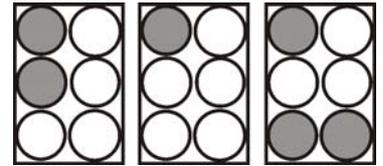
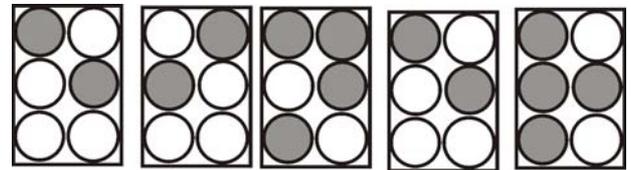


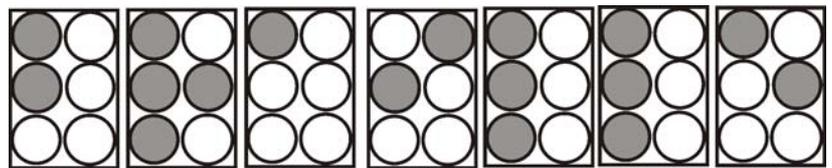
Bau



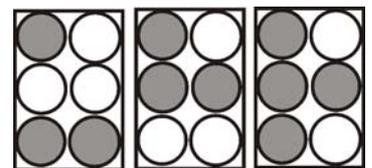
einer



Braille-



Uhr



Wettbewerb „Jugend Forscht“ 2011

Rebecca Lühmann (18 Jahre)

Arbeitsgemeinschaft "Jugend Forscht"

des Christian-Gymnasiums Hermannsburg

Leitung: StD Thomas Biedermann

## Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung	3
2	Brailleschrift	3
2.1	Aufbau der Brailleschrift	3
2.2	Technische Ausführung	4
3	Technische Umsetzung	4
3.1	Programmierung der Uhr	5
3.2	Schaltplan des Microcontrollers	6
3.3	Optische und elektromagnetische Anzeige	6
4	Mechanische Erprobung	7
5	Ergebnis	9
5.1	Fazit	9
5.2	Mögliche Alternativen	9
6	Danksagung	10
7	Quellen	11

## 1 Einleitung

Wenn man heute im Internet nach Uhren sucht, findet man allerhand verschiedene Ausführungen. Mein Favorit ist die Binäruhr. Keine Zeiger oder Zahlen. Nur ein paar LEDs, die in zwei Reihen angeordnet entweder leuchten oder eben nicht. Wenn man so darüber nachdenkt, merkt man, wie viele unterschiedliche Anzeigemöglichkeiten es für die Uhrzeit gibt. Aber wie zeigt man jemandem die Zeit an, der nicht sehen kann? Für Blinde gibt es analoge Uhren, deren Zeigerposition sie mit den Fingern erfühlen, sprechende Uhren, die die Uhrzeit vorsagen oder solche mit Braille-Anzeige, die die entsprechenden Ziffern als ein erfühlabares Punktraster anzeigen.

Letztere Methode hat mich am meisten fasziniert und genauso sehr verwundert, als ich den Kostenpunkt für diese sah: ihr Preis liegt im vierstelligen Bereich! Dies war für mich der Anreiz, selber eine Braille-Uhr zu konstruieren, die möglichst deutlich unter diesem Preis liegen sollte.

## 2 Brailleschrift

### 2.1 Aufbau der Brailleschrift

Erfunden wurde die Brailleschrift vor 175 Jahren (1825) von Louis Braille in Frankreich. Dieser verwendete als Maske für einen Buchstaben ein Rasterfeld mit zwei mal drei untereinander angeordneten punktförmige Erhöhungen. Durch diese ergeben sich 64 mögliche Varianten für diese Maske, was eine Einteilung aller Buchstaben und notwendiger Satzzeichen oder solche, die angeben, dass als nächstes eine Zahl folgt, ermöglicht. Letzteres ist erforderlich, weil es für Ziffern keine gesonderten Braillezeichen gibt, sondern für ihre Darstellung die Buchstaben von A bis J verwendet werden.

Diese Erfindung erleichterte Blinden das Leben sehr, was an der häufigen Verwendung der Brailleschrift in unserer unmittelbaren Umgebung zu erkennen ist. Typisch ist sie in eingestanzter Form auf Medikamentenpackungen oder auf Infotafeln

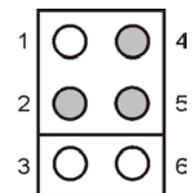


Abb. 1: Braille-Raster für die Ziffer 0



Abb. 2: Gebäudeplan mit Braillebeschriftung

in der Stadt. Besucht man den Bundestag, findet man ein Modell von diesem, bei dem jedes Gebäude als solches erfühlt und die Beschriftung in Brailleschrift gelesen werden kann. Der Vorteil für mich in der Darstellung der Zahlen liegt darin, dass die verwendeten Buchstaben lediglich aus den oberen vier Punkten des Rasters bestehen (vgl. Abb. 1). Man zählt die Punkte von oben nach unten und von links nach rechts, sodass ich für die Planung meiner Uhr nur die Punkte 1,2,4 und 5 berücksichtigen musste (3 und 6 werden nicht benötigt).

## **2.2 Technische Ausführung**

Bei statischen Beschriftungen wie auf Medikamentenpackungen oder einem Gebäudeplan wie in Abb. 2 ist die Beschriftung sehr einfach durch Prägung oder durch Anbringen von erhabenen Punkten möglich. Völlig anders gestaltet sich aber die Problematik, wenn Beschriftungen dynamisch erfolgen sollen, wie es z.B. bei Computer-Displays für Blinde der Fall ist. In diesen Fällen muss ein mechanischer Antrieb der einzelnen Punkte des Rasters vorhanden sein, der den Punkt „setzt“ oder „verbirgt“. Da der notwendige Höhenunterschied im Millimeterbereich liegt, kommen fast nur elektromechanische Antriebe in Frage. Hierbei wird ein Stift durch einen kleinen Elektromagneten angehoben oder abgesenkt. Da die Rasterfeldgröße typischer Weise 4 x 6 mm beträgt, müssen diese Antriebe sehr klein sein. Ihre große benötigte Zahl (z.B. 120 für ein Display, das 20 Zeichen anzeigen kann) ist im Wesentlichen verantwortlich für ihren hohen Preis.

## **3 Technische Umsetzung**

Um eine Blindenuhr unter Verwendung der Brailleschrift zu bauen, musste ich also eine Möglichkeit finden, einen geeigneten elektromechanischen Antrieb zu bauen. Ich entschied mich für einen kleinen Elektromagneten, der einen Stift in die erforderliche Position bewegt. Die Anzeige soll die Ziffern der Minuten und Stunden beinhalten, folglich benötige ich 4 Rasterfelder mit jeweils 4 Stiften. Für die Codierung der 4 Ziffern in die Anzeige-Matrix verwende ich einen Microcontroller.

Nachdem grob eruiert war, dass die naheliegendste Darstellungsform diejenige war, bei welcher jeder Stift durch eine Spule in den für die Anzeige relevanten Bereich bewegt wird, musste zunächst einmal eine Ansteuerung programmiert werden, die die im Binärkode angegebene Uhrzeit in Braillezeichen übersetzt.

### 3.1 Programmierung der Uhr

Für das Programm, mit welchem die Uhr läuft, wird ein Microcontroller der Fa. Microchip vom Typ PIC 18F452 verwendet. Hierbei ist es notwendig, die Rechengeschwindigkeit zu kennen, mit der der PIC das Programm durchläuft, weil diese als Fixpunkt für die vergangene Zeit steht. Die Programmschleife (Abb. 3) wird 20 mal in der Sekunde wiederholt, also muss nur bei jedem zwanzigsten Durchlauf der Wert für die Sekunde um einen Zähler erhöht werden. Wenn der Sekundenzähler bei 60 angekommen ist, wird der Minutenzähler um eins erhöht und der Sekundenzähler auf Null gesetzt, entsprechendes gilt für die Stunden. (Die Schleifenzeit wird vor allem durch den Befehl `Sleep(49)` bestimmt, wobei der Parameter die Wartezeit in Millisekunden angibt. Dass hier ein Wert von 49 statt 50 eingetragen ist liegt daran, dass auch die Abarbeitung der einzelnen Befehle eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt.)

```
while(1){
  Sleep(49);           // 1/20 Sekunde warten
  Sekunden20++;
  if(Sekunden20==20){
    Sekunden20=0;
    Sekunden++;
    if(PORTCbits.RC4==0) Minuten++; // Minuten hochzählen
    if(PORTCbits.RC5==0) Stunden++; // Stunden hochzählen
  }
  if(Sekunden==60){
    Sekunden=0;
    Minuten++;
  }
  if(Minuten==60){
    Minuten=0;
    Sleep(500);       // Gangkorrektur
    Stunden++;
  }
  if(Stunden==24){
    Stunden=0;
  }

  SetBraille();       // Ziffern codieren

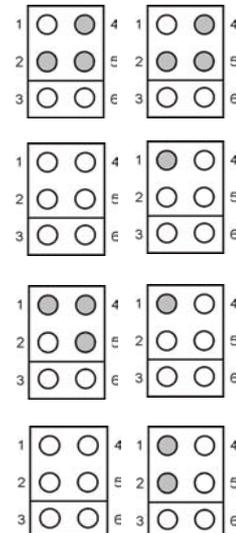
  // Sekundentakt anzeigen
  LATAbits.LATA0 = (Sekunden & 0b00000001);
  // Braille-Ports setzen
  LATB = BrailleMin && 0b00111111;
  LATC = BrailleMin && 0b11000000;
  LATD = BrailleStu && 0b11111111;
}
}
```

Abb. 3: Ausschnitt der Programmierung der Uhr durch den PIC mit MPLAB

```
if(Minuten==0){
  BrailleMin=238;   238dez = 11101110bin
}
if(Minuten==1){
  BrailleMin=1;    1dez = 00000001bin
}

if(Minuten==41){
  BrailleMin=209;  209dez = 11010001bin
}

if(Stunden==2){
  BrailleStu=3;   3dez = 00000011bin
}
```



Die Anzeige des Sekundentaktes ist nur für die Überwachung des PIC gedacht und für die eigentliche Funktion als Blindenuhr nicht weiter relevant. Die Funktion `SetBraille()` setzt die einzelnen Bits für die Ansteuerung der 16 Magnetspulen entsprechend der Wertigkeit der einzelnen Ziffern, das Ergebnis wird in `BrailleMin` und `BrailleStu` gespeichert. Dem Ausgabeport `LATD` des PIC wird nun die Ansteuerung der 8 Stunden-Spulen, den beiden

Ports LATB und LATC die der Minuten-Spulen zugewiesen. Letztere mussten aufgeteilt werden, weil keiner der beiden Ports allein über die erforderlichen 8 Bit verfügt.

### 3.2 Schaltplan des Microcontrollers

Abb. 4 zeigt den Schaltplan des Microcontrollers. In der Mitte findet man den Controller mit seinen 40 Anschlusspins. LED1 ist für die optische Anzeige des Sekundetaktes zuständig und wird über den Port RA0 angesteuert. Q1 ist ein Schwingquarz, der die Taktfrequenz des PIC vorgibt und von dem der Sekundetakt abgeleitet wird. Über den Steckverbinder SV1 kann der PIC ohne ihn auszubauen programmiert werden. BME<sub>n</sub>, BMZ<sub>n</sub>, BSE<sub>n</sub> und BSZ<sub>n</sub> bezeichnen die Portausgänge für die Ansteuerung der Minuten- bzw. Stundenanzeigen.

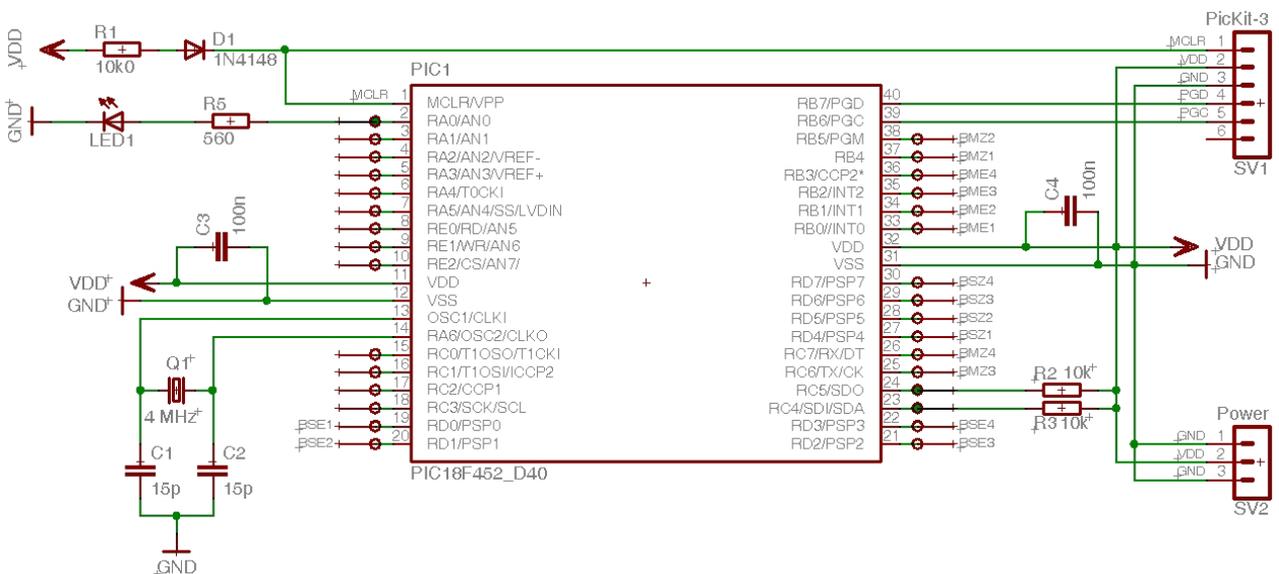


Abb. 4: Schaltplan des Controller-Boards

### 3.3 Optische und elektromagnetische Anzeige

Da die Portleitungen des PIC lediglich einen Strom von 20 mA liefern können, die Magnetspulen aber derzeit noch ca. 1 A benötigen, wird für jede Leitung ein Anzeigetreiber benötigt (s. Abb. 5). Das Signal vom PortX wird optisch über eine LED angezeigt und steuert außerdem den Transistor Q2, der den für die Spule erforderlichen Strom liefern kann. Der Schalter S1 dient dazu, dass nur für die Dauer der Anzeige der Spulenstrom eingeschaltet wird. Dieser Anzeigetreiber wird insgesamt 16 mal benötigt. Der optische Teil der Anzeige ist in Abb. 7 deutlich zu erkennen.

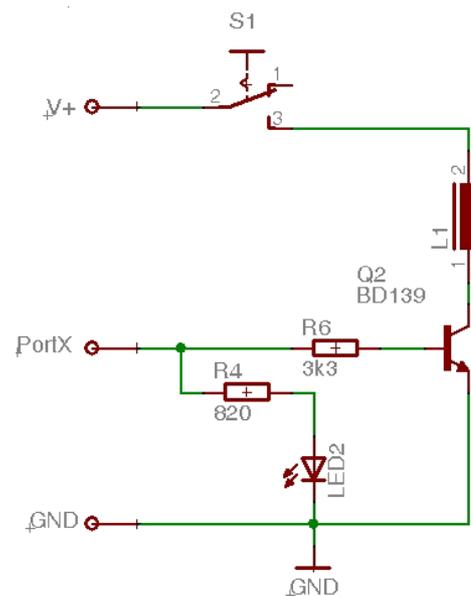


Abb. 5: Anzeigetreiber

Zur Überprüfung des Programms und für eine ergänzende optische Kontrolle habe ich zusätzlich zu den Spulen grüne und rote LEDs zur Anzeige der Uhrzeit in Braille-Codierung verwendet. Außerdem wurde zur Kontrolle, ob die Uhr des Prozessors richtig läuft, eine rote LED (unten links in Abb. 6) angebracht, die im Sekundentakt blinkt, um die notwendige Länge der Warteprozedur (Sleep(500) bei der Minutenzuweisung, vgl. Abb. 3) für das Programm bestimmen zu können.

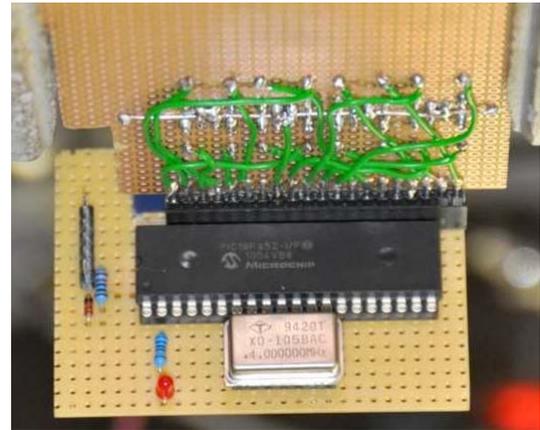


Abb. 6: PIC-Platine

Damit besteht die technische Ansteuerung aus der Platine mit dem PIC, auf dem eine Uhr die Minuten und Stunden hoch zählt und der die Uhrzeit in den Braille-Code überträgt, sowie der Anzeigeplatine, auf der jeweils die acht Punkte für Minuten und Stunden dargestellt werden. (Auf dem Foto fehlt noch die Transistorschaltung für die Ansteuerung der Spulen.)

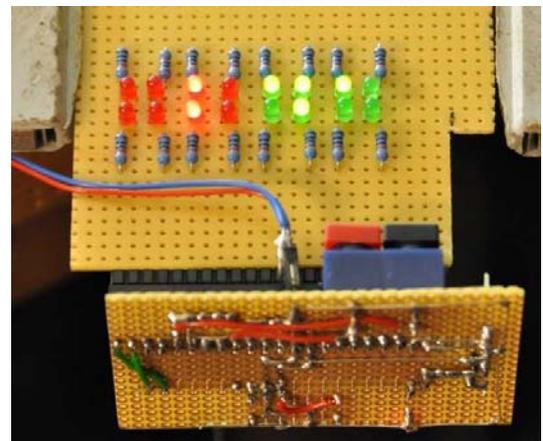


Abb. 7: Anzeigeplatine

#### 4 Mechanische Erprobung

Als größeres Problem stellte sich jedoch die Anzeige der Uhrzeit im Braille-Code dar. Hierfür waren als Antrieb 16 Spulen angedacht, die jeweils einen senkrecht stehenden Stift, an dem ein Stabmagnet angebracht wurde, in aktiviertem Zustand in den Fühlbereich bewegen. Nun mussten die notwendigen Eigenschaften der Spule mit dem gegebenen Möglichkeiten, die man bei einer Armbanduhr hat, ermittelt werden. Damit die Spule ohne zusätzliche Elektronik direkt durch einen PIC-Port angesteuert werden kann, darf der Strom bei einer Spannung von 5 V nicht größer als 20 mA sein. Deshalb muss der Drahtdurchmesser möglichst klein sein, damit bei dem daraus resultierenden Widerstand von 250 Ohm ein hinreichend starkes Magnetfeld entsteht. Bei gegebenem Drahtdurchmesser (der dünnste mir zur Verfügung stehende Draht hat einen Durchmesser von 0,05 mm) kann man die Länge des Drahtes bestimmen, woraus sich ein Volumen des Drahtes ergibt, welches so auf einen Spulenkörper gewickelt werden muss, dass acht Spulen nebeneinander möglichst passend zum verfügbaren Platz am Handgelenk angeordnet werden können.

Daraus ergibt sich folgende Rechnung:

Für die Drahtlänge  $\ell$  gilt bei gegebener Querschnittsfläche  $A$ , ohmschem Widerstand  $R$  und spezifischem Widerstand  $\rho$

$$\ell = \frac{R \cdot A}{\rho}$$

Für das Volumen  $V$  des Spulenkörpers gilt also

$$V = A \cdot \ell$$

Da es sich bei der Spule um einen Hohlzylinder mit dem Innendurchmesser  $d_i$  und dem Außendurchmesser  $d_a$  handelt, gilt folglich

$$V = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot h \cdot (d_a^2 - d_i^2)$$

wobei  $h$  die Länge (Höhe) der Spule ist. Umgestellt nach  $h$  ergibt sich bei gegebenen Durchmessern, die durch die Größe des Antriebs begrenzt sind:

$$h = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot (d_a^2 - d_i^2)}$$

Für den spezifischen Widerstand von Kupfer findet man den Wert

$$\rho = 0,0172 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$$

Bei einem Innendurchmesser von 3 mm und einem Außendurchmesser von 3,75 mm erhält man so eine Spulenlänge von 14 mm, bei der knapp 29 m Draht aufgewickelt werden müssen.

Tests mit einer solchen Spule haben leider gezeigt, dass die magnetische Wirkung zu klein ist, um die von mir benötigten Antriebskräfte zu erzeugen. Für die Darstellung des Wirkungsprinzips habe ich deshalb Spulen mit einem dickeren Draht (0,15 mm) verwendet, was leider den Nachteil hat, dass damit bei gleichem Spulenvolumen der ohmsche Widerstand mit  $4,5 \Omega$  so klein wurde, dass für den deutlich höheren Spulenstrom nun ein Schalttransistor verwendet werden muss. Diese Spulen entfalten jedoch genügend Kraft zum Betrieb meiner Anzeige.



Abb. 8: Vergleich der Spulen (oben: 0,15 mm, unten: 0,05 mm Drahtdurchmesser)

Um die Funktionalität meines Antriebs zu prüfen, habe ich zunächst einen Anzeigepunkt auf einer Platine aufgebaut, womit ich experimentell den optimalen mechanischen Aufbau bestimmen konnte. Insbesondere die Reibung musste ausreichend gering sein, um den Stab in den Anzeigebereich zu bewegen. Außerdem musste geprüft werden, welcher Strom hierfür erforderlich ist, da als Energieversorgung vier 1,5 V Batterien vorgesehen sind und der PIC ohne zusätzliche Maßnahmen nur eine Stromstärke von 20 mA liefern kann. Zur Führung wurde unter dem Messingstab, an dem der Braillepunkt angebracht ist, eine Schiene angebracht, welche ein Absinken verhindert. Zusätzlich wird zur Verstärkung des magnetischen Effekts ein Neodymmagnet an den Stabmagneten angebracht.



Abb. 9: Probeaufbau mit Spule und Braillepunkt

Im Modell befand sich die Feder, welche den Messingstab wieder zurück zieht, seitlich neben der Spule. Da die Spulen bei der Uhr dicht nebeneinander liegen werden, muss die Feder dann hinter dem Magneten fest an einem Ende der Spule befestigt werden.

## 5 Ergebnis

### 5.1 Fazit

Prinzipiell ist es durchaus möglich, ein elektromechanisches Display für eine Blindenuhr selbst zu bauen. Die dafür benötigte Ansteuer Elektronik lässt sich beim Stand der heutigen Technik noch ganz erheblich miniaturisieren, doch sind der Größe des elektromechanischen Antriebs deutliche Grenzen gesetzt, damit die benötigten Kräfte erzeugt werden. Das größte Problem bei der Umsetzung liegt in der Herstellung, Bearbeitung und Handhabung der sehr kleinen Objekte, zumal ich fast alle Komponenten selber herstellen musste. Auf jeden Fall habe ich einiges nicht nur über Programmierung und Elektronik, sondern auch über den Umgang mit Werkzeugen, Materialien und Maschinen gelernt.

### 5.2 Mögliche Alternativen

Natürlich gibt es noch weitere Möglichkeiten, ein Brailledisplay zu konstruieren, doch letztendlich wären diese zu kompliziert in der Umsetzung. Unter Anderem hatte ich die Idee, drei Ketten aus vorgefertigten Plättchen mit den Zahlen von 0 bis 9 in Brailleschrift

und eine von 0 bis 2 nebeneinander zu legen, welche dann immer eine Position weiter geschoben werden sollten. Man hätte so auf dem Arm auch einen Anzeigebereich aus vier Stellen, die Stunden und Minuten darstellen, mit dem Unterschied, dass sich nicht das Display an sich verändert, sondern lediglich wie bei einem Zahlenschloss die Zahlen weitergeschoben werden. Die Schwierigkeit war hier jedoch, einen Antrieb zu finden, der sich in diese Plättchenkette einhakt, diese um eine Zahl weiterschiebt, sich aushakt und in die Ausgangsposition zurück geht.

Ein weiterer Gedanke, den ich ebenfalls nicht weiter verfolgt habe, sah zwei Platten vor, die das gesamte Display bildeten. In der oberen wären 16 Bohrungen, in denen sich jeweils ein Stift und eine Arretierung für diesen befinden sollte. Beim Hinunterdrücken würden die arretierten Stifte mit nach unten gedrückt und die freien blieben oben, sodass diese zu fühlen wären. Auf diese Weise hätte man bloß die Ansteuerung der Arretierungen gestalten müssen und die Aktivierung der Anzeige würde durch das manuelle Hinunterdrücken der Platte geschehen. Die praktische Umsetzung einer solchen Mechanik ist wegen ihrer noch geringeren Größe als bei meiner bisherigen Lösung jedoch sehr schwer.

Möglich wäre auch eine Walze wie bei einer Musikbox, die jedoch keine Töne anschlägt, sondern unter dem Display angebracht die Braillestifte nach oben drückt, obwohl diese etwas mehr Platz wegen der Trommel benötigt.

Weil fraglich war, ob die erzeugten Reize ausreichen würden, versuchte ich auch nicht eine Methode weiter zu verfolgen, die mit Vibrationen oder Erhitzungen statt mechanisch tastbaren Erhöhungen arbeitet, wobei es interessant wäre, dieser Idee weiter nach zu gehen und die Grenzen der Wahrnehmung in den Fingern zu untersuchen.

## **6 Danksagung**

Ich danke Herrn Heinz Pütz, Vorsitzender der Arbeitsgruppe Behindertenpolitik des DBB (und Hauptvertrauensperson schwerbehinderter Menschen des Finanzministeriums Nordrhein-Westfalens), für ein aufschlussreiches Gespräch über den Alltag eines Sehbehinderten und hilfreichen Informationen für mein Projekt. Und Thomas Biedermann, weil er mich immer optimal betreut hat und mir jeder Zeit für alle Fragen zur Verfügung stand. Außerdem war ich sehr über die Hilfsbereitschaft der anderen SchülerInnen der AG begeistert, da sie mir sehr geholfen haben trotz meiner JuFo Premiere gut zurecht zu kommen.

## 7 Quellen

taktile Blindenuhren:

<http://www.bhvd.de/produkte/buhr/index.html>

Brailleschrift – Wikipedia:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Brailleschrift>

Braille-Displays für Sehbehinderte:

<http://www.innovations-report.de/html/berichte/messenachrichten/bericht-29420.html>