

Microcontrollerboard vs Microcomputer für die Verwendung von Sensoren und Aktuatoren in der Medienkunst

Projektarbeit

Graz, am 24.9.2012

Autor:

Silvie Yvonne Müller

0231064

Betreuer:

Ao. Univ. Prof. DI Winfried Ritsch

Universität für Musik und darstellende Kunst Graz

Institut für elektronische Musik

Inhalt

1. Einleitung	2
2. Low Cost Embedded Systems	3
2.1. Microcontroller	3
2.1.1. Arduino Mega 2560	3
2.1.2. chipKIT Max32	6
2.1.3. Vergleich Mega 2560 vs. Max32	7
2.2. Microcomputer	8
2.2.1. Raspberry Pi	8
2.2.2. Beagleboard, Beaglebone und Pandaboard	9
3. Sensorik	13
3.1. Stroke Sensor	13
3.2. Kapazitiver Sensor	15
4. Aktuatoren	16
4.1. Micromuscles	16
4.2. Polymer muscles	18
5. Konzeptaufbau	20
5.1. Fazit	23
6. Abbildungs- & Tabellenverzeichnis	24
7. Literatur- und Quellenverzeichnis	24

1. Einleitung

Medienkunst. Speziell sie sucht den Puls der Zeit zu treffen. Will heißen, mit den Materialien, Werkzeugen, Medien und aktuellen Technologien zu arbeiten, Auseinandersetzung mit Neuem zu suchen, zu entdecken, aufzuzeigen.

Der technologische Fortschritt und die daraus resultierende Komplexität in der Anwendung stehen im Kontrast zu low cost rapid prototyping als wesentlichem Ansatz zum schnellen Experimentieren in der Medienkunst.

Intention dieser Arbeit ist es, KünstlerInnen und LaientechnikerInnen die Möglichkeiten der Microcontroller/Microcomputertechnologie sowie der Sensorik und Aktuatorik näherzubringen. Dazu wurden in Recherchearbeit aktuelle Komponenten validiert und auf ihre Möglichkeiten als Verwendung in der Medienkunst hin untersucht. Die Ergebnisse werden in dieser Arbeit dargestellt. Zum Schluss wird noch ein einfacher Konzeptaufbau aus low cost Baugruppen gezeigt.

2. Low Cost Embedded Systems

Die beiden beschriebenen Microcontroller stellen für den praxisorientierten Anwender möglichst einfach nutzbare Plattformen dar, die Microcomputer hingegen einen möglichst vielseitigen Einsatzbereich auch auf Ebene der hardwarenahen Programmierung.

2.1. Microcontroller

2.1.1. Arduino Mega 2560

Arduino ist eine open source Physical – Computing Plattform mit dem Ziel Künstlern, Bastlern und anderen Laien den Zugang zur Programmierung von Microcontrollern (und den damit verbundenen vielfältigen Möglichkeiten im Bereich der Digitaltechnik) über die auf Wiring¹ und Processing² basierende Entwicklungsumgebung zu erleichtern. Das Projekt gewann 2006 auf der Ars Electronica die Anerkennung im Bereich Digital Communities [6].



Abbildung 1: Arduino Mega 2560 [1]

¹ Wiring: open source Programmstruktur für Microcontroller

² Processing: open source Programmiersprache entwickelt aus dem Antrieb, Programmieren im visuellen Kontext erlernbar zu machen; Ähnlichkeiten zu Java; für Bilder, Animationen, Interaktionen

Es sind Microcontrollerboards mit unterschiedlicher Ausstattung verfügbar, aktuelle Modelle basieren auf 16 MHz getakteten Atmel Prozessoren. Die Spannungsversorgung erfolgt grundsätzlich über USB oder extern mit 7 - 12 V (Adapter, Batterie), für externe Schaltungen wird 5 V als Anschluss angeboten. (Mega 2560 zusätzlich 3.3 V Pin). Nachfolgend soll im Speziellen das aktuelle Arduino Mega 2560 Board (US \$ 50) und anhand von diesem sollen weitere Spezifikationen diskutiert werden.

Das Mega 2560 Rev3 basiert auf dem 8 bit Microcontroller ATmega2560 mit 256 Kbyte Flash, 16 analogen Eingängen, 54 digitalen I/O Pins, von denen 15 als PWM Ausgänge verwendbar sind, zusätzlich noch 4 seriellen Hardware Ports und einem Reset Button. Die Programmierung erfolgt seriell über USB mittels Konverter (Mega16U2) und BootLoader (8 KB). Ein Überblick der wichtigsten Kenndaten, sowie Vergleich mit ChipKit Max32 ist in Tabelle 1 zu finden.

Die von Arduino verwendete IDE (integrierte Entwicklungsumgebung) – auf der IDE von Processing basierend - ermöglicht das vereinfachte Programmieren von Sketches (im Vergleich zu C oder C++) in einem Editor gemeinsam mit eingebunden Libraries. Eingebunden ist aber auch der open source avr-gcc-Compiler.

Ein Sketch besteht grundsätzlich aus zwei Teilen:

- `setup()`: zu Beginn des Programms einmalig ausgeführt; Initialisierungsroutinen (z.B. pin als Output setzen)
- `loop()`: Kernstück des Programms, das immer wieder ausgeführt wird

Die Verwendung von unterschiedlichen Funktionen und Libraries, z.B. der `digitalWrite` – function, ermöglicht es dem Benutzer recht schnell zu einem Ergebnis zu kommen, komplexere Lösungsansätze sind allerdings ohne Kenntnisse in C/C++ kaum realisierbar. Die Website von Arduino liefert dabei guten support.

Um ein Audiosignal zu erzeugen, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten:

- Der Arduino Core hat die `tone` function eingebunden, eine abgespeckte Version der gleichnamigen Library, die auf den digitalen I/Os die Ausgabe eines Rechtecksignals definierbarer Frequenz und Dauer (optional) als Ton ermöglicht. Die Syntax sieht wie folgt aus:
`tone(pin, frequency, duration)` bzw. `tone(pin, frequency)`
- Unter Verwendung der `tone` Library ist es ebenfalls möglich, ein mit den Hardware-Timern erzeugtes Rechtecksignal variabler Frequenz unter Verwendung folgender Syntax zu erzeugen [3]:

```
# include <tone.h>
Tone tone1
void setup()
{
tone1.begin(13);
tone1.play(Note_A4);
}
void loop()
{}
```

Die zu den Noten gehörenden Frequenzen sind als Konstanten in der Library implementiert, die duration hat hier als Einheit Millisekunden, alternativ kann wiederum ein Stopp-Befehl den Ton beenden. Es ist in diesem Fall möglich bis zu sechs Kanäle parallel auszugeben, limitiert wird die Kanalanzahl durch die Anzahl der am verwendeten Microcontroller verfügbaren Timer – vier 16 bit Timer (Timer 1, 3, 4, 5) und zwei 8 bit Timer (0, 2). Der erzielbare Frequenzbereich ist theoretisch von der clock frequency des Microcontrollers und dem verwendeten Timer abhängig. Praktisch jedoch ergibt sich ein Bereich von 1 Hz bis 65,535 kHz (16 bit Timer @ 16 MHz), da play() nur ein unsigned integer übergeben werden kann.

Abschließend sei noch zu erwähnen, dass Arduino verschiedenste Arten von sogenannten shields als Hardware anbietet, die, auf das Arduino gesteckt, den Anwendungsbereich erweitern. Als Beispiel sei das GinSing Shield für reine Audioanwendungen erwähnt. (mit einfach zu bedienender Benutzeroberfläche für das SoundProcessing auf dem Pc), es gibt aber auch Erweiterungen für SD-Karten, Ethernet, MIDI, Wifi, Motorsteuerung, GPS etc.

2.1.2. chipKIT Max32

Das Max32 (US \$ 49,5) unter den chipKIT Microcontroller Boards wurde aus dem Grund ausgewählt, eine mögliche Alternative zu Arduino Boards aufzuzeigen, die einige - nachfolgend besprochene - Vorteile bietet, und es dem Benutzer gleichzeitig ermöglicht, Kenntnisse aus eventuell vorangegangenen Arduino Projekten in anderer Hardwareumgebung anzuwenden, beziehungsweise weiter auszubauen.

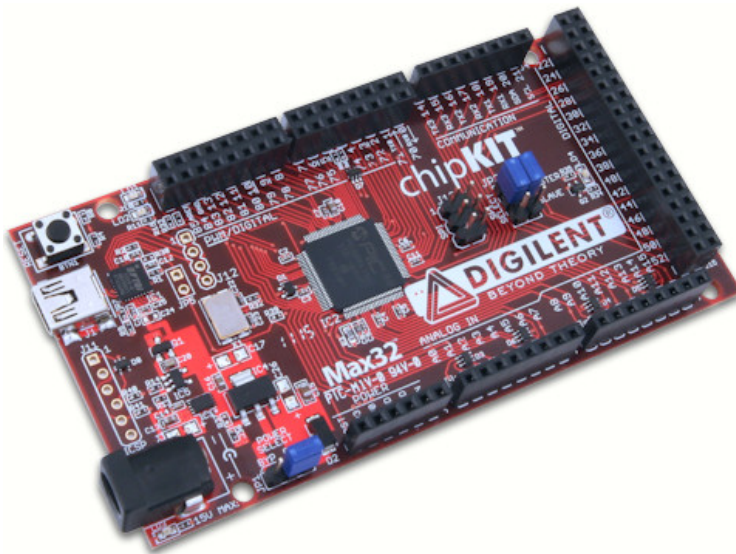


Abbildung 2: chipKIT Max32 Front [7]

ChipKIT Boards verfolgen als open source Hardware & Software Plattform ebenfalls das Ziel, einfach anwendbar im Bereich der embedded Controller zu sein und gleichzeitig Kompatibilität zu den meisten Anwendungen und Shields von Arduino herzustellen, allerdings auf 32 bit Microcontrollern der PIC32 Familie basierend.

Das Microcontroller Board chipKIT Max32 setzt auf dem 32 bit PIC32 mit 512 Kbyte Flash sowie 128 kByte RAM auf, hat insgesamt 83 I/O pins, von denen 16 als analoge Eingänge (oder als digitale Ein/Ausgänge), sowie 5 als PWM Kanäle genutzt werden können. Weiters unterstützen die pins einige periphere Funktionen, wie 6 UARTS, SPI und I²C Ports, ein Reset Button ist auf dem Board ebenfalls vorhanden. Zusätzliche Peripherie wie 10/100 Ethernet MAC, USB 2.0 FULL speed Controller und 2 CAN Controller (Controller Area Network) benötigen den Einsatz von kompatiblen Shields, um voll einsatzfähig zu sein. Die Spannungsversorgung erfolgt über USB, einen Adapter oder mit Batterien.

Die Multi Plattform integrierte Entwicklungsumgebung (MPIDE) verwendet einen seriellen Port – implementiert über einen FTDI USB Konverter - um mit dem BootLoader zu kommunizieren. Sie basiert ebenfalls auf der IDE von Processing, ist rückwärtskompatibel zur von Arduino verwendeten IDE, außerdem kompatibel zu MPLAB und dem PICKIT3 in-system programmer/debugger.

Der Max32 hat zwar nur 5 PWM Kanäle, allerdings auch fünf 16 bit digitale Timer, sowie weitere 32 bit Timer.

2.1.3. Vergleich Mega 2560 vs. Max32

Kenndaten	Arduino Mega 2560	chipKIT Max32
Ein/Ausgänge	54	83
analoge Eingänge	16	16
# PWM Kanäle	15	5
Timer	8 / 16 bit	16 / 32 bit
Taktrate	16 MHz	80 MHz
Flash	256 KB	512 KB
SRAM	8 KB	128 KB
Eingangsspannung (empf)	7 - 12 V	7 - 15 V
Eingangsspannung (Max)	6 - 20 V	20 V
Betriebsspannung	5 V; 3.3 V	3.3 V
DC pro pin	40 mA	+/- 18mA

Tabelle 1: Vergleich der Microcontroller Boards Mega2560 & Max32 [1],[9]

Wie in Tabelle 1 ersichtlich, weist das chipKIT Max32 eindeutige Vorteile gegenüber dem Arduino Mega 2560 auf. Mit fünf 16 bit Timern (im Vergleich zu nur 4 Stück beim Arduino) kann der Max32 seine 5 PWM Kanäle bezüglich Parallelität voll nützen. Bei Anwendungen, in denen mehrere pulswertenmodulierte Signale gebraucht werden ist Arduino die bessere Wahl, da es mehr analoge Ausgänge bietet. Für Soundwiedergabe an mehreren Kanälen steht bei Arduino die tone library zur Verfügung, diese ist allerdings nicht zu dem Max32 kompatibel.

Sollte sich ein Anwender ohne Vorkenntnisse entscheiden müssen, würde die Empfehlung zugunsten des Max32 ausfallen, da schneller, mehr Speicher, gute Kompatibilität (zumindest zu Arduino shields mit 3.3 V).

2.2. Microcomputer

Die nachfolgend beschriebenen Microcomputer weisen mögliche Speicher-, Grafik- und Rechenleistungen auf wie sie bei Standrechnern um das Jahr 2000 üblich waren. Bei Miniformat (Kreditkartengröße) bieten sie alle Vorteile eines Pcs im Vergleich zu Microcontrollern wie beispielsweise größere Rechenleistung (HD-Sound möglich) oder die Verwendung von Standardsoftware. Allerdings, wenn individuelle Anforderungen gewünscht sind, kann die Programmierung von Software durchaus komplexer werden als bei Microcontrollern, da sie sich in das Betriebssystem einfügen muss.

2.2.1. Raspberry Pi

Der Raspberry π (RPI) ist ein Einplatinencomputer in Kreditkartengröße. Das seit Februar 2012 auf dem Markt befindliche Modell B des „Himbeerkuchens“ (US \$ 23) verfügt über:

- 2 USB Anschlüsse (USB 2.0, Micro USB zur Stromversorgung: 5 V, 1 A)
- Ethernet Interface,
- DSI Display Anschluss
- CSI: serieller Kameraanschluss,
- RCA: analoger Video Ausgang (Cinch)
- einen HDMI Ausgang (Bild & Ton),
- 3,5 mm Stereoklinke für Soundausgabe
- GPIO: universelle Ein/Ausgänge, 26 polige Leiste

Zur Verwendung des RPI werden Kabel, SD Karte (da keine Festplatte vorhanden), Tastatur und Bildschirm benötigt, die Lieferzeit beträgt derzeit mindestens 10 Wochen. Der Chip BCM2835 (Hersteller Broadcom) hat als CPU einen ARM11³ Prozessor, der mit 32 Bit bei 700 MHz Taktfrequenz arbeitet. Weiters verfügt der RPI über 256 MB Arbeitsspeicher (SDRAM, nicht erweiterbar), den sich CPU und GPU (Speicher bis 128 MB konfigurierbar) teilen. Dabei ist der Grafikprozessor Videocore IV. als dual

³ ARM1176JZF5 Prozessor aus ARM v6 Familie; die Linuxdistribution Ubuntu unterstützt nur ARM v7 und wird nicht installierbar sein.

core GPU integriert und unterstützt OpenGL ES2.0⁴, sowie OpenVG 1.1⁵, was Filmwiedergabe in FullHD und Composite möglich macht.

Als Betriebssystem ist Linux implementiert, die Foundation empfiehlt beispielsweise die Linux Distribution Raspbian (auch „Wheezy“ genannt). Auf Debian 7 basierend ist sie auf die Architektur des Prozessors – wie zum Beispiel schnellere Gleitkommaberechnungen der FPU (Floating Point Unit) abgestimmt. Ein erstes RISC OS Image soll es nach der AlphaVersion bald geben.

Über ALSA⁶ unterstützt der RPI die Soundwiedergabe, sofern nicht anders gewünscht erfolgt die Ausgabe über den HDMI Ausgang (Klinke möglich), ein Player (omxplayer) ist für Video/Audiodateien vorinstalliert (Alternativen: XBMC⁷, RaspBmc). Lizenzschlüssel für die Codecs MPEG2 und VC-1 kann man inzwischen erwerben, ansonsten dekodiert die Firmware h.264 hardwarebeschleunigt. Noch relativ neu ist die MediaCenter Distribution Raspbmc (auf XBMC basierend).

Mit der aktuellen Raspbian Distribution (Stand 19.9.2012) ist overclocking möglich. Außerdem unterstützt der neue USB Treiber nun USB-WLAN-Adapter. Insgesamt (neue Firmware) ist eine Performance Steigerung um gut 50% ohne Lebensdauereinbußen möglich.

2.2.2. Beagleboard, Beaglebone und Pandaboard

Die Entwicklungsplatine Beaglebone (US \$ 89) von Texas Instruments ist der kleine Bruder des Beagleboard-xM (Erweiterung des Beagleboard, US \$ 149) und vom Hersteller als stand alone Variante wie auch als Erweiterung zum Beagleboard gedacht. Das gelieferte Package enthält USB Kabel, eine 4 GB SD-Karte, sowie darauf enthaltene Software und Dokumentation.

Der „Knochen“ vereinigt Merkmale sowohl eines Microcontrollers als auch eines Microcomputers. Er basiert auf dem ARM Cortex A8 Prozessor mit einer maximalen Taxtrate von 720 MHz unter Voraussetzung eines 5 V-Netzteils (bei Versorgung über

⁴ Open Graphics Library for embedded systems: Spezifikation f. plattform/sprachenunabh. Schnittstelle f. 3D-Grafiken in eingebetteten Systemen

⁵ OpenVG: plattform/sprachenunabh. Programmierschnittstelle f. 2D-Vektor- & Rastergrafiken

⁶ Advanced Linux Sound Architecture: freie Soundarchitektur für Linux-Systeme

⁷ Freie HeimkinoSoftware

USB maximal 500 MHz), die Leistungsaufnahme von 7 mW im Ruhezustand und ansonsten maximal 700 mW hat so geringe Wärmeemissionen zur Folge, dass kein Lüfter notwendig ist. Es gibt keinen Monitoranschluss, weshalb das Board seriell via USB auf einem PC programmiert wird.

Folgende Komponenten sind weiters verbaut :

- Grafik Controller für 24 bit LCDs, (Auflösung bis 1280 x 720)
- Touchscreen Controller
- auf dem Board selbst außerdem noch 256 MB DDR2 RAM bei 400 MHz und 16 bit,
- USB,
- Ethernet,
- ein Reset – Button,
- 2 x 46 pins Peripherie mit gemultiplexten LCD Signalen. Im Expansion header befinden sich 66GPIO pins, 8 PWMs , 2 SPI ports, 2 I²C ports, 2 CAN Busse, 4 timer, 7 100K samples/s A/D converter usw

Cape Expansion Boards, von denen bis zu vier Stück auf die 2 x 46 pins aufsteckbar sind, bieten zusätzliche Funktionen bzw. Erweiterungsmöglichkeiten. Für hardwarenahe Entwickler bieten diese hohe Flexibilität für individuelle Anforderungen. Dabei geht aber der einfache Zugang für den Künstler wieder verloren, sofern die angebotenen Cape Expansion Boards den Anforderungen nicht genügen.

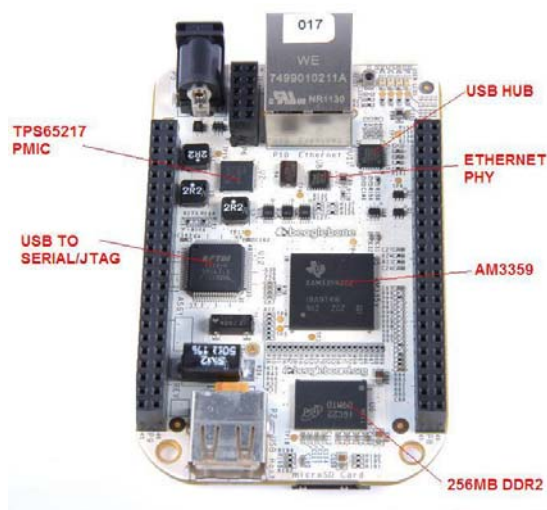


Abbildung 3: Beaglebone [17]

Im Gegensatz dazu läuft das Beagleboard-xM mit

- einem 1 GHz super-scalar ARM Cortex A8 Prozessor,
- mit doppelt soviel RAM (512 MB),
- 4 port USB 2.0 hub,
- 10/100 Ethernet (vom hub bereitgestellt),
- Kameraport,
- DVI-D und S-Video
- Stereo I/O
- 20 pin Peripherie (1,8 V)
- JTAG Anschluss
- Expansion port
- RS232

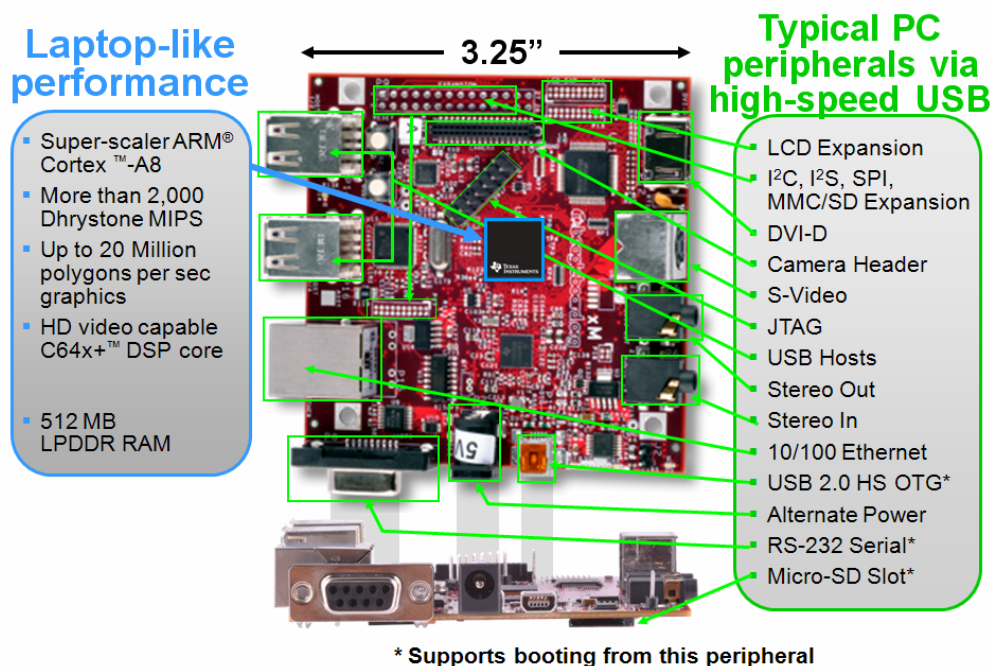


Abbildung 4: Beagleboard-xM [16]

Eine Weiterentwicklung des Beagleboards stellt das Pandaboard, aktuell das Pandaboard ES – Version B (US \$ 189) dar, basierend auf dem OMAP4460 SoC von TI, mit einem 1,2 GHz Dual Core ARM Cortex A9 MultimediaProcessorCore (MPCore). Nachfolgende Abbildung zeigt die vorhandenen Anschlüsse.

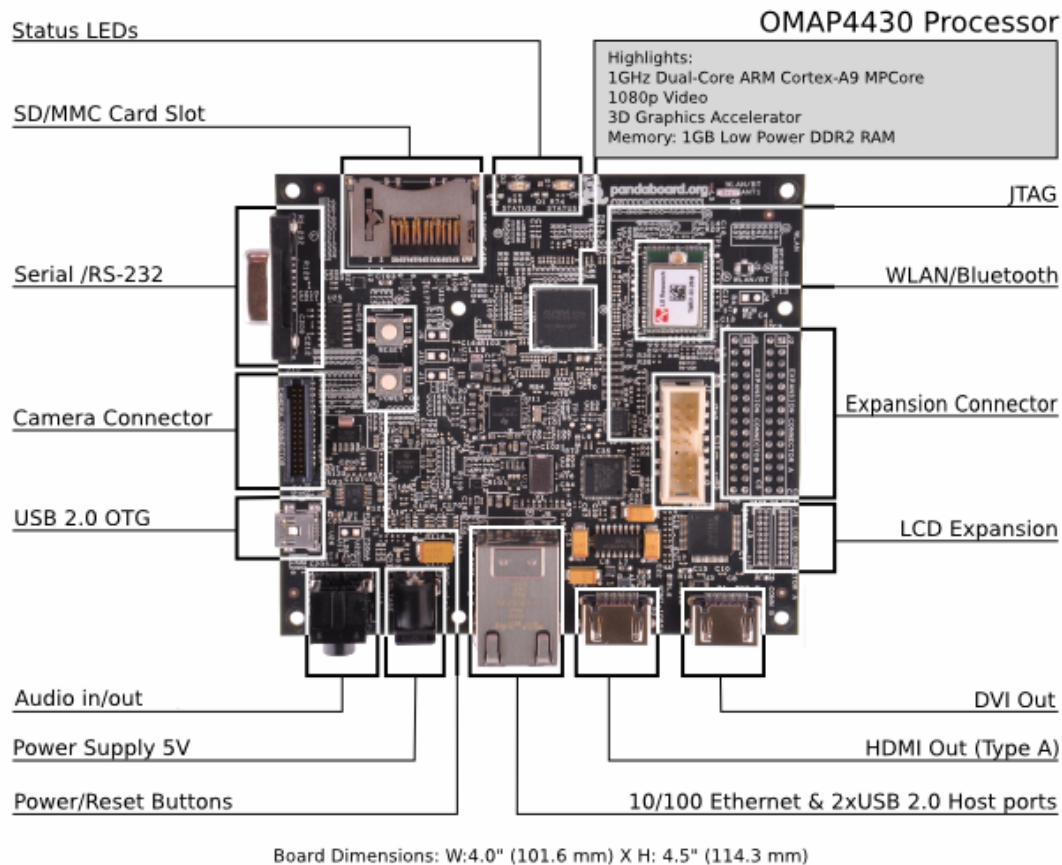


Abbildung 5: Pandaboard [19]

Für AudioAnwendungen - abgesehen von high definition audio über HDMI - ist der TLW6640 Audio Companion IC verbaut, der verschiedene Interfaces, beispielsweise PDM Interface, ein analoges Mikrofoninterface, Headset – speaker (32 Ω), earpiece output, FM input, AUX Out, GPOs, I2C usw. bereitstellt.

Allen drei angeführten Boards ist die Idee gemeinsam, auf Linux zu laufen.

Das Pandaboard-ES im Speziellen läuft auf dem Linux Kernel mit den traditionellen Distributionen oder der Android Umgebung, es gibt aber auch eine Entwicklerversion von RISC OS 5 und auch QNX⁸ Neutrino 6.5.0 hat ein Board support package. Von der Linaro foundation⁹ gibt es außerdem optimierte Versionen zu Android und Ubuntu.

⁸ QNX: kommerzielle Unix ähnliche Echtzeitanwendung im Bereich embedded systems

⁹ Linaro: non-profit Organisation, arbeitet an der Optimierung von open source für die ARM Architektur; unterstützt die hardware Plattform Pandaboard mit monatlichen images

Abschließend ist anzumerken dass das Preis/Leistungsverhältnis beim Raspberry Pi am Besten ist, aber die Kaufentscheidung für einen Microcomputer letztendlich über die spezifischen Anforderungen gefällt wird.

3. Sensorik

Gerade im künstlerischen Kontext liegt der Versuch nahe, auch die Sensorik/Anregungspattern kreativ im DIY¹⁰ – Prozess umzusetzen. Aus diesem Grund sei zu Beginn auch auf selbstgebaute Sensoren, im Speziellen auf den stroke Sensor bestehend aus e-Textiles ein Augenmerk gelegt. Des Weiteren soll das Prinzip der kapazitiven Sensorik als flexibel einsetzbare Alternative genannt werden.

3.1. Stroke Sensor

Der stroke Sensor sei als low-cost, low-tech Beispiel für aus Stoffmaterialien selbst herstellbare Sensoren erwähnt. Andere ebenfalls aus leitfähigen Textilien herstellbare Sensoren sind beispielsweise Potentiometer, Drucksensoren, FSR (force sensitive resistance) Sensoren etc.

Der Stroke Sensor selbst fungiert als eine Art Schalter, folgende Materialien werden benötigt:

- Neopren,
- Leitfähiges Textil
- Leitfähiger Faden
- Nichtleitfähiger Faden bzw. Faden mit hohem Widerstand

Der Kontaktschalter kann in verschiedenen Ausführungen hergestellt werden, die Einfachste sieht vor, den leitfähigen Faden in Schlaufen durch das Neoprenmaterial zwischen zwei linienförmig angenähten Stücken leitfähigem Textil zu nähen und die Schlaufen anschließend zu durchtrennen. Die somit erhaltenen Fadenteile verbinden, wenn von links nach rechts (oder umgekehrt) gestrichen, die beiden leitfähigen Textilien miteinander. Um die leitenden Eigenschaften zu verbessern, ist es möglich einen Teil (oder aber auch beide Teile) des leitfähigen Textils auf der Rückseite zu platzieren und mit dem Faden direkt zu durchsticken. Die nachfolgende Abbildung 6

¹⁰ Do it yourself

zeigt unterschiedliche Variationen, unter Anderem auch jene, nichtleitfähiges Garn als Hürde mitzuverarbeiten.

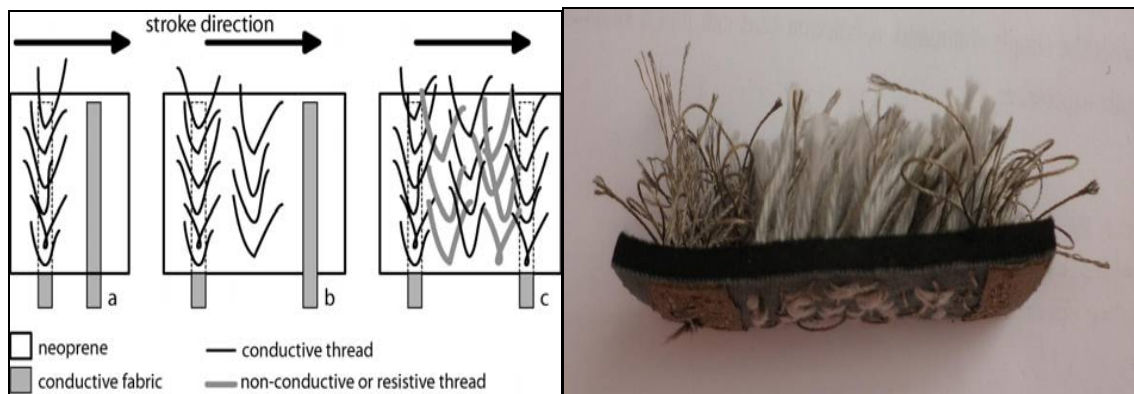


Abbildung 6 & 7: Varianten des stroke Sensors; stroke sensor von Hillevi Munthe

Um gute Funktionalität als Kontaktschalter zu gewährleisten, ist besonderes Augenmerk auf die richtige Dimensionierung, wie:

- die Gesamtgröße des Sensors selbst – ist er zu groß kann es schwierig werden, den Kontakt mit einer oder auch beiden Händen zu schließen –
- die Dicke der verwendeten Fäden – sie bestimmt die optimale Gesamtlänge eines Fadenstücks; außerdem neigt dicker, wollartiger Faden dazu, sich mit der Zeit zu entwirbeln
- die Fadenlänge:
 - zu lang: Kontakt bleibt geschlossen, da sich der Faden nicht wieder aufrichten kann
 - zu kurz: kein Kontakt

zu legen.

Ergonomisch betrachtet ist er flauschig, kann hübsch aussehen, jedenfalls einladend ausprobiert zu werden. Nachteilig in der Benutzung wirkt sich mit Sicherheit Verschmutzung aus, wie Kaugummi, Schweiß etc, der das Material verklebt, die Fehleranfälligkeit nimmt daher im Alterungsprozess zu.

3.2. Kapazitiver Sensor

Kapazitive Sensoren sind vielfältig betreffend deren Bauart und Einsatzgebiet. Sie finden Verwendung als Druck-, Näherungs-, Abstands, Beschleunigungs-, Füllstands-, Wegsensoren uvm.

Im Wesentlichen handelt es sich beim kapazitiven Messprinzip um zwei „Platten“ – Sensor und Messobjekt - die gemeinsam einen elektrischen Kondensator bilden, dessen beeinflussbare Kapazitätsänderung messtechnisch erfassbar und somit weiterverarbeitbar ist. Jene Kapazitätsänderung kann auf unterschiedliche Art herbeigeführt werden:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

- Änderung des Plattenabstands durch Verformung einer Platte
- Änderung der wirksamen Plattenfläche durch Verschiebung der Platten gegeneinander
- Änderung der Kapazität durch Einbringung eines metallischen Leiters oder eines Dielektrikums

Die messtechnische Erfassung dieser Kapazitätsänderung kann auf verschiedene Arten erfolgen [22], z.B. Wechselstrombrücken, Bestimmung der Kapazität über Gleichspannung und Ladungsverstärker, über Resonanzfrequenzmessung in einem Oszillator.

Als Beispiel für die Funktionsweise eines Näherungssensors wird nachfolgend die Funktionsweise des im praktischen Teil verwendeten Sensorchips Atmel QT1010 beschrieben. Der QTouch Sensor bestimmt die Kapazität einer Sensorelektrode durch das Laden auf eine definierte Spannung und das Messen der in die Elektrode verschobenen Ladung. Die zyklische Wiederholung dieses Vorgangs führt zur Erkennung einer Kapazitätsänderung durch beispielsweise die Näherung eines Fingers. Der als Schalter fungierende AT42QT1010 hat zwei Sensitivitätsstufen, für Berührung oder Näherung.

In der Anwendung der Sensorik sei in Bezug auf die Bauform auf die Ausrichtung und dadurch vorgegebene Sensitivität des elektrischen Feldes zwischen zwei Elektroden hingewiesen. Nicht berücksichtigte Änderungen des Dielektrikums durch beispielsweise

Ablagerungen, Korrosion, Veränderung der Luftfeuchtigkeit führen zu Verfälschungen in der Messauswertung.

Anwendungsbereiche sind Power Switches (Autoschlüssel), Kinderspielzeug, Hörgeräte, Timer, Näherungsschalter etc.

4. Aktuatoren

Die beiden in diesem Kapitel beschriebenen Aktoren basieren auf unterschiedlichen mechanisch aktiven Materialien. Als „aktives Material“ soll weniger die Art des Werkstoffverhaltens sondern vielmehr dessen gezielte Veränderung seines geometrischen Zustands als Wechselwirkung auf ein bspw. elektrisches Feld verstanden werden. Behandelt werden nachfolgend mechanisch aktive Metalle und mechanisch aktive Polymere, es gibt aber auch unter den Keramiken aktives Material, ebenso wie eine Reihe aktiver Verbundwerkstoffe.

Bei der Auswahl eines mechanisch aktiven Werkstoffes soll, abgesehen von Art und Richtung der Ausdehnung bzw. Verformung auch die Reaktionsgeschwindigkeit, Energiedichte und maximale Spannung zur Aktivierung berücksichtigt werden.

4.1. Micromuscles

Mechanisch aktive Metalle sind Formgedächtnislegierungen (FGL) und werden aufgrund ihrer Eigenschaft, sich an eine Formgebung „erinnern“ zu können oft auch als Memorymetalle bzw. shape memory alloy bezeichnet.

Die Formveränderung beruht auf der Gitterumwandlung von zwei verschiedenen Kristallstrukturen eines Werkstoffes und ist in zwei unterschiedliche Temperaturphasen [26] unterteilt:

- Austenit¹¹-Phase: in dieser Hochtemperaturphase (über der Übergangstemperatur; z.B. Nitinol 70°C – 130°C) wird die im Martensit entstandene mechanische Verformung des Materials aufgrund thermischer Energiezufuhr rückgängig gemacht.
- Martensit¹²-Phase: in der Niedrigtemperaturphase kann die Legierung in beliebige Form gebracht werden, beispielsweise durch Biegung, Verdrehung. Dabei können

¹¹: benannt nach Sir William Chandler Roberts-Austen bezeichnet der Begriff in diesem Zusammenhang kubisch-flächenzentrierte Mischkristalle des Eisens

FGL im Allgemeinen Verformungsgrade bis 10% (FeNiAl), abhängig vom verwendeten Werkstoff rückstellen.

Zusätzlich gibt es eine Art Formgebungsphase: in dieser Phase reorientiert die Legierung die kubisch-kristalline Struktur. Die unter sehr hohen Temperaturen (Nitinol 540°C) geformte und somit erzeugte Struktur ist jene, in die der Werkstoff in der Austenit-Phase zurückgestellt wird.

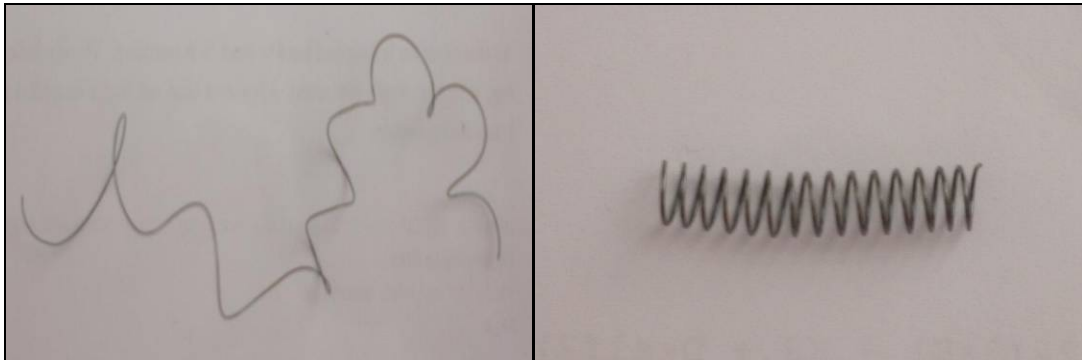


Abbildung 8 & 9: zwei Arten von muscle wires in den beiden Temperaturphasen

Die Rückstellung kann gleichwertig thermisch oder spannungsinduziert erfolgen und ist dabei unabhängig von der Geschwindigkeit der Temperatur/Spannungsänderung. Allerdings ist darauf zu achten, den Werkstoff nicht zu überhitzen.

Formgedächtnislegierungen sind in der Lage unterschiedliche Effekte auszuführen, den Einwegeffekt, eine einmalige Formänderung bei einer Temperatur, den Zweiwegeffekt, bei dem sich der Werkstoff an zwei Formen bei zwei unterschiedlichen Temperaturen „erinnert“, oder sie zeigen pseudoelastisches Verhalten.

Folgende Legierungen werden verwendet: NiTi, NiTiCu, CuZn, CuAlNi, FeNiAl. Dabei ist NiTi – besser bekannt als Nitinol - eine bereits 1958 entwickelte Nickel-Titan-Legierung, und weist 8%iges pseudoelastisches - auch superelastisch genannt – Verhalten auf, d.h. es ist imstande, zusätzlich zur beschriebenen elastischen Verformung eine Formänderung durch äußere Krafteinwirkung reversibel zu vollziehen. Wenn die Kraft also nicht mehr auf das Material einwirkt, kehrt es in seine ursprüngliche Form, von Martensit in Austenit, zurück, ohne äußeren Einfluss wie Temperaturänderung. Formgedächtnislegierungen sind um bis zu 10 mal elastischer als andere Metalle

¹²: ist ein metastabiles Gefüge in Metallen & Nichtmetallen, das diffusionslos & athermisch durch Scherbewegung aus dem Ausgangsgefüge entsteht

weshalb auf Datenblättern auch häufig die Angabe eines Elastizitätsmoduls zu finden ist.

Formgedächtnislegierungen sind imstande, mehrere Millionen Zyklen lang zu funktionieren, dabei auch große Kräfte ohne Ermüdung zu übertragen (dann allerdings nur 100.000e Zyklen). Allerdings verschlechtern sich die Eigenschaften zunehmend mit der Zyklenanzahl. Da sie thermische in mechanische Energie umsetzen, finden unterschiedliche FGL-Zusammensetzungen von NickelTitanium Drähten Anwendung als Antrieb kleiner Maschinen z.B. in Spielzeug, oder als Ersatz für kleine Motoren als muscle wires, auch im künstlerischen Bereich, und wenn diese zusätzlich superelastische und somit sehr knickresistente Eigenschaften aufweisen, auch in der Dentaltechnik und für Brillen.

4.2. Polymer muscles

Die mechanisch aktiven Polymere lassen sich in weitere fünf Gruppen unterteilen: magnetische, thermische, elektrische, chemische und optische aktive Polymere.

Mit elektroaktiven Polymeren (EAP) sind in diesem Zusammenhang anorganische Polymere aus den Elementen Titan, Aluminium, Silizium usw., aber auch synthetisch hergestellte Polymere - zu denen Kunststoffe im Allgemeinen zählen - gemeint, die unter Einwirkung eines elektrischen Feldes ihre Form oder Größe ändern. Unterteilt werden EAPs in zwei Hauptgruppen:

- Elektronische EAPs: Elektrostatische Kräfte werden – ähnlich einem Kondensator – zwischen zwei Elektroden wirksam und drücken auf den dazwischenliegenden, passiven Polymerfilm (elektromechanische Änderung der Dicke, wirksamen Fläche, Volumens in Abhängigkeit des elektrischen Feldes). Dieser dehnt sich also unter Krafteinwirkung aus, im Gegensatz zum menschlichen Muskel, der kontrahiert. Dielektrische Elastomere, deren Materialeigenschaften durch geringe Steifigkeit, eine hohe Dielektrizitätskonstante sowie hohe Entladungskräfte gekennzeichnet sind, sind in der Lage, hohen Belastungen standzuhalten, sie benötigen zur Aktivierung hohe Spannungen (im Bereich 100 V bis einige kV: abhängig von der Stärke des Muskels : Elastomer dicker → Elektrodenentfernung größer → größeres elektrisches Feld) um ein elektrisches Feld aufzubauen, allerdings bei geringeren Drücken (in der Größenordnung von einigen 10 MPa). Um aktiv in einer bestimmten Position zu bleiben ist keine Versorgung nötig. Sie können sich um ein Vielfaches (bis zu 300 % [25]) ihres Ursprungszustands ausdehnen und das viele Male. Zu dieser

Gruppe gehören ferroelektrische -, elektrostriktive -, flüssigkristalline -, Formgedächtnis-Polymere, sowie dielektrische Elastomere.

- Ionische EAPs: Der unter Einfluss eines elektrischen Felds stattfindende Ionentransport im feuchten Material induziert eine elektromechanische Formänderung. Im Gegensatz zu den elektronischen APs sind ionische meist gekapselt, da sie einen Elektrolyten enthalten, benötigen nur wenige Volt (1 bis 2 V) Spannung zur Ansteuerung, dehnen sich dafür aber auch deutlich weniger aus. Zu dieser Gruppe gehören leitfähige Polymere, Polymergele und ionische Polymer-Metall-Verbunde. Im Weiteren werden nur mehr elektronische APs behandelt.

Gerade die Elektroden müssen hochelastisch und auch im verformten Zustand leitfähig bleiben, dazu forscht man an beispielsweise metalldotierten Kunststoffen oder an Kohlenstoff im Nanopartikelbereich. Die Metalldotierung, welche über das Einfügen von Dipolen in die Elastomerketten erfolgt, führt zu einer Erhöhung der Dielektrizitätskonstante (Faktor 2 bis 3) und auch zu einer Flexibilitätssteigerung des Elastomers (Erweichung). Das hat zur Folge, dass bei gleicher Spannung höhere Ladevorgänge der Elektroden erzielbar sind, und somit der Muskel insgesamt sechsmal mehr Dehnung erreichen kann als ohne Dotierung. Um zudem das Spannungsniveau zu senken (beispielsweise bei Verwendung dielektrischer Elastomere) wird versucht, Lagen aus Elektroden-Elastomeren im 1mm-Bereich vollautomatisiert zu erzeugen.

EAPs finden nicht nur als Aktoren, sondern auch als Sensoren, Pumpen, dezentrale Energieerzeuger uvm Anwendung, sind also in ihrem vorstellbaren Einsatzgebiet extrem vielseitig.

Der iPod Touch 4G hat artificial muscles zwischen Gehäuse und Akku verbaut, Autofokus-Systeme in Handykameras nutzen die Technologie und der bereits 1880 von Röntgen beobachtete Effekt an einem Kautschukband verspricht bei guter Materialkenntnis und richtiger Produktionstechnik auch im Bereich der biomedizinischen Technik viele Einsatzmöglichkeiten zu haben.

Als Beispiel für einen selbstzubauenden Muskel sei Polymerfolie genannt, – handelsübliche Klebefolie – die auf beiden Seiten mit Grafitpulver beschichtet wird, wie sie von den Forschern der Empa in Dübendorf zum Bau eines Roboterarms verwendet wurde.

5. Konzeptaufbau

Die Validierung des Zusammenspiels von Microcontroller, Sensorik und Aktuatorik soll in einem einfachen Konzeptaufbau dargestellt werden.

Verwendet wurden:

- Arduino Mega1280
- Atmel EVK1010
- Gleichstrommotor

Mit dem folgenden Aufbau soll gezeigt werden, dass mit geringem technischen Aufwand Interaktion unterschiedlicher Funktionalität implementiert werden kann.

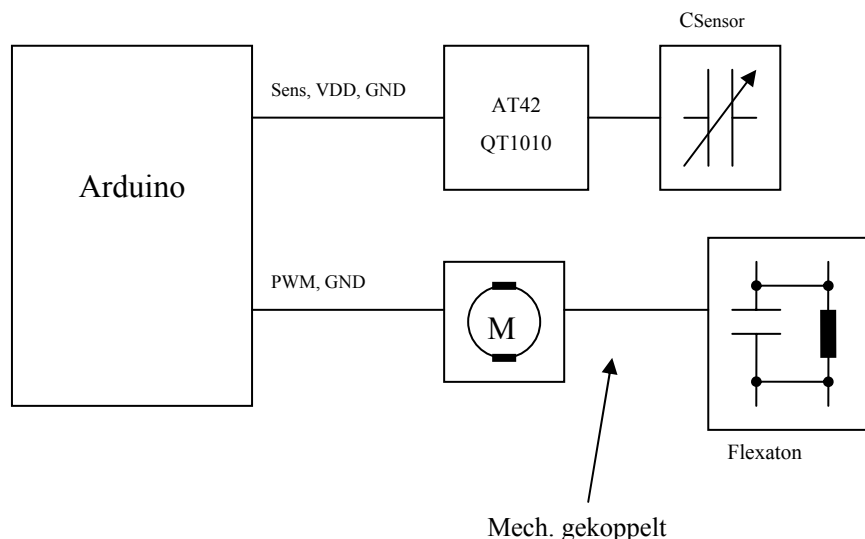


Abbildung 10: Blockschaltbild Konzept

Der Sensorchip AT42QT1010 ist in einem Evaluierungskit als One Touch Solution erhältlich, das eine einfache Anbindung kapazitiver Sensoren ermöglicht. Durch das Auslöten von R1 ist bereits volle Funktionalität des Sensors als digitaler Eingang des Arduino gegeben und wird von diesem auch versorgt.

Es kann alternativ auch eine selbstgebaute Kapazität (z.B. aus Alufolie oder Kupferdraht) über die Pins EXT und GND angeschlossen werden. Weiters lässt sich die Sensitivität des Sensors über den Austausch der Sample Kapazität CS beeinflussen. Auch low power consumption ist erzielbar.

Der Gleichstrommotor (günstiger Vibrationsmotor) wird entweder über einen digitalen oder einen analogen (PWM) Ausgang vom Arduino angesteuert. Damit ist es möglich, den Aktuator ein/auszuschalten oder die Umdrehungen/min vorzugeben. Andere

Aktoren wie beispielsweise muscle wires können ähnlich einfach angesteuert werden, benötigen gegebenenfalls eine Treiberschaltung (Vorverstärker).

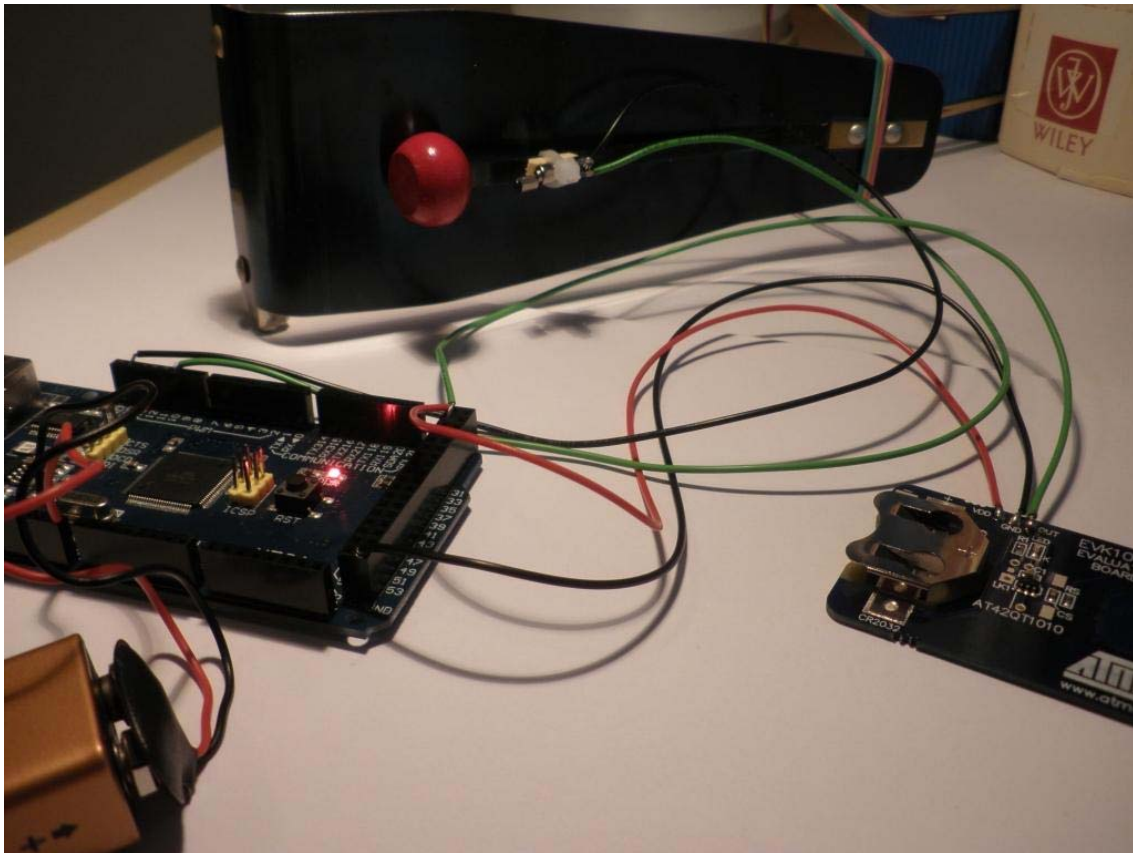


Abbildung 11: Flexaton, Arduino, Batterievers., kap. Sensorboard, Vibrationsmotor

Die Programmierung des Arduino ist hier für den einfachsten Fall beschrieben, siehe Abbildung 12. Um eine mögliche Umsetzung zu demonstrieren, wurde der Motor an ein Flexaton angekoppelt. Erweiterungen in Form von beispielsweise Hinzufügen eines Interrupts anstatt des Poolings lassen sich für andere Funktionalität im Hauptprogramm genauso implementieren, wie die rudimentäre Mehrkanalsoundwiedergabe über die tone library oder andere Motoransteuerung über die Servo-library.

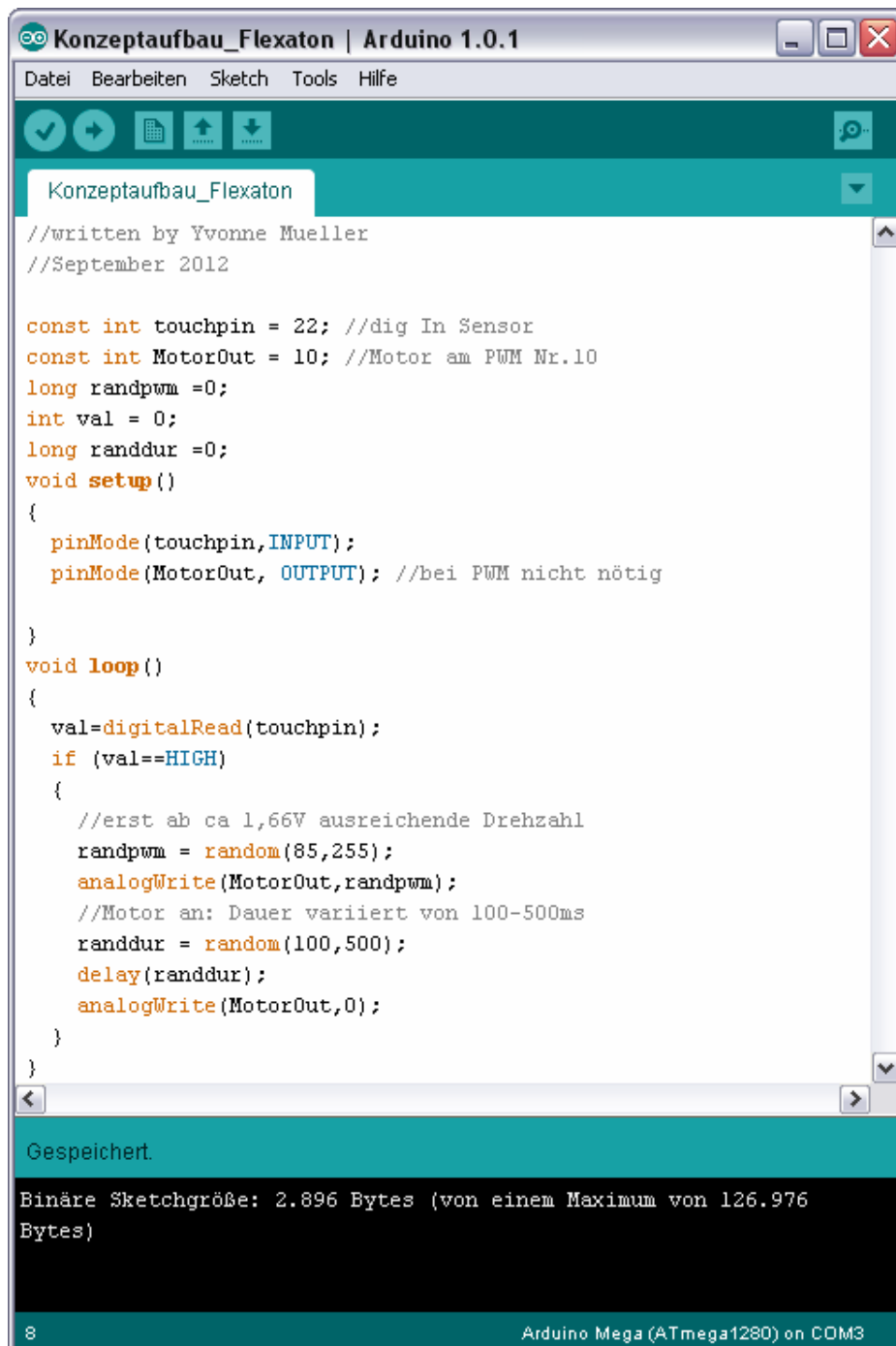


Abbildung 12: Beispielsketch für Konzeptaufbau

5.1. Fazit

Es zeigte sich dass mit Arduino eine schnelle und einfache Programmierung eines Microcontrollerboards und damit auch zeiteffizientes Prototyping möglich ist

Abschließend ist zu erwähnen, dass unter den beschriebenen Hardware Varianten der RaspberryPi dem technikversierten Anwender vielseitige Applikationsmöglichkeiten zu günstigeren Konditionen als einem Microcontrollerboard bei vergleichsweise viel höherem technischen Aufwand bietet.

Außerdem sei darauf hingewiesen, dass Selbstbauprojekte gerne im Internet präsentiert werden und dementsprechend auch viele Problemstellungen und Anwendungsmöglichkeiten unterschiedlicher Elektronik aufgearbeitet wurden.

6. Abbildungs- & Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Arduino Mega 2560 [1]	3
Abbildung 2: chipKIT Max32 Front [7]	6
Abbildung 3: Beaglebone [17]	10
Abbildung 4: Beagleboard-xM [16]	11
Abbildung 5: Pandaboard [19]	12
Abbildung 6 & 7: Varianten des stroke Sensors; stroke sensor von Hillevi Munthe	14
Abbildung 8 & 9: zwei Arten von muscle wires in den beiden Temperaturphasen	17
Abbildung 10: Blockschaltbild Konzept	20
Abbildung 11: Flexaton, Arduino, Batterieves., kap. Sensorboard, Vibrationsmotor	21
Abbildung 12: Beispielsketch für Konzeptaufbau	22
Tabelle 1: Vergleich der Microcontroller Boards Mega2560 & Max32 [1],[9]	7

7. Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Arduino Website: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [2] Datenblatt Atmel Microcontroller: <http://www.atmel.com/Images/doc2549.pdf>
- [3] tone library: <http://code.google.com/p/rogue-code/w/list>
- [4] Anwendungsbsp Auduino: <http://code.google.com/p/tinkerit/wiki/Auduino>
- [5] <http://hacknmod.com/hack/top-40-arduino-projects-of-the-web/>
- [6] Ars Electronica Archiv
http://90.146.8.18/de/archives/prix_archive/prix_projekt.asp?iProjectID=13789
- [7]
<http://www.digilentinc.com/Products/Detail.cfm?NavPath=2,892,894&Prod=CHIPKIT-MAX32>
- [8] http://www.chipkit.org/wiki/index.php?title=Main_Page
- [9] Datenblatt Max32: https://www.digilentinc.com/Data/Products/CHIPKIT-MAX32/chipKIT%20Max32_rm.pdf
- [10] Anwendungsbsp: www.hackaday.com
- [11] Microcontroller Forum <http://forums.nkcelectronics.com/>

- [12] <http://elinux.org/RaspberryPiBoardTasks>
- [13] Raspberry Pi Datenblatt: Broadcom BCM2835 ARM Peripherals
- [14] <http://www.raspberrypi.org/>
- [15] <http://raspberrycenter.de/artikel/pi-bekommt-turbo-modus-wlan-verbessertes-usb-audio-user-guide-erschienen>, 20.9.2012
- [16] <http://beagleboard.org/>
- [17] Beaglebone System Reference Manual Rev A6.0.0
- [18] www.ti.com : AM335x ARM Cortex-A8 Microprocessors (MPUs) – Technical Reference Manual – Revised June 2012
- [19] <http://pandaboard.org/>
- [20] OMAP 4 PandaBoard System Reference Manual Rev. 0.4
- [21] DIY Wearable Technology, Hannah Perner-Wilson, Mika Satomi, ISEA 2009
Wearable Materialities Panel
<http://web.media.mit.edu/~plusea/downloads/papers/DIYWearableTec.pdf>
- [22] Capacitive Sensors Design and Applications – Larry K. Baxter
ISBN:0-7803-5351-X
- [23] Taschenbuch der Messtechnik – Jörg Hoffmann 4. Auflage
- [24] <http://ndea.jpl.nasa.gov/nasa-nde/lommas/eap/EAP-web.htm> – Electroactive Polymers as artificial muscles
- [25] Electro-active polymers: current capabilities and challenges, Yoseph Bar-Cohen, 2002, Proceedings of the SPIE Smart Structures and Materials Symposium
- [26] Micro artificial muscle fiber using NiTi spring for soft robotics, 2009, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems
- [27] www.dynalloy.com