

Arduino-Projektplattform mit Lötbausatz für Selbstbauprojekte – Teil 1

Reinhard Noll, DF1RN

Der eigenständige Aufbau elektronischer Schaltungen, deren praktische Erprobung und Nutzung bietet Jugendlichen und Erwachsenen eine besondere Motivation sich mit Fragen der Technik und Physik zu beschäftigen. Bausätze für solche Schaltungen sind in großer Vielfalt in den Ortsverbänden des DARC e.V. entwickelt und eingesetzt worden, um insbesondere Selbstbauprojekte mit Jugendlichen durchzuführen und diese an das Thema Amateurfunk heranzuführen. Auch schon erfahrenere Funkamateure haben Interesse und Freude an diesen Projekten zum Selbstbau.

Im Ortsverband Aachen, G01, haben wir seit mehr als 10 Jahren regelmäßig solche Selbstbauprojekte mit Bausätzen durchgeführt. Wesentlich hat dazu unser langjähriges Vereinsmitglied Ludwig Hoenen, DG2KHL, beigetragen, der mit unermüdlichem Einsatz verschiedene Bausätze erprobt (von gemeinnützigen und kommerziellen Anbietern, publizierte Bausatzvorschläge), Schaltungen entwickelt und verbessert, Prototypen aufgebaut und schließlich auch die Bausätze für die Selbstbauprojekte unseres OV zusammengestellt hat. Holzarbeiten gehörten auch oft dazu, um die aufgebauten Komponenten stabil zu montieren und auch optisch ein ansprechendes Projektergebnis zu erzielen.

Die untere Altersgrenze der Zielgruppe war bei ca. 11 Jahren angesetzt und einschließlich Einführung in das Löten sollte alles innerhalb von ca. 2,5 Stunden durchgeführt werden können. Beispiele solcher Projekte zeigt Bild 1. Besonders großer Resonanz erfreute sich u.a. der MP3-Stereoverstärker [1] und das UKW-Vintage Radio.



Bild 1: Beispiele für Selbstbauprojekte des OV Aachen, G01, aus den Jahren 2008 bis 2016

An dieser Stelle möchte ich Ludwig für sein Engagement herzlich danken und dafür, dass er mich in dieses Aufgabenfeld eingeführt hat und dass wir so viele Jahre gemeinsam daran in bester Abstimmung mit großem Erfolg arbeiten konnten.

Bei den Planungen eines neuen Projekts für das Jahr 2017 kam mir der Gedanke, dass wir von dem eher solitären Charakter der bisherigen Bausatzkonzepte weggehen könnten und versuchen sollten, eine *Projektplattform* zu etablieren, die einerseits einen Einstieg in die Digitaltechnik ermöglicht und es andererseits erlaubt, immer wieder neue Lötprojekte damit zu kombinieren.

Da sich Ludwig und ich schon Jahre zuvor mit dem Physical-Computing-System Arduino befasst hatten [2, 3, 4], fiel die Entscheidung für den Digitalteil der Projektplattform auf das Microcontroller-Board *Arduino Uno* mit dem Prozessor 328P von Atmega. Das Modell Uno bietet den Vorteil, dass eine Zusatzplatine (ein sogenanntes Shield) mit einer zweizeiligen

Flüssigkristallanzeige (LCD) direkt aufgesteckt werden kann ohne dass weitere Leitungsverbindungen dafür herzustellen sind [5]. Das Arduino Uno-Board hat darüberhinaus inzwischen eine sehr weite Verbreitung gefunden, sodass viele Marktteilnehmer diese Boards auch zu sehr günstigen Preisen anbieten.

Ziele

Folgende Ziele möchten wir mit der neuen Projektplattform und dem damit kombinierbaren Lötprojekt als Bausatz erreichen:

- Durch Selbstbau bei Jugendlichen und Erwachsenen Interesse für Technik und Naturwissenschaften wecken,
- Einstieg in die Praxis des Aufbaus elektronischer Schaltungen; Umgang mit LötKolben, Lötzinn, Werkzeugen,
- Einstieg in die Nutzung einfacher Einplatinen-Microcontroller, die mit einem Personalcomputer per USB-Leitung verbunden und mit einer frei verfügbaren Entwicklungsumgebung programmiert werden können,
- Gewinnung von Erfahrungen mit Betrieb und Nutzung der selbst aufgebauten Schaltungen und der entwickelten Programme,
- Anregungen zur eigenständigen Weiterführung der Selbstbauprojekte mit der Arduino-Projektplattform,
- neue Akteure für Amateurfunk und den DARC e.V. gewinnen.

Um die finanzielle Einstiegsschwelle niedrig zu halten, haben wir als Zielgrößen für den Kostenbeitrag der Teilnehmer für die Projektplattform 20,- € und für den Lötbausatz 5,- € angesetzt. Im Idealfall sollen die Projekte kostendeckend durchgeführt werden können.

Die Projektplattform soll so gestaltet werden, dass diese nur einmal von den Teilnehmern zu erwerben ist und dann für weitere Folgeveranstaltungen mit neuen Lötbausätzen wieder verwendet werden kann. Durch die Kompatibilität der Projektplattform für nachfolgende Lötprojekte sollen die Teilnehmer auch für mehr als eine Selbstbauaktion gewonnen werden können. Das war bei dem bisherigen Bausatzkonzept nicht oder doch nur sehr begrenzt der Fall.

Die Bearbeitung eines Lötbausatzes, seine Inbetriebnahme und Verbindung mit der Projektplattform einschließlich Einführungsvorträgen – zum Bausatz, zur Plattform, zur Programmierung – sowie praktische Löt- und Aufbauanleitungen erfordern allerdings deutlich mehr Zeit als dies bei den bisherigen Veranstaltungen unseres OV der Fall war. Für den zeitlichen Rahmen – ohne Pausen – ist in Summe von ca. fünfeinhalb Stunden auszugehen, die wir vorzugsweise auf Vor- und Nachmittag eines Samstags aufgeteilt haben.

Konzept der Arduino-Projektplattform

Die Projektplattform soll die stabile Montage eines Arduino-Uno-Boards, eines Halters für eine 9 V Blockbatterie als Spannungsversorgung sowie von vier Bedienelementen ermöglichen. Bild 2 zeigt den gewählten Aufbau. Auf einer Grundplatte aus Sperrholz befinden sich links das Arduino-Board und dahinter der Batteriehalter. Diese Bauteile sind mit Schrauben an der Grundplatte befestigt. Das Arduino-Board ist so orientiert, dass die Hohlsteckerbuchse und die USB-Buchse nach links zum Rand der Grundplatte hin zeigen, um eine gute Zugänglichkeit zu gewährleisten. Damit ist auch sichergestellt, dass die gegebenenfalls später aufzusteckende LCD-Anzeige (eine Aufsteckplatine, engl. *Shield*) die richtige Orientierung zur Frontseite der Plattform hat.

An der Frontplatte sind vier Bedienelemente installiert (v.l.n.r.): Ein-/Ausschalter, zwei Taster, ein Potentiometer. Die vier Schrauben rechts vom Arduino-Board sind für die spätere Montage der Lötplatine des Bausatzes vorgesehen, die dann über Steckverbindungen mit dem Arduino-Uno-Board und den Bedienelementen elektrisch verbunden wird. Die Platinengröße und der Lochabstand werden für alle Lötbausätze immer gleich gewählt, damit an der Projektplattform selbst keine mechanischen Änderungen vorgenommen werden müssen, wenn

eine neue Platine mit der Projektplattform verbunden wird. Bild 3 zeigt beispielhaft drei von uns entwickelte bestückte Lötplatinen, die mit der Plattform kombiniert werden können.

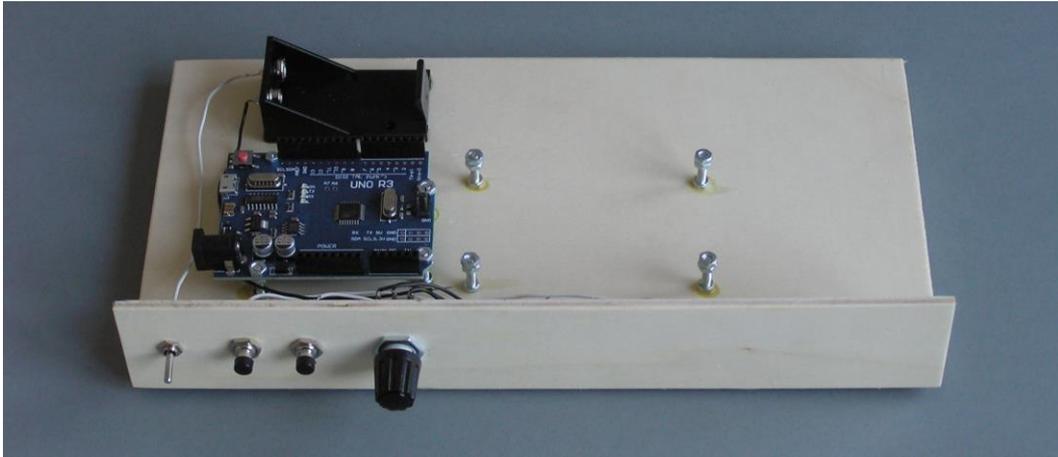


Bild 2: Arduino-Projektplattform des OV Aachen G01, die seit 2017 für Selbstbauprojekte unseres OV eingesetzt wird. Abmessungen der Grundplatte: 250 x 130 x 7 mm³

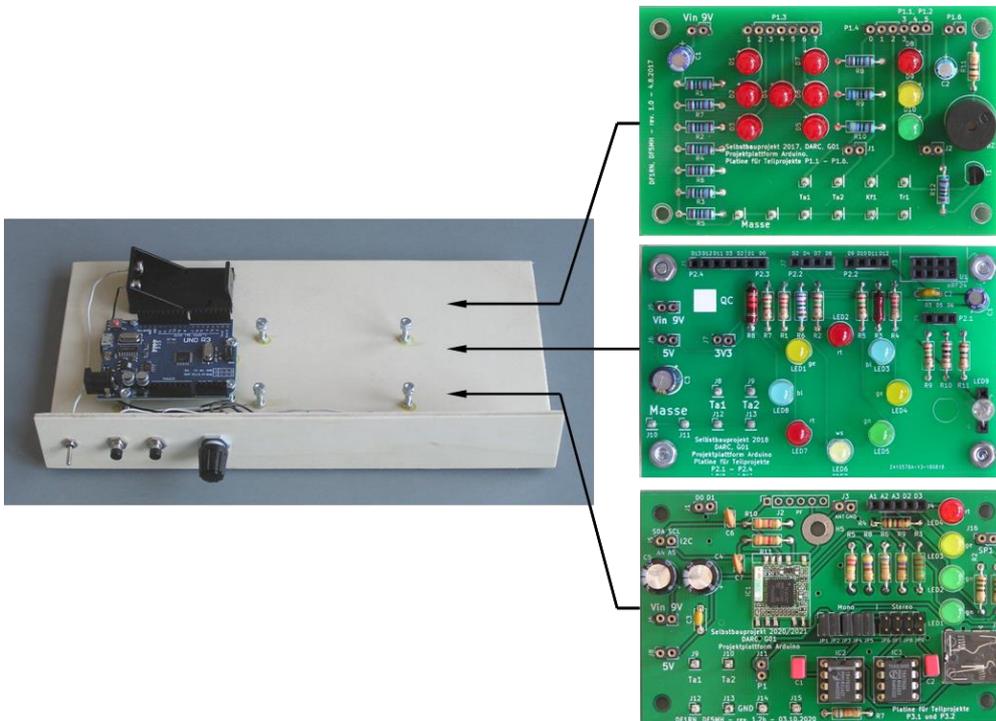


Bild 3: Kombinierbarkeit der Arduino-Projektplattform (links) mit verschiedenen Lötplatinen der vom OV Aachen entwickelten Bausätze (rechts)

Bild 4 zeigt exemplarisch ein Arduino-Uno-Board mit Bezeichnungen verschiedener Funktionseinheiten. Die Abmessungen des Boards betragen 68,6 x 53,3 mm². Am oberen und unteren Platinenrand befinden sich Buchsenleisten mit denen ein Shield auf das Board aufgesteckt werden kann. In diese Buchsenleisten können ebenso Klingeldrähte (Drahtdurchmesser 0,6 mm) eingesteckt werden.

Der USB-Anschluss der in Bild 4 gezeigten Version eines Arduino-Uno-Boards (links oben), ist eine micro-USB-Buchse. Bei dieser Buchsenart hat sich jedoch gezeigt, dass diese nach einigen Steckvorgängen u.U. nicht mehr hinreichend mechanisch stabil ist und Fehlverbindungen auftreten oder sich die Buchse teilweise vom Board löst. Wir haben daher bei den letzten Auflagen der Projektplattformen immer Arduino-Uno-Boards mit USB-B-Buchsen verwendet, die mechanisch deutlich stabiler sind.

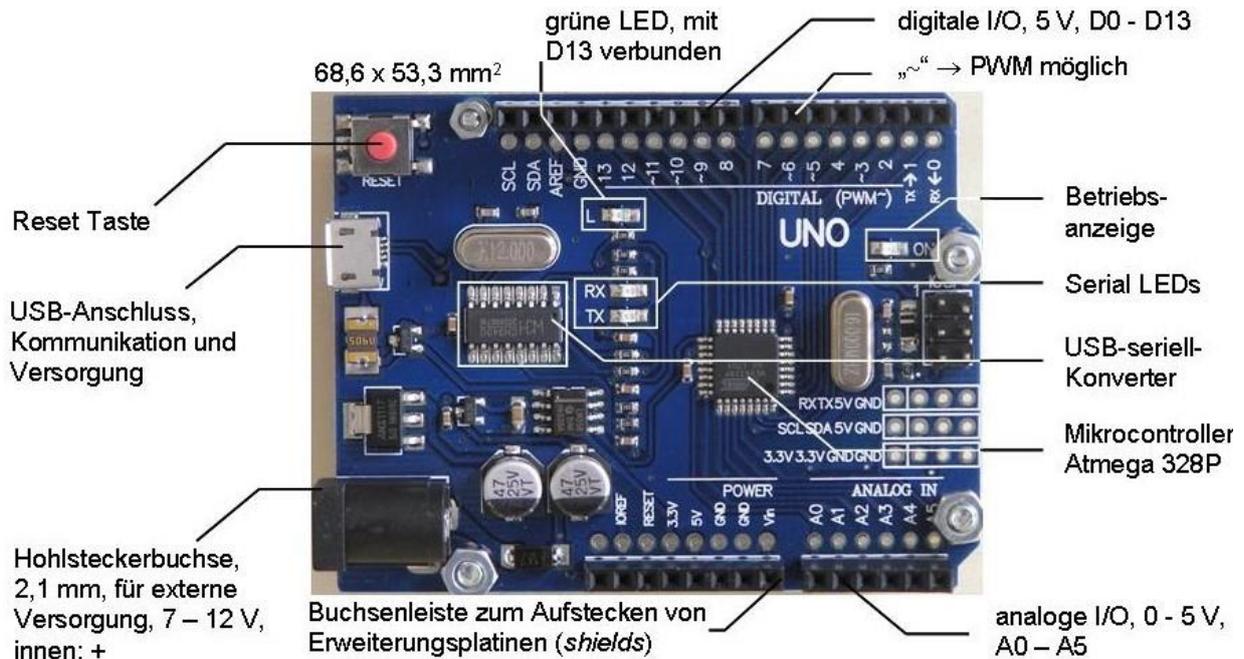


Bild 4: Arduino-Uno-Board. I/O Ein-/Ausgänge, PWM Pulsweitenmodulation, D0-D13 digitale I/O, , A0-A5 analoge I/O

Die Marktpreise des Arduino-Uno-Boards liegen zwischen 2,70 € und 12,60 € pro Stück [5, 6]. Bei Anbietern aus Fernost haben wir im Herbst 2021 fünfzig Boards zu einem Preis < 3,- € pro Stück eingekauft. Die Boards sind in der Regel von sehr guter Qualität und bei einer Gesamtcharge von 100 Boards ist höchstens von 1 bis 2 Boards auszugehen, die nicht einwandfrei funktionieren.

In der einfachsten Form sind die Projektplattformen – wie in Bild 2 dargestellt – nur mit dem Arduino-Uno-Board ohne ein Shield ausgestattet. Als sinnvolle Erweiterungsmöglichkeit haben wir uns für eine auf das Arduino-Uno-Board aufsteckbare zweizeilige Flüssigkristall-Anzeige entschieden, siehe Bild 5 [5]. Damit haben wir eine Anzeigemöglichkeit für alphanumerische Zeichen oder Balkendarstellungen geschaffen, die gut für die geplanten Lötprojekte eingesetzt werden kann und die Funktionalität der Bausätze erheblich erweitert. Die zusätzlichen Taster auf dem Shield – am unteren Rand der Platine in Bild 5 zu sehen – bieten weitere Bedien- und Eingabemöglichkeiten. Um nicht zu viele digitale I/O-Anschlüsse des Arduino-Uno-Boards zu belegen, nutzen diese sechs Taster nur einen analogen I/O-Anschluss (A0).

Diese Anzeigeeinheit wird unter der Bezeichnung *LCD Keypad Shield* angeboten. Bei Bestellungen >20 Stück gehen die Preise herunter bis zu ca. 3,- €/Stk.

Durch das Aufstecken des LCD-Shields sind die Buchsenleisten des Arduino-Uno-Boards nicht mehr direkt zugänglich. Ein Teil der Anschlüsse des Arduino-Uno-Boards wird für die Versorgung und die Ansteuerung des LCDs verwendet. Die noch freien Ein-/Ausgänge des Arduino-Uno-Boards werden durchgeschleift und zu Lötstellen auf der Platine des Shields geführt. In diese haben wir Buchsenleisten eingelötet, um wieder Steckverbindungen mit Klingeldrahtleitungen zwischen Shield, Projektplattform und Lötplatine des Bausatzes zu ermöglichen. Am oberen rechten Rand des Keypad-Shields ist dies eine 7-polige Buchsenleiste, unten eine 6-polige und rechts daneben eine 5-polige, siehe Bild 5 (der Analogport A0 fehlt, da dieser durch die Taster auf dem Shield belegt ist).

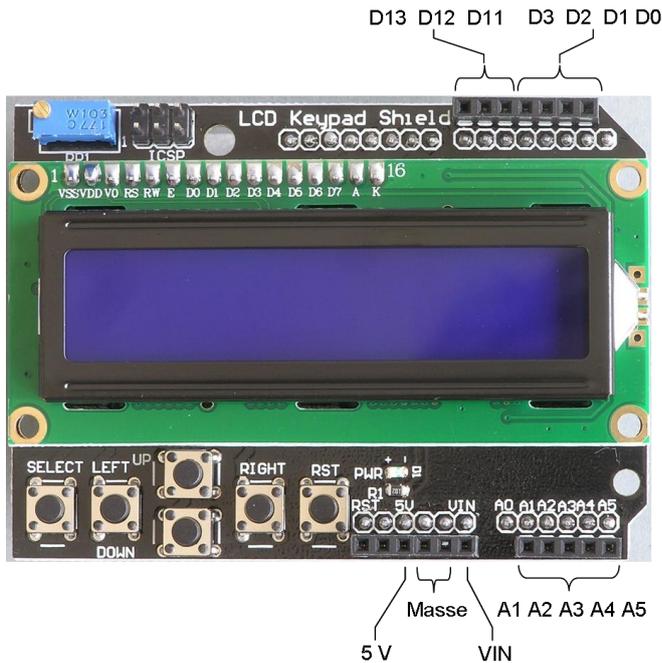


Bild 5: LCD-Keypad-Shield mit einer zweizeiligen Flüssigkristallanzeige und sechs Tastern (unten links, Bezeichnungen: select, left, up, down, right; RST). Die für die Kombination mit der Projektplattform und der Lötplatine verwendbaren Anschlüsse der aufgelöteten Buchsenleisten sind: D0-D3, D11-D13, A1-A5, 5 V, Masse (zweimal), VIN. RST reset, VIN Versorgungsspannung

Aufbau der Arduino-Projektplattformen

Die Projektplattformen haben wir in unserem OV für die ersten Projekte in einer Auflage von 25 oder 50 Stück selbst hergestellt, montiert und verdrahtet, sodass diese am Projekttag fertig bereit stehen. Das ist natürlich nur durch ein großes Team des OV zu leisten, da die Erstellung der Plattformen viele einzelne Arbeitsschritte erfordert (Holzzuschnitt, Bohrungen in Grund- und Frontplatte, Verleimung der Frontplatte; Montage der Bedienelemente, des Arduino-Uno-Boards, des Batteriehalters; Verdrahtung, Klebefüße unter der Grundplatte).

Bei unseren Selbstbauprojekten in 2021 haben wir – alternativ zu dieser Vorgehensweise – die weiterführenden Schulen, an denen die Veranstaltung stattfinden sollte, intensiv in die Vorbereitungen mit eingebunden. Pläne, Bohrschablonen, Montagehilfsmittel, Bauteile wurden von uns bereitgestellt und die Schule hat unter Leitung des Kontaktlehrers, die Arduino-Projektplattformen selbstständig aufgebaut. Auf diese Weise werden Schule, Schüler und Lehrer schon Wochen vor dem Projekttag aktiviert und setzen sich intensiv mit dem geplanten Projekt auseinander. Bild 6 zeigt beispielhaft ein von einer Schule hergestelltes Los von 20 Arduino-Projektplattformen [8].

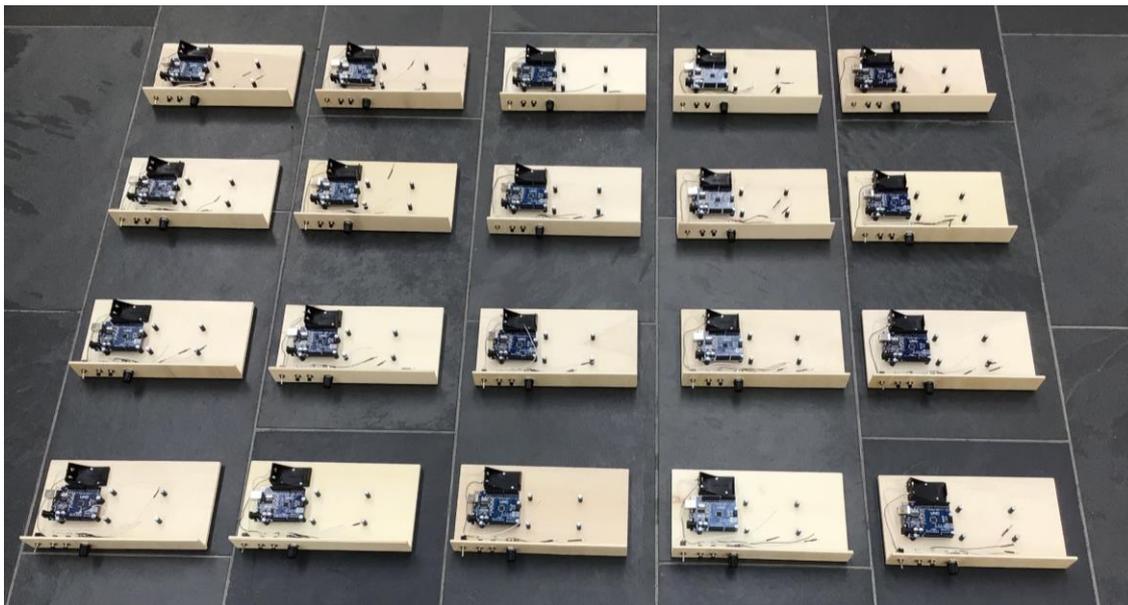


Bild 6: Zwanzig Arduino-Projektplattformen, die von der kooperierenden Schule aufgebaut wurden [8]

Erster Prototyp für einen Lötbausatz kombiniert mit der Arduino-Projektplattform

Während die bisherigen Lötprojekte – vgl. Bild 1 – im wesentlichen lediglich eine fest verdrahtete Funktion ermöglichen, bietet sich durch die Kombination einer Lötplatine mit der Arduino-Projektplattform nun erstmals die Möglichkeit, mehrere verschiedene Funktionen – diesmal per Software gesteuert – zu realisieren. Damit sind unterschiedliche Teilprojekte mit einer Lötplatine eines Bausatzes umsetzbar. Diesen Ansatz haben wir bei der Planung unseres ersten Lötbausatzes für die neue Projektplattform verfolgt. Bild 7 zeigt die Schaltung mit insgesamt neun Leuchtdioden, einem Transistor, einem Piezo-Summer (Buzzer), Widerständen und Kondensatoren. Den Transistor hatten wir vorsorglich gewählt, um bei Bedarf auch direkt über die Versorgungsspannung von 9 V eine externe Last ansteuern zu können. Die mit strichpunktierten Linien markierten Funktionsblöcke zeigen die verschiedenen Teilprojekte (Bezeichnung: P1.1 bis P1.6. Die erste Ziffer steht für das erste Projekt mit der Projektplattform, die zweite Ziffer nach dem Punkt nummeriert die zugehörigen Teilprojekte). Die Verbindungen zwischen den Funktionsblöcken, dem Arduino-Uno-Board und der Plattform sind mit Klingeldrahtleitungen steckbar ausgeführt.

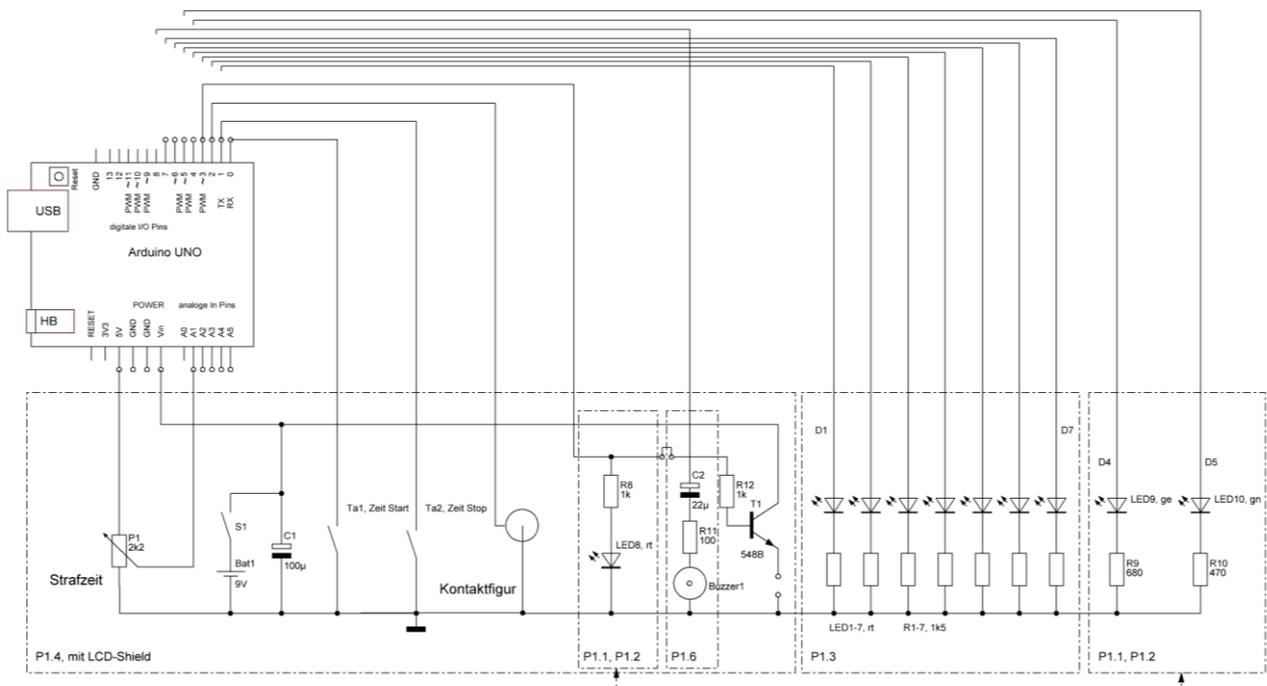


Bild 7: Schaltbild für die Lötplatine mit den Teilprojekten P1.1 bis P1.6

Die mit dieser Schaltung und entsprechenden Softwareprogrammen umsetzbaren Teilprojekte und deren Funktionen fasst Tabelle 1 zusammen.

Tab. 1: Übersicht der Teilprojekte (P1.1–P1.6) des ersten Prototyps der Arduino-Projektplattform mit einer Lötplatine. o.S ohne aufgestecktes KeyPad-Shield, m.S mit aufgestecktem KeyPad-Shield, Pz Programmzeilen (ohne Kommentarzeilen)

Teilprojekt	Bezeichnung	Konfiguration	Funktionen	Bemerkung
P1.1	blinkende LEDs	o.S	eine rote LED blinkt (ein: 1 s, aus: 1 s)	einfachste Schaltung, ein digitaler Ausgang; einfacher Programmcode als Einstieg; 10 Pz
P1.2	Ampelsteuerung	o.S	rote, grüne und gelbe LEDs leuchten in einer Abfolge, wie bei einer Verkehrsampel	drei digitale Ausgänge, komplexerer Zeitablauf; 22 Pz
P1.3	elektronischer Würfel [3]	o.S	durch Drücken des Tasters Ta1 wird ein elektronischer Wurf ausgelöst, durch LEDs angezeigte Augenzahl läuft mit langsamer werdender Ge-	Ansteuerung von sieben roten LEDs, Erzeugung einer Zufallsfolge durch Einlesen des offenen gelassenen Analogeingangs A0; 56 Pz

			schwindigkeit durch und bleibt schließlich stehen	
P1.4	heißer Draht [9]	m.S	Heißer Draht mit Zeitmessung und über Potentiometer einstellbaren Strafzeiten pro Berührung. Start und Stop des Spiels über die Taster Ta1, Ta2; Anzeige der Spielzeit und der Strafzeiten.	Einbindung des LCD-Shields, Ausgabe von Spielkommandos auf der Anzeige, Einstellung der Strafzeit über das Potentiometer P1, Zeitmessung, Tonerzeugung, Anzeige der Spielzeit und der Strafzeiten; 99 Pz
P1.5	Stoppuhr [10]	m.S	Stoppuhr, die über die Select-Taste auf dem LCD-Shield gestartet und gestoppt wird; Anzeige der Zeit im Format Stunden-Minuten-Sekunden	Einlesen des Select-Tasters, Entprellen des Tasters, Berechnen der abgelaufenen Zeit; 98 Pz
P1.6	Melodie	o.S	Nach dem Einschalten wird eine Melodie in zwei Abschnitten über den Piezosummer wie-dergegeben und zwei LEDs leuchten im Takt	Definition chromatischer Töne zwischen 261 Hz und 880 Hz, Ansteuerung des Piezosummers; 112 Pz

Die Schaltung nach Bild 7 wurde zunächst auf einem Steckbrett aufgebaut und optimiert (Leuchtstärke der LEDs, Lautstärke des Buzzers, Stromverbrauch). Im nächsten Schritt wurde als Prototyp für die Lötplatine des zu erstellenden Bausatzes eine Lochrasterplatine mit dem Programm *Lochmaster* entworfen [11], siehe Bild 8. Die ausgewählten Bauteile sind alle bedrahtet, um den späteren Bausatzaufbau zu erleichtern.

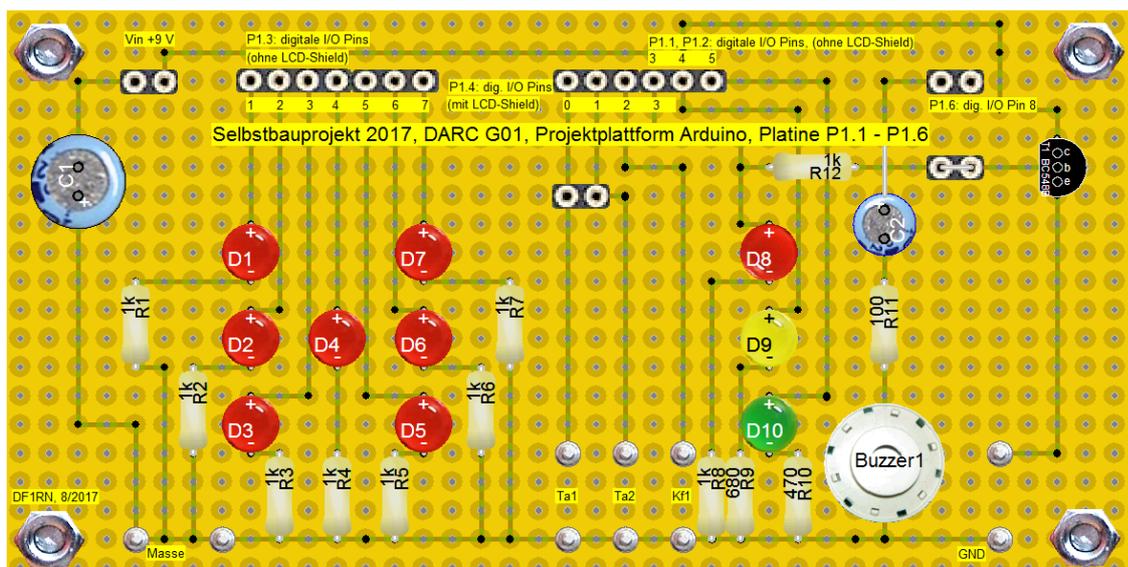


Bild 8: Lochrasterplatine für Schaltung nach Bild 7 mit den Teilprojekte P1.1 bis P1.6 (vgl. Tab. 1)

Für die Steckverbindungen zwischen der Lötplatine und dem Arduino-Uno-Board bzw. dem LCD-Shield haben wir Buchsenleisten (siehe oberer Platinenrand in Bild 8) und Lötnägel (unterer Platinenrand; für Masse, Anschluss der Taster, externe Kontaktfigur für P1.4) gewählt. In die Buchsenleisten können die am Ende abisolierten Klingeldrahtleitungen eingesteckt werden. Den in Bild 8 dargestellten Typ der Buchsenleiste haben wir bei den Folgeprojekten jedoch meist nicht mehr verwendet, da die Einstecktiefe der Drahtenden bei diesem Typ recht kurz ist (ca. 4,5 mm) und daher die Gefahr besteht, dass sich Steckverbindungen durch Erschütterungen oder andere Krafteinwirkungen unbeabsichtigt lösen können. Für Buchsen mit mehr als zwei Polen haben wir daher einen Typ gewählt, bei dem die Steckverbindung mit einer Einstecktiefe von 7 mm deutlich stabiler ist [12].

Auf die Lötnägel werden Klingeldrahtleitungen mit Lötösen gesteckt. Vorzugsweise sind das Verbindungen zu den Bedienelementen der Arduino-Projektplattform (Taster, Potentiometer an der Frontplatte) sowie Masseleitungen zum Arduino-Uno-Board oder LCD-Shield. Durch die zwei Arten von Steckverbindungen können Verwechslungen beim Aufbau besser vermieden werden.

Bild 9 zeigt den ersten Prototyp der Arduino-Projektplattform mit der Lochrasterplatine. Zu sehen sind die Steckverbindungen für das Teilprojekt P1.4 (insgesamt 11 Stück von der Lötplatine ausgehend).

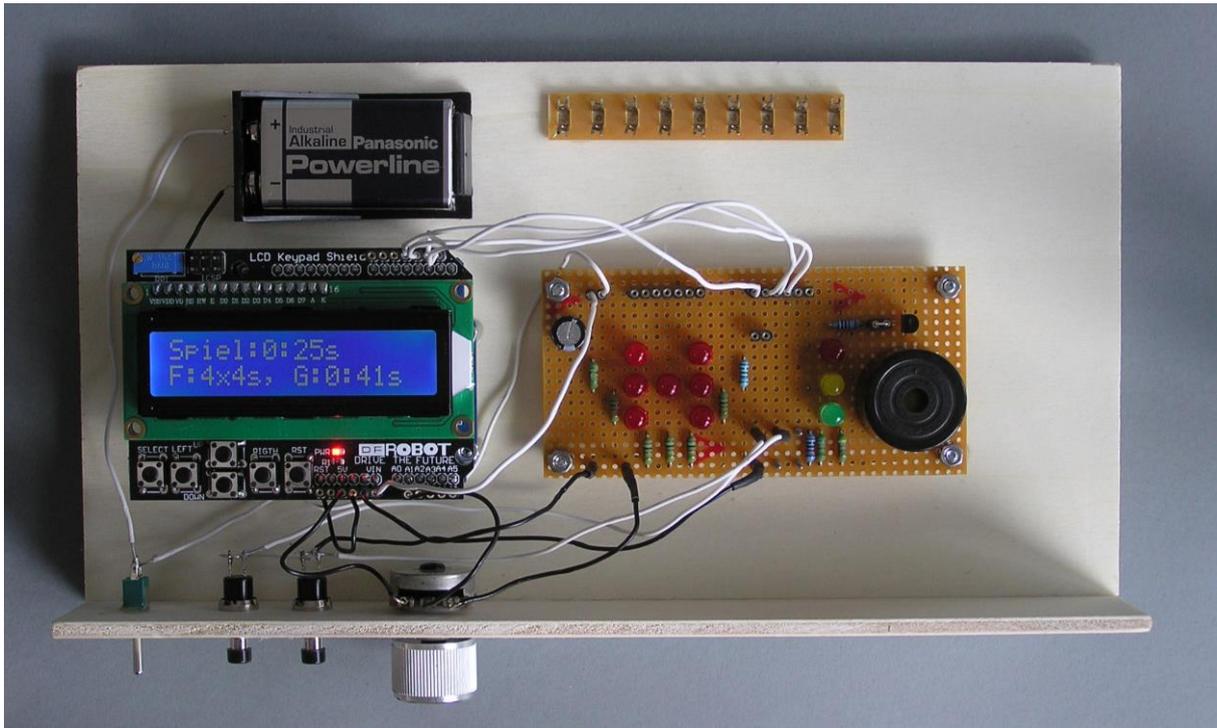


Bild 9: Erster Prototyp der Arduino-Projektplattform mit Lochrasterplatine für die Teilprojekte P1.1 bis P1.6. Hier ist das LCD-Shield auf dem Arduino-Unc aufgesteckt und eine beispielhafte Anzeige für das Teilprojekt P1.4, heißer Draht, ist zu sehen: die Spieldauer betrug 25 s, insgesamt viermal wurde ein Kontakt hergestellt ("F: 4x"), der mit jeweils 4 s Strafzeit belegt wurde, so dass in Summe eine Gesamtzeit von 41 s (= 25 s + 16 s) resultiert (die Kontaktfigur ist in diesem Bild nicht dargestellt).

Nachdem erfolgreichen Test des Prototypaufbaus haben wir mit der Software *KiCad* eine Lötplatine entworfen, siehe Bild 10 [13]. Besonderen Dank gebührt hier Moritz Holtz, DF5MH, der die Layoutarbeiten übernommen hat. Durch eine optimierte Bauteilanzordnung konnten die Maße der Platine gegenüber dem Lochraster-Prototyp auf 83,8 x 53,3 mm² verringert werden. Die Aufdrucke auf der Platine zeigen sowohl die Bauteilkurzbezeichnungen als auch die Steckplätze für die Teilprojekte, die Bedienelemente (Ta1, Ta2) und periphere Bauteile (Kf1 Kontaktfigur, Tr1 externe Last am Transistor T1).

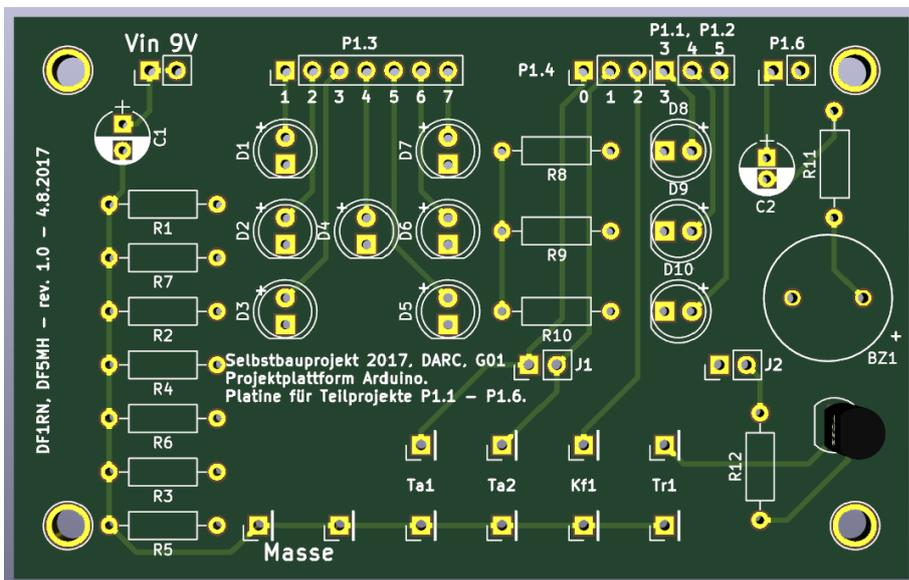


Bild 10: Lötplatine für die Teilprojekte P1.1- P1.6, Selbstbauprojekt 2017 des OV G01, Aachen

Das Arbeitsprogramm für den Projekttag haben wir so gegliedert:

Teil A (2.5 Std., Vormittag; 9:30 h - 12:00 h)

- 1) Einführung in das Löten
- 2) Kennenlernen der Bauteile: Kondensator, LED, Widerstände, Transistor, Piezo-Summer
- 3) Bestückung der Platine
- 4) Prüfung der aufgebauten Schaltungen

Teil B (2.5 Std., Nachmittag; 13:00 h - 15:30 h)

- 5) Einführung in Arduino Uno, IDE (Arduino Software, Entwicklungsumgebung)
- 6) Teilprojekt P1.1 - Blinkende LEDs
- 7) Teilprojekt P1.2 - Ampelsteuerung
- 8) Teilprojekt P1.3 - Elektronischer Würfel
- 9) Teilprojekt P1.4 - Heißer Draht
- 10) Teilprojekt P1.5 - Stoppuhr
- 11) Teilprojekt P1.6 - Melodie
- 12) Diskussion, Anregungen der Teilnehmer

Für den Projekttag stehen die fertigen Projektplattformen sowie die Bausätze mit den Lötplatten bereit. Jeder Teilnehmer erhält eine ausführliche bebilderte Anleitung (6-8 S.). In dieser wird die Bestückung der Platine in einzelnen Aufbausritten sowie die Leitungsverbindungen zwischen der Lötplatte und der Projektplattform beschrieben. Stückliste, Schaltplan und eine den Teilprojekten zugeordnete Liste der jeweiligen Steckverbindungen vervollständigen die Anleitung. Bild 13 zeigt ein Foto aus dieser Anleitung zu den Bauteilen des Bausatzes.

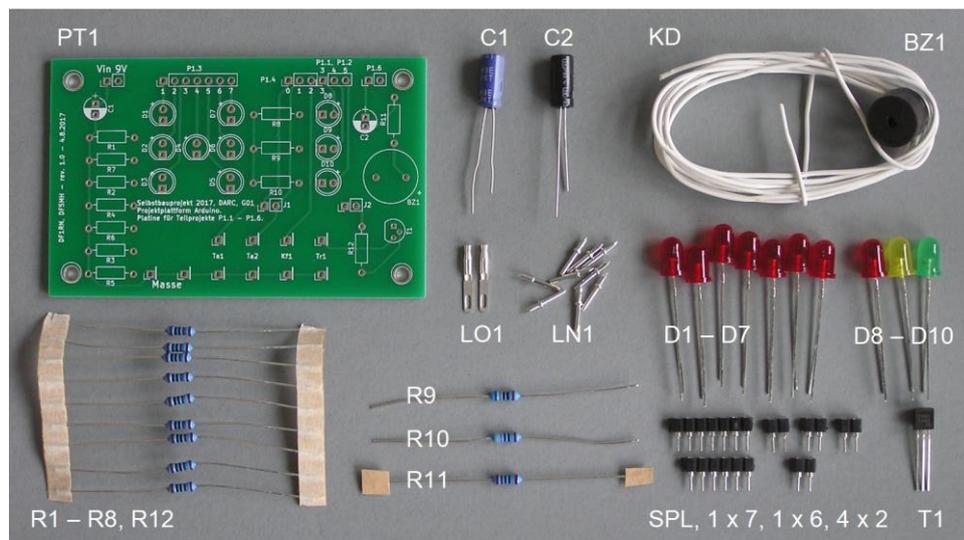


Bild 13: Foto der Bauteile des Bausatzes für die Arduino-Projektplattform mit den Teilprojekten P1.1 bis P1.6 aus der Aufbauanleitung

Bild 14 zeigt beispielhaft den Plan für die Steckverbindungen zum Teilprojekt P1.4, Heißer Draht.

zu vereinfachen und z.B. das mehrfache Übertragen von Programmen für die Teilprojekte zu vermeiden.

Selbstbauprojekte dieses Formats beruhen auf der engagierten Mitwirkung eines ganzen Teams hochmotivierter OMs, denen mein besonderer Dank gilt und die für das hier vorgestellte Projekt (aus 2017) aufgeführt werden sollen (alphabetisch): Günter Berard, DK6KG; Uli Hacker, DK2BJ; Ludwig Hoenen, DG2KHL; Moritz Holtz, DF5MH; Manfred Jost, DH0KAI; Thomas Kern, DG1KTS; Jan Löschner, DB2KC; Johannes Noll, SWL; Norbert Raußen, DK5WO; Hans Jürgen Riehl, DH1KAE.

(wird fortgesetzt)

Aachen, 23.1.2022, Reinhard Noll, DF1RN

Bezugsdokumente

- [1] R. Noll, MP3-Stereoverstärker, CQ DL, 7-2017, 30-31
- [2] M. Banzl, Arduino für Einsteiger, O'Reilly, 2012, 122 S.
- [3] S. Monk, 30 Arduino projects for the evil genius, 2nd edition, McGraw Hill Education, 2013, ISBN 978-0-07-181772-1
- [4] R. Noll, HF/NF-Tastkopf mit Arduino, Funkamateurliga 9/17, 840-842
- [5] www.DFRobot.com, Arduino Shield Manual, Vers. 1.4, 2010, LCD & KeyPad Shield, p. 8-12
- [6] fernöstliche Anbieter über die Internet-Plattform aliexpress
- [7] www.reichelt.de, Katalog 01/2022, S. 770, Arduino kompatibles Uno R3 Board;
- [8] Inda Gymnasium Aachen, Foto: Markus Schmitz, 11/2021
- [9] <http://www.kreativekiste.de/elektro/dem-heissen-draht-auf-der-spur>, Timo Denk, Nov. 2014; hier angepasst auf zweizeilige Flüssigkristallanzeige ohne I2C-System sowie Ansteuerung eines Buzzers ohne eingebaute Elektronik
- [10] Standalone Arduino StopWatch, M. Conor, 11.5.2015; modified by Elac, 12.5.2015
- [11] Abacom Ingenieurgesellschaft, Programm Loch Master, Ver. 3.0
- [12] www.reichelt.de, z.B. die fünf-polige Buchsenleiste MPE 094-1-005
- [13] www.kicad.org, KiCad EDA - A cross platform and open source electronics design automation suite