B. Spannungsversorgung

Als Spannungsversorgung könnten somit 2 Standard Batterien mit je $1,5 \text{ V}$ verwendet werden. Diese sinken durch Entladung auf eine Mindestspannung von $0,9 \text{ V}$ ab. Dadurch wird die Anzeige nicht bis zur vollen Entladung der Batterien halten. Je nach Wahl des Mikrocontroller kommt dieser auch nicht mit $1,8 \text{ V}$ Spannung aus. Deshalb haben wir uns entschieden drei Batterien mit je $1,5 \text{ V}$ einzusetzen.

C. Anbindung

Um das LCD Display mit der Ansteuerplatine zu verbinden gibt es mehrere Möglichkeiten. Da nur ein sehr geringer Strom (μA) fließt und eine Spannung von 3 V angelegt wird ist nur eine dünne Drahtzuleitung ($0,5 \text{ mm}^2$) von Nötzen. Im folgenden werden verschiedene Verfahren erklärt, die wir uns überlegt und zum Teil auch ausprobiert haben.

1) *Klemmen:* Im ersten Test wurde das Display über Klemmen angesteuert. Dies hat einwandfrei funktioniert, jedoch beschädigen die Klemmen die Glasplatten und stellen somit keine gute Endlösung dar.

2) Conductive Paint: Conductive Paint ist eine schwarze leitfähige Farbe die von der Firma bareconductive hergestellt wird. Die Flüssigkeit kommt aus der Tube und braucht circa 15 Minuten zum Trocknen. Jedoch ist die Festigkeit zu schwach und kann die Drähte nicht fest an den Glasplatten fixieren. Deshalb muss noch eine zusätzliche Schicht Kleber (2-Komponentenkleber, Sekundenkleber) darüber angebracht werden, um die Festigkeit zu steigern.

3) Kupferfolie: Kupferfolie wäre eine weitere Idee, die wir allerdings noch nicht ausprobiert haben.

D. Platine

1) Anforderungen: Die Platine dient zur Ansteuerung des LCD und soll es ermöglichen, die Uhr zu stellen und die richtige Uhrzeit anzuzeigen. Es soll die Möglichkeit geben das Display nicht nur im BCD Format zu betreiben, sondern auch in anderen Formaten, wie z.B. rein binär.

2) Wahl des Mikrocontrollers: Der Mikrocontroller muss mind. 2 Eingänge für 2 Taster zur Uhrzeitstellung zur Verfügung stellen. Des Weiteren werden 4 weitere Pins für den Anschluss der ISP Schnittstelle zum Programmieren des Mikrocontrollers benötigt. Je nach Anzahl der anzuseigenden Symbole und ob das Multiplexverfahren verwendet wird oder nicht, sind noch zusätzliche Ausgänge nötig. Wenn man den Mikrocontroller der Atmel-Reihe verwendet, ist des Weiteren auf die Endbezeichnung

P zu achten, da der Mikrocontroller dann stromsparender ist. Außerdem muss der Versorgungsspannungsbereich in dem von der Batterie zur Verfügung gestelltem Bereich liegen.

3) Wahl der anderen Bauteile: Um die Uhrzeit so exakt wie möglich zu erhalten, wurde eine spezieller 32,7 kHz Quartz verwendet, der auf Uhrenanwendungen spezialisiert ist. Bis auf den Mikrokontroller und dem Quartz wurden nur SMD Bauteile verwendet, um die Platine zu einem späteren Zeitpunkt komplett auf SMD Bauteile umstellen zu können. Zum Entprellen der Taster wurde jeweils ein 100 nF Kondensator parallel geschlossen. Der Eingang der Spannungsversorgung (VCC, AVCC) wurde ebenfalls mit je einem 100 nF Kondensator versehen, um eine stabile Eingangsspannung zu gewährleisten. Der Pin Aref wurde über einen Kondensator mit 100 nF auf Masse gezogen. Dieser Kontakt kann dazu genutzt werden, um den Batteriestand festzustellen. Für die SMD Bauteile wurde eine Größe von 0805 gewählt.

4) Herstellung der Platine: Sicherheitshinweis: Vorsicht beim Umgang mit den Chemikalien und immer eine Schutzbrille tragen. Das Ätzbad kann Löcher in der Kleidung verursachen, weshalb es ratsam ist alte Kleidung zu tragen.

Das Platinenlayout wurde mit der kostenlosen Version von Eagle erstellt. Die Platine wurde komplett im FAUFabLab geätzt und bestückt. Die Leiterbahndicke beträgt 16 mil, der Abstand der Massefläche zu den Leiterbahnen beträgt ebenfalls 16 mil. Die Bohrlochdurchmesser der Vias und Löcher zum aufstecken der Bauteile beträgt 0,9 mm. Das Boardlayout wurde auf Papier im FAUFabLab ausgedruckt und auf die kupferbeschichtete Seite der Platine gelegt. Anschließend werden sie zusammen für 09:40 min in den Belichter gelegt. Wichtig ist, dass man die Platinen vor dem Belichten an

den Rändern entgratet, um ein gutes Belichtungsergebnis zu erreichen. Zudem darf man nicht vergessen die Schutzfolie auf der Kupferseite die mit dem Fotolack beschichtet ist abzunehmen. Anschließend kommt die Platine in den Entwickler (NaOH) bis sich der Fotolack an den Stellen, an denen er mit UV-Licht belichtet wurde, ablöst. Nachdem die Platine gut mit Wasser abgespült ist, wird sie in das Ätzbad (Natriumpersulfatlösung) gelegt. Wenn sich die Kupferschicht zwischen den Leiterbahnen komplett abgelöst hat sollte die Platine entnommen werden. Beläßt man sie zu lange im Ätzbad besteht die Gefahr, dass zusätzlich Leiterbahnen angeätzt werden. Anschließend die Platine gut mit Wasser abwaschen und für 1:30min in den Belichter legen. Dannach noch ein letztes mal entwickeln und gut abwaschen. Anschließend die Platine ins Verzinnungsbade (Bungard SurTin chemische Verzinnungslösung) geben, um die Kupferschicht vor Korrosion zu schützen. Nun können die Löcher bebohrt und die Platine bestückt werden. Wenn das Ätz- oder Verzinnungsbade zu alt ist kann dies zu schlechten Ergebnissen führen. Weitere Informationen zur Herstellung von Platinen und bis zu welcher Leiterbahndicke die Herstellung möglich ist gibt es auf der Homepage des FAUFabLab.

IV. PROGRAMMIERUNG

Das Programm für den Mikrocontroller muss noch geschrieben werden. Eine Herausforderung wird hierbei die Ansteuerung per Multiplexverfahren. Dies ist nicht so einfach möglich wie beim Betrieb von LEDs, da es zwischen den Spannungsrichtungen, die am LCD anliegen, keinen Unterschied gibt. Die nicht verwendeten Ausgänge müssen hierbei als Eingänge ohne Pullup oder Pulldown Widerstand geschaltet werden (floating/not connected).

A. Platine

V. GEHÄUSE

Das Gehäuse soll mit Hilfe des Lasercutters aus Acryl gefertigt werden.

VI. AUSBLICK UND ERWEITERUNGEN

Dieses Kapitel soll einen Ausblick geben, wie die Uhr verbessert und erweitert werden kann. Außerdem sind Ideen aufgeführt, in welchen Bereichen selbstgebaute LCDs noch hilfreich sein können.

A. Verbesserungsmöglichkeiten

Um rechtzeitig die Batterien wechseln zu können, wäre eine Anzeige denkbar, die als Bild eine leere Batterie anzeigt. Mithilfe der Spannung der Batterie kann die Batterieladung bestimmt werden und ist ein Indikator, wann die Batterien gewechselt werden müssen.

Des Weiteren ist denkbar, die Uhr um ein Funkuhrrmodul zu erweitern, sodass die Uhrzeit nicht manuell eingestellt werden muss. Zusätzlich ist eine Weckfunktion denkbar.

Motiviert durch ein Standardwecker mit LCD, kann ein DC-DC Spannungswandler eingesetzt werden, um die Uhr mit lediglich einer Batterie betreiben zu können. Somit besteht die Möglichkeit, die Größe der Uhr zu verkleinern.

B. Weitere Anwendungen

Eine Möglichkeit wäre es, eine Anzeige für eine selbstgebaute Wetterstation zu designen.

Eine weitere Idee ist es, ein Spiel zu entwerfen und ein angepasstes Display dazu zu erstellen.

Für ein Eieruhr, um rechtzeitig die Glasplatten, die im Ofen oxidiert werden herauszuholen, kann ein LCD Display verwendet werden.

VII. DANKSAGUNG

Ein großes umfangreiches Projekt wie dieses ist natürlich nicht alleine realisierbar. Wir hatten viele freundliche Mithelfer, die uns jederzeit mit Tat und Rat zur Seite standen.

An erster Stelle danken wir unserem 5. Teammitglied Markus Walther. Er hat uns vor allem mit seinem chemischen Wissen unterstützt und hat viele Stunden in unserem Projekt mitgearbeitet. Außerdem stand er immer bereit, um Fragen zu klären.

Zu guter Letzt danken wir dem ganzen FAUFabLab Team für die Unterstützung bei der Durchführung unserer Arbeiten. Zudem standen sie uns jederzeit mit konstruktiven Antworten auf unsere Fragen zur Verfügung.

LITERATUR

- [1] ed g2s *LCD layers.svg* https://en.wikipedia.org/wiki/File:LCD_layers.svg (am 1. Februar abgerufen) CC-BY-SA
- [2] D. Holke *Aufbau und Funktion einer LCD Zelle* <https://www.cmb-systeme.de/technikwissen/aufbau-und-funktion-einer-lcd-zelle>
- [3] F. Oestreicher *Selbstbau einer funktionsfähigen Flüssigkristallanzeige* <http://fluessigkristalle.com/selbstbau.htm>