

Arduino-Projektplattform mit Lötbausatz für Selbstbauprojekte – Teil 2

Reinhard Noll, DF1RN

In Teil 1 (CQ DL 4/2022) hatten wir Ziele, Konzept und Aufbau der Arduino-Projektplattform vorgestellt sowie einen ersten dafür entwickelten Lötbausatz. Im zweiten Teil soll ein weiterer Lötbausatz für diese Plattform beschrieben werden. Dieser umfasst vier Teilprojekte u.a. eines für die Übertragung und Anzeige kurzer Textnachrichten über eine 2,4 GHz-Funkverbindung zwischen zwei Arduino-Projektplattformen.

Lötbausatz mit Stimmungslicht, LED-Roulette, Zahlenratespiel und Funkverbindung

Mit dem zweiten Lötbausatz haben wir die Idee verfolgt einerseits wieder einfachere Funktionen umzusetzen, die neuen Teilnehmern einen Einstieg ermöglichen und andererseits auch komplexe Funktionen zu realisieren, die das große Potential der Mikrocontrollerprogrammierung in Kombination mit einer Lötplatine aufzeigen. Was lag dafür näher als damit auch den direkten Bezug zum Amateurfunk herzustellen und eine Funkverbindung zwischen zwei Arduino-Projektplattformen aufzubauen. Das soll fortgeschrittene Teilnehmer ermuntern, tiefer in das Thema einzusteigen, auch wenn der Projekttag selbst dazu nur einen ersten Impuls geben kann.

Bild 15 zeigt die Schaltung des zweiten Lötbausatzes. Dieser ist in vier Teilprojekte gegliedert: P2.1 – Stimmungslicht mit RGB-LED, P2.2 – LED-Roulette, P2.3 – Zahlenratespiel mit LCD-Anzeige (LCD Keypad Shield, s. Teil 1), P2.4 – Funkverbindung zwischen zwei Arduino-Projektplattformen bei 2,4 GHz zur Übertragung kurzer Textnachrichten mit LCD. Die Funktionseinheiten auf der Platine für die Teilprojekte P2.1, P2.2 und P2.4 sind als punkt-strichlierte Blöcke in Bild 15 markiert. Tabelle 2 gibt eine Übersicht der einzelnen Funktionen.

Die RGB-LED hat eine gemeinsame Anode und drei Kathodenanschlüsse für die Farben rot (R), grün (G) und blau (B) [14]. Für das Roulette werden LEDs verschiedener Farben verwendet: gelb, rot, blau, weiß und grün. Um den subjektiven Helligkeitseindruck der insgesamt acht LEDs in etwa zu vergleichmäßigen, haben wir dafür verschiedene Vorwiderstände gewählt, die zwischen 150 Ω und 22 k Ω variieren. Die Ströme durch die LEDs überstreichen mehr als zwei Größenordnungen von 0,114 mA (weiße LED) bis 18,7 mA (grüne LED). Die roten LEDs erscheinen etwas dunkler als die anderen, von daher könnte deren Vorwiderstand noch etwas kleiner gewählt werden, wir haben diesen jedoch bei 150 Ω belassen, um im Kurzschlussfall (Lötbrücke) nicht den betreffenden Arduino-Ausgang zu beschädigen.

Für das Teilprojekt P2.4 wird das Funkmodul nRF24L01 [15] über sieben Verbindungsleitungen angeschlossen. Das Funkmodul basiert auf einem 2,4 GHz-Transceiver-Chip für den Betrieb im ISM-Band [16]. Es wird mit 3,3 V vom Arduino-Uno-Board versorgt und kommuniziert über die SPI-Schnittstelle (Serial Peripheral Interface) [17]. Bild 16 zeigt eine Detailaufnahme dieses Moduls. Die Leitung CE (chip enable) wird auf den Digitaleingang D3 geführt, CSN (chip select) auf D2 (zur Lage der Digitaleingänge auf dem LCD-Keypad-Shield siehe Teil 1, Bild 5). Im Arduino-Programm sind für die Ansteuerung des Funkmoduls die Bibliotheken <SPI.h>, <nRF24L01.h> und <RF24I.h> einzubinden.

Die Abmessungen der Platine des Funkmoduls betragen 40 mm x 15 mm. In der linken Hälfte ist der Chip nRF24L01 zu sehen. Seine maximale HF-Leistung beträgt 0 dBm im Frequenzbereich zwischen 2400 und 2525 GHz [16]. Diese kann in Stufen auf -6, -12 und -18 dBm reduziert werden. Diesem IC folgt in der rechten Bildhälfte der Chip RFX2401C, ein sogenannter RFelC – RF front-end integrated circuit – mit einer Send-/Empfangsumschaltung und einem HF-Verstärker [18]. Die Verstärkung beträgt 25 dB und die maximale HF-Ausgangsleistung ist 22 dBm (\approx 160 mW). Die Marktpreise dieses Funkmoduls inkl. Antenne (mit Knickgelenk, Gesamlänge 108 mm) liegen bei ca. 2,- € (stückzahlabhängig).

Die Verbindungen von den Funktionseinheiten auf der Platine zum Arduino-Uno-Board, der LCD-Anzeige (wenn diese auf dem Arduino-Board aufgesteckt ist) und der Plattform sind wieder mit Klingeldrahtleitungen steckbar ausgeführt.

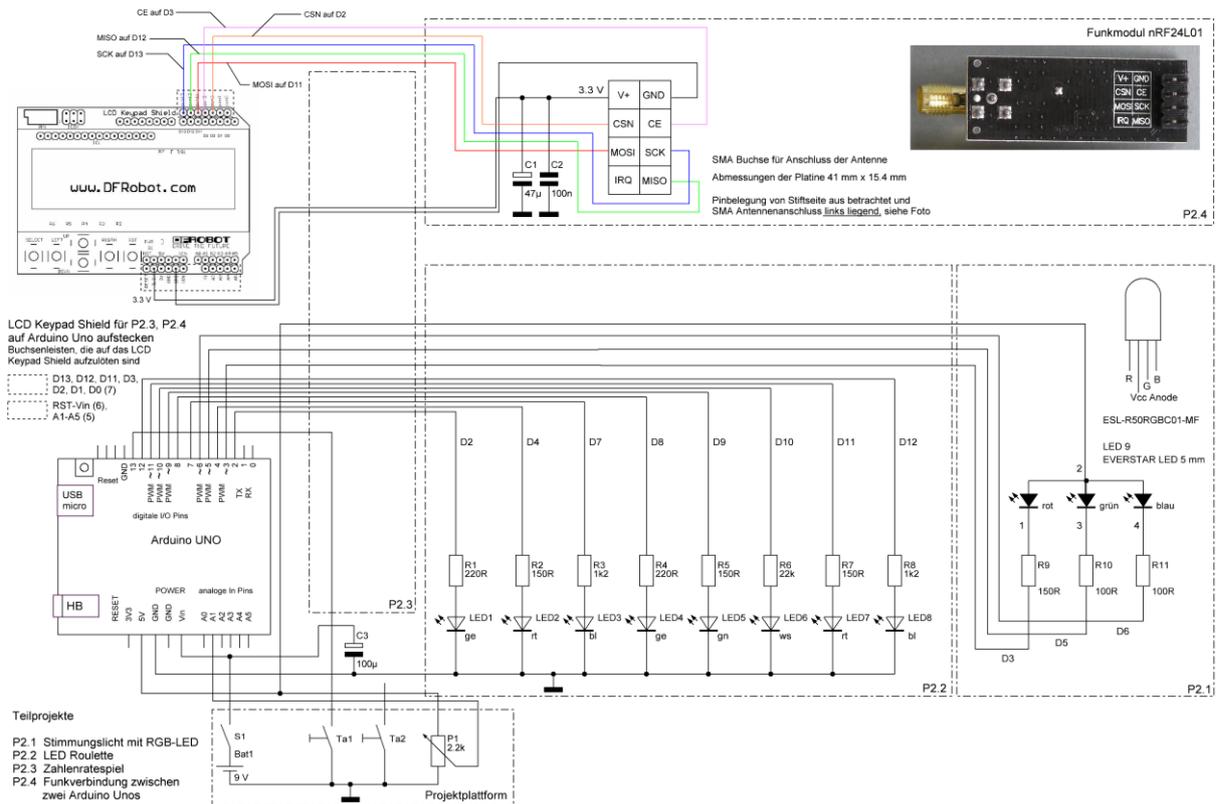


Bild 15: Schaltbild für die Lötplatine des zweiten Bausatzes zur Arduino-Projektplattform mit den Teilprojekten P2.1 bis P2.4. Die Teilprojekte P2.1 und P2.2 werden ohne, P2.3 und P2.4 mit LCD-Anzeige (LCD Keypad Shield) durchgeführt, die dazu auf das Arduino-Uno-Board aufgesteckt wird. Auf dem Keypad-Shield sind insgesamt drei Buchsenleisten aufzulöten mit sieben, sechs und fünf Polen. Oben rechts ist die Unterseite des Funkmoduls nRF24L01 abgebildet mit dem SMA-female Anschluss für die Antenne

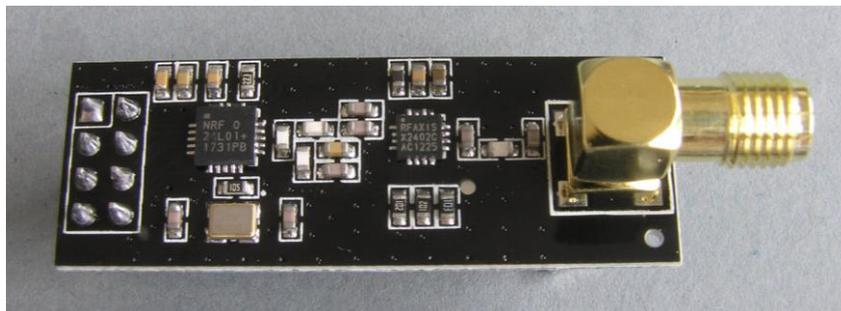


Bild 16: Detailaufnahme des Funkmoduls nRF24L01. Links befindet sich das Anschlussfeld, rechts die SMA-female-Buchse für den Anschluss der Antenne

Die mit dieser Schaltung und entsprechenden Softwareprogrammen umsetzbaren Teilprojekte und deren Funktionen fasst Tabelle 2 zusammen.

Tab. 2: Übersicht der Teilprojekte P2.1–P2.4 des zweiten Lötbausatzes für die Arduino-Projektplattform. o.S ohne aufgestecktes KeyPad-Shield, m.S mit aufgestecktem KeyPad-Shield, Pz Programmzeilen (ohne Kommentarzeilen, einfachste Version, ohne Multiprogramm-Umgebung)

Teilprojekt	Bezeichnung	Konfiguration	Funktionen	Bemerkung
P2.1	Stimmungslicht mit RGB-LED [19]	o.S	langsam variierende Farbwechsel, deren Wiederholfrequenz über Potentiometer einstellbar ist	einfachste Schaltung, drei Ausgänge für die RGB-LED, ein analoger Eingang für das Potentiometer; Helligkeitseinstellung über Pulsweitenmodulation (PWM); übersichtlicher Programmcode als Einstieg; 28 Pz (ohne

P2.2	LED-Roulette	o.S	per Zufallsprozess gesteuertes schnelles kreisförmiges Lauflicht, das stetig langsamer wird und schließlich mit einer leuchtenden LED zum Stehen kommt	Potentiometer) acht digitale Ausgänge, unbeschalteter Eingang A0 bestimmt Zufallszahl, komplexerer Zeitablauf; 30 Pz
P2.3	Zahlenratespiel [3]	m.S	Spielerläuterung auf der LCD-Anzeige; durch Drücken des Tasters Ta2 wird eine Zahl zwischen 1 und 6 ausgewählt; mit Ta 1 erzeugt der Controller eine Zufallszahl in diesem Bereich; stimmt diese mit der zuvor geratenen überein, wird "gewonnen" angezeigt, ansonsten "verloren"	Ansteuerung der LCD-Anzeige, verschiedene Textausgaben, Entprellen von Tastern, Einlesen von Tastvorgängen, Einlesen eines Analogeingangs; 122 Pz
P2.4	Funkverbindung zur Übertragung von Textnachrichten	m.S	Bedienerläuterung auf LCD-Anzeige; gespeicherte, auswählbare Kurztexte werden über das Funkmodul zu einer zweiten Arduino-Projektplattform und dem dort installierten Funkmodul übertragen und auf dem LCD-Display angezeigt; die Sendeleistung des TX kann zuvor per Tasten am LCD-Keypad-Shield des Senders gewählt werden.	Ansteuerung der LCD-Anzeige; Einlesen der Taster an dieser Anzeige; Ansteuerung des Funkmoduls über SPI-Schnittstelle; komplexes Programm; 99 Pz

Über die Umsetzbarkeit des Teilprojekts P2.4 zu testen, haben wir zuerst Vorexperimente ausgeführt. Bild 17 zeigt einen Testaufbau mit zwei Arduino-Projektplattformen, die jeweils mit LCD-Display und Funkmodul ausgestattet sind (die Platinen auf diesem Bild sind noch vom ersten Bausatz, siehe Teil 1, und hier ohne Funktion). Diesen Aufbau haben wir für die Programmentwicklung zum Teilprojekt P2.4 und für Tests zur Reichweite der Funkverbindung verwendet. Im Freien sind ohne weiteres einige hundert Meter zu überbrücken.

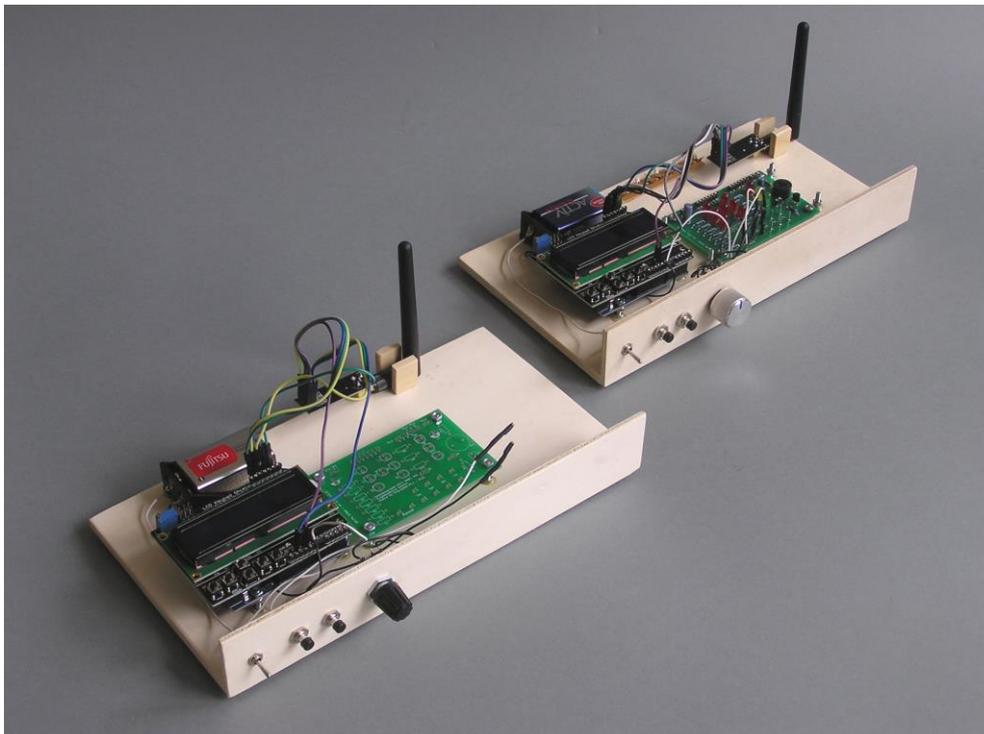


Bild 17: Testaufbau für das Teilprojekt P2.4 mit zwei Arduino-Projektplattformen, aufgesteckten LCD-Displays und zwei Funkmodulen nRF24L01 mit ihren Antennen

Als Halterung für den nRF24L01 hatten wir zwei Holzplättchen auf die Grundplatte der Projektplattform geleimt, sodass in der Lücke zwischen diesen der Antennenfuss positioniert und gehalten werden kann. Diesen Ansatz haben wir für den Bausatz jedoch nicht verfolgt, da dies eine recht aufwändige Änderung aller bereits erstellten Projektplattformen bedingt hätte. Stattdessen haben wir geplant, auf der zu entwerfenden Lötplatine eine 2 x 4-polige Buchsenleiste am oberen Platinenrand zu platzieren in die das Funkmodul mit Antenne eingesteckt und hinreichend stabil gehalten werden kann.

Die Schaltung nach Bild 15 wurde zunächst auf einem Steckbrett aufgebaut und optimiert (Leuchtstärke der LEDs, Stromverbrauch). Im nächsten Schritt wurde als Prototyp für die Lötplatine zuerst wieder eine Lochrasterplatine mit dem Programm *Lochmaster* entworfen (vgl. Teil 1), siehe Bild 18, um die Anordnung der Bauteile zu planen. Die Platinenabmessungen sind jetzt so gewählt, wie bei der CAD-Platine des ersten Bausatzes, damit die Montagelöcher an den vier Ecken die gleiche Lage aufweisen, sodass wieder die Kompatibilität zu den bereits erstellten Projektplattformen sicher gestellt wird.

Für das Einlöten der RGB-LED (RGB LEDs EVERSTAR ESL-R50RGBC01-MF, [14]) gibt es im Datenblatt detaillierte Vorgaben, u.a. soll ein definierter Abstand von ca. 2 mm bis zur Lötstelle eingehalten werden. Da auch unerfahrene Teilnehmer bei den Selbstbauaktionen mitwirken haben wir uns daher entschieden, dieses Bauteil für den Bausatz nicht einzulöten, sondern eine vierpolige Buchse (in Bild 18 rechts oben) dafür vorzusehen, um Beschädigung der RGB-LED auszuschließen.

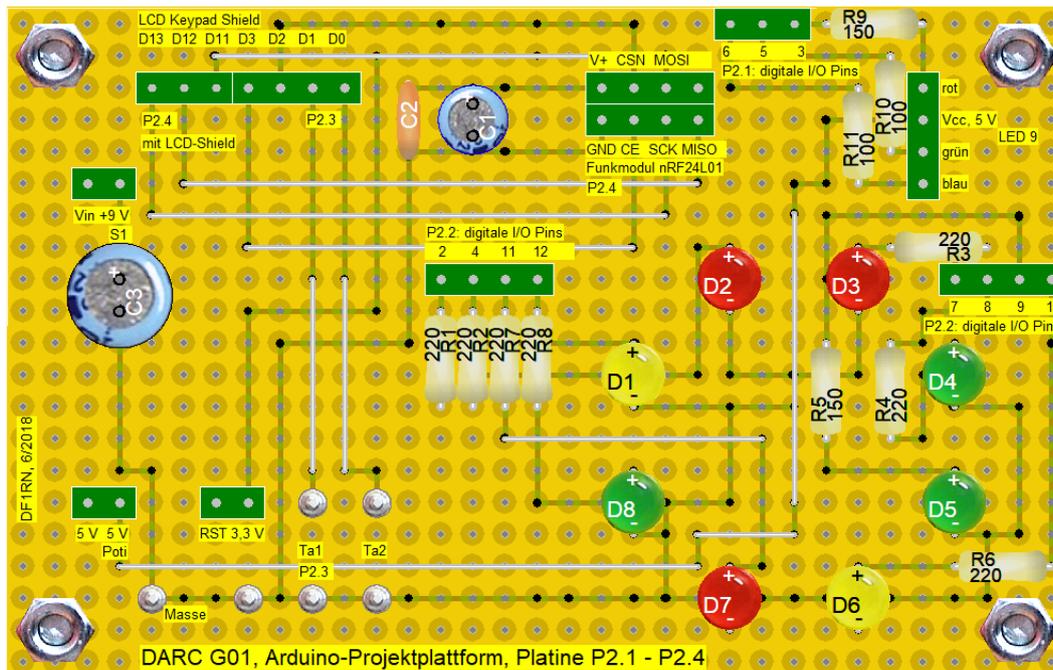


Bild 18: Lochrasterplatine für die Schaltung nach Bild 15 mit den Teilprojekten P2.1 bis P2.4 (vgl. Tab. 2). Bei der hier gezeigten Version wurden noch andere LED-Farben für das Roulette gewählt.

Für die Steckverbindungen zwischen der Lötplatine und dem Arduino-Uno-Board bzw. dem LCD-Shield haben wir wieder Buchsenleisten (siehe oberer Platinenrand in Bild 18) und Lötnägel (unterer Platinenrand; für Masse, Anschluss der Taster) gewählt (vgl. Teil 1).

Bild 19 zeigt die Arduino-Projektplattform mit der Lochrasterplatine. Zu sehen sind die Steckverbindungen für das Teilprojekt P2.1, das Stimmungslicht. Die RGB-LED hat ein klares Gehäuse und eine gerichtete Abstrahlung mit einem Öffnungswinkel 45° , die eine hohe Strahlstärke (Strahlungsleistung pro Raumwinkel, Einheit: Wsr^{-1}) bedingt. Um den visuellen Eindruck der RGB-LED zu verbessern, haben wir diese Strahlstärke optisch mit einer milchigen Kunststofffolie und einem Tischtennisball erheblich reduziert. Bild 20 zeigt eine schematische Schnittdarstellung dieses Aufbaus. In den Tischtennisball wird ein 5 mm großes Loch gebohrt, über die RGB-LED wird eine dünne milchige Kunststofffolie (MF) gestülpt und der Tischtennisball wird darauf gesteckt. Durch die mehrfache Streuung an der Kunststofffolie und

am transluzenten Gehäuse des Tischtennisballs (Zelluloid oder Plastik) entsteht eine homogene Abstrahlung des Balls. Die Strahlstärke wird durch diesen Aufbau um ca. den Faktor 26 abgesenkt (Vergrößerung des originären Abstrahlwinkels der RGB-LED auf den vollen Raumwinkel von 4π steradian). Der visuelle Helligkeitseindruck des leuchtenden Balls, beschrieben durch die Leuchtdichte (Einheit: cd m^{-2}), ist unter Berücksichtigung der maximalen elektrischen Gesamtleistung für die RGB-LED von 225 mW als sehr gut einzuschätzen.

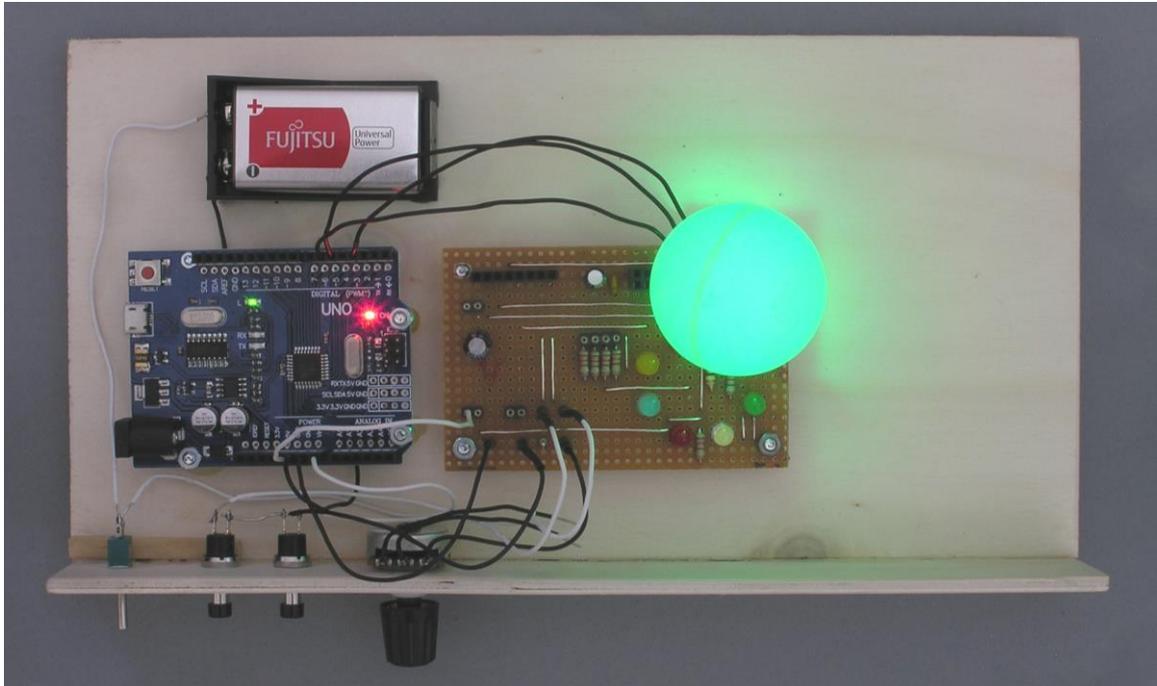


Bild 19: Arduino-Projektplattform mit Lochrasterplatine für die Teilprojekte P2.1 bis P2.4. Hier ist das Teilprojekt P2.1, Stimmungslicht, mit dem leuchtenden Tischtennisball zu sehen sowie die für P2.1 erforderlichen Steckverbindungen zum Arduino-Uno-Board und der Projektplattform.

Nach den ersten Erfahrungen mit dem Prototypaufbau von Bild 19 haben wir uns entschieden, den Sockel für die RGB-LED und die Lage der LEDs für das Roulette anders anzuordnen, sodass diese Baugruppen auch mit einem aufgesteckten Funkmodul klarer räumlich voneinander getrennt sind.

Mit der Software KiCad hat Moritz Holtz, DF5MH (vgl. Teil 1), wieder eine zweilagige Lötplatine entworfen, siehe Bild 21 (diesmal mit "gerechneten" Bauteilen dargestellt). Die Aufdrucke auf der Platine zeigen sowohl die Bauteilkurzbezeichnungen als auch die Steckplätze für die Teilprojekte (P2.1 - P2.4), die Bedienelemente (Ta1, Ta2) und die Buchsen für die Verbindungen zu den Versorgungsspannungen auf dem Arduino-Uno-Board. Das weiße Feld "QC" steht für *quality control*, hier bringt der Betreuer beim Selbstbautag nach erfolgreicher Prüfung der bestückten Platine sein okay an.

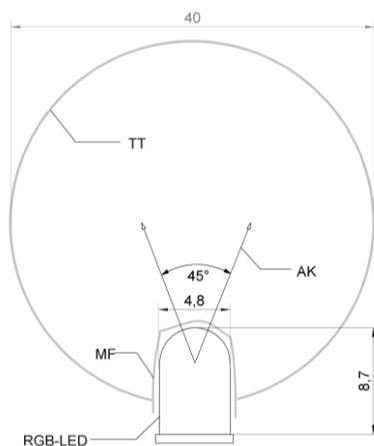


Bild 20: Schnittdarstellung durch Tischtennisball (TT) und RGB-LED (nicht maßstäblich). MF milchige Kunststoffolie, AK originärer Abstrahlkegel der RGB-LED ohne MF.

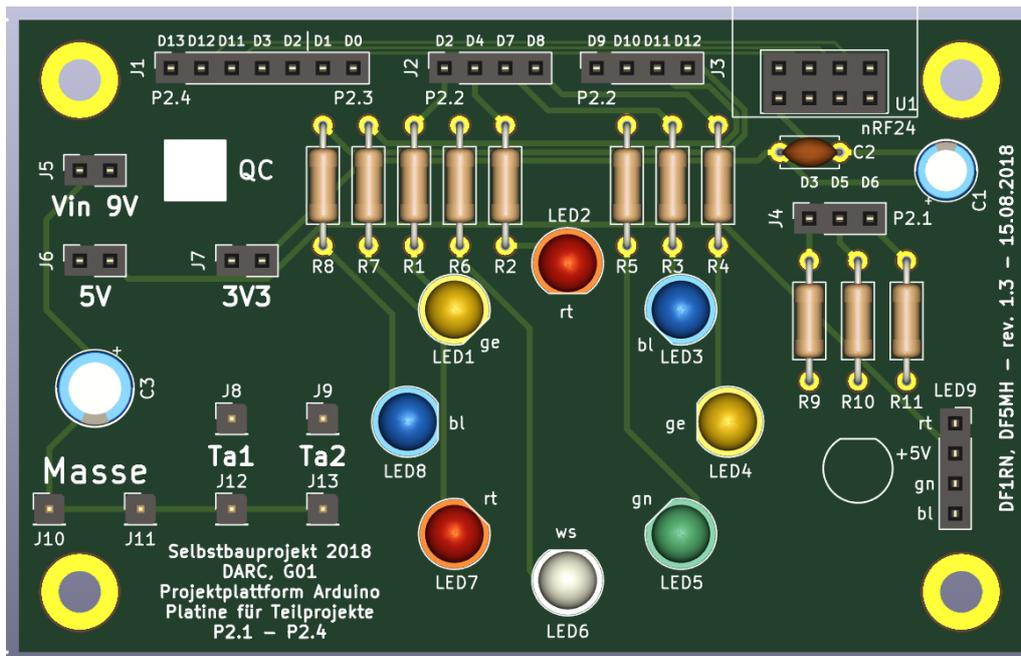


Bild 21: Lötplatine für die Teilprojekte P2.1- P2.4, Selbstbauprojekt 2018 des OV G01, Aachen

Softwarekonzept

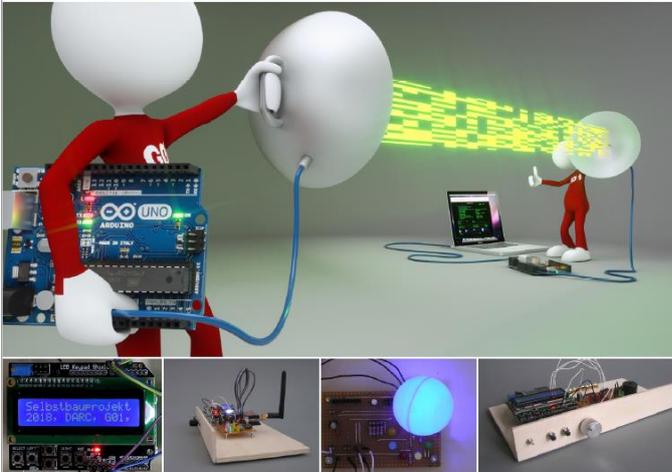
Für die in Teil 1 beschriebenen Teilprojekte hatten wir jeweils separate Softwareprogramme während des Projekttagess nacheinander auf die Arduino-Uno-Boards der Teilnehmer übertragen (geflasht). Das ist allerdings zeitaufwändig, daher hatten wir überlegt, wie dieser Prozess gestrafft werden könnte. Nach einigen Erörterungen kam dann die Idee auf, mehrere Teilprojekte gleichzeitig aufzuspielen und diese per Bedienvorgang an den Tasten der Projektplattform oder auch den Tasten des LCD-Keypad-Shields auszuwählen. Unser Vereinsmitglied aus G01, Jan Löschner, DB2KC, hat die entsprechende Multiprogramm-Software dazu erarbeitet.

Zusammengefasst und per Tastendruck auswählbar sind jetzt einerseits die Teilprogramme für P2.1 und P2.2 (ohne LCD-Anzeige, vgl. Tab. 2) und andererseits die Teilprogramme für P2.3 und P2.4 (mit LCD-Anzeige). Mit diesem Ansatz war nur noch ein einziger Übertragungsvorgang während des Projekttags erforderlich (statt vier; das Programm für P2.1, P2.2 hatten wir schon vorher auf die Plattformen übertragen). Das Softwareprogramm zur Bündelung der Teilprojekte wird dadurch zwar insgesamt umfangreicher und ist sicher für Einsteiger auch schwieriger zu verstehen. Wir haben daher auf der projektbegleitenden Internetseite sowohl die für sich stehenden Einzelprogramme der Teilprojekte als auch die gebündelten Programme den Teilnehmern bereitgestellt. Auf diese Weise kann jeder auch zunächst einmal ein einfacher nachzuvollziehendes Programm für ein einziges Teilprojekt auf seine Plattform übertragen und damit anfangen, zu experimentieren.

Werbung für das Selbstbauprojekt mit Arduino-Projektplattform und dem Lötbausatz

Wie schon in Teil 1 beschrieben, haben wir im Gebiet unseres Ortsvereins weiterführende Schulen angesprochen und uns wieder auf einen Samstag für das zweite Selbstbauprojekt mit der neuen Plattform im Herbst 2018 verständigt. Neben der Ankündigung auf unserer DARC Clubseite und der örtlichen Presse haben wir ein Plakat gestaltet, um die geplante Veranstaltung zu bewerben. Unser OM Thomas Kern, DG1KTS, hat dazu auch ein ansprechendes Bild entworfen und gerechnet. Bild 22 zeigt das Plakat mit dem fotorealistischen Aufmacherbild und zusätzlichen Fotografien der Musteraufbauten. Dieses Plakat wurde wieder als pdf-Datei an weitere Schulen und an die Teilnehmer früherer Selbstbauprojekte versendet.

Was haben Stimmungslicht, Roulette, Zahlenratespiel und Nachrichtenübertragung per Funk gemeinsam?



... sie sind das Ergebnis des neuen Elektronikprojekts 2018:

Löten und Programmieren mit der Arduino-Projektplattform.

Die Funkamateure des Amateur-Radio-Clubs aus Aachen heißen Euch am Samstag, den 6.10.2018 am Inda-Gymnasium herzlich willkommen! Um 9:30 h geht's los. Für alle, die Spaß an Experimenten, Technik und Selbstbau haben und in die Programmierung von Mikrocontrollern einsteigen wollen.

Wer mehr wissen will geht auf: www.darc.de/g01 und dort auf "G01 aktuell". Oder scanne einfach den QR-Code oben.



Bild 22: Plakat zur Bewerbung der zweiten Selbstbauaktion des OV Aachen, G01, mit der Arduino-Projektplattform

Bausatz, Anleitung und Informationen für die Teilnehmer

Das Arbeitsprogramm für den Projekttag ist wieder so gegliedert, wie schon in Teil 1 beschrieben. Für den Projekttag stehen die fertigen Projektplattformen sowie die Bausätze mit den Lötplatinen bereit. Diejenigen Teilnehmer, die schon eine Projektplattform vom vorherigen Projekt haben, werden gebeten, diese mitzubringen.

Jeder Teilnehmer erhält wieder eine bebilderte Anleitung (6 S.) in der die Bestückung der Platine in einzelnen Aufbausritten sowie die Leitungsverbindungen zwischen der Lötplatine und der Projektplattform beschrieben werden. Stückliste, Schaltplan und eine den Teilprojekten zugeordnete Liste der jeweiligen Steckverbindungen vervollständigen die Anleitung. Bild 23 zeigt ein Foto aus dieser Anleitung mit den Bauteilen des Bausatzes.

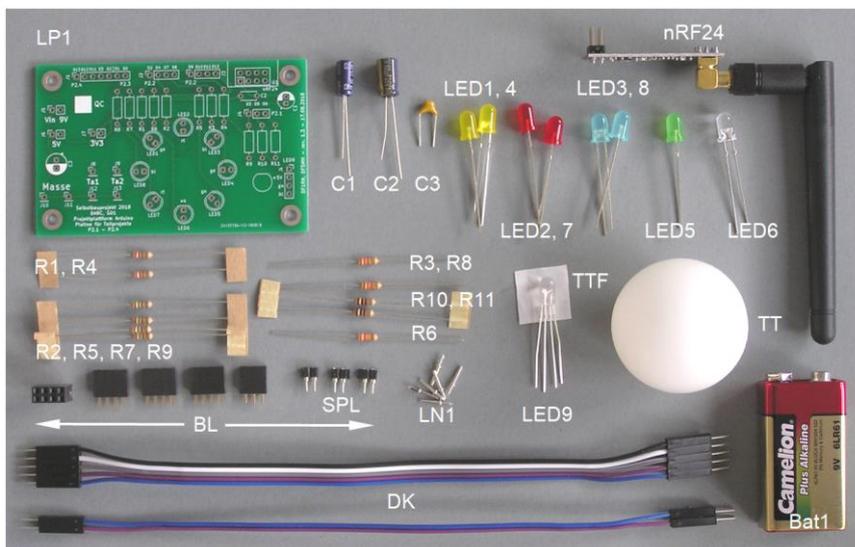


Bild 23: Foto der Bauteile des zweiten Bausatzes für die Arduino-Projektplattform mit den Teilprojekten P2.1 bis P2.4 aus der Aufbauanleitung

Begleitende Vorträge, Prüffeld für die bestückten Platinen und Projektwebseite mit Quellcode-Dateien wurden wieder in bewährter Weise realisiert (vgl. Teil 1).

Videos zu den Teilprojekten P2.1 - P2.4, die die einzelnen Bedienvorgänge und Funktionen zeigen, haben wir auf YouTube bereitgestellt [21]. Ein weiteres Video zeigt die Messung der ausgesandten HF des Funkmoduls in kurzen Pulsen. Dafür wurde ein HF-Detektor (mit logarithmischem Eingangsverstärker MAX4000EUA) nach einem Bausatz des AATis e.V. verwendet [22]. Dieser HF-Detektor wurde bei 2,4 GHz zunächst mit einem Messsender leistungskalibriert. Die dann damit gemessene maximale Sendeleistung des nRF24L01 beträgt 20,8 dBm und erreicht die spezifizierte maximale HF-Leistung des Funkmoduls.

Im praktischen Betrieb des Funkmoduls im Teilprojekt P2.4 hat sich gezeigt, dass bei einigen wenigen Bausätzen bei der Auswahl der maximalen Sendeleistung des nRFL01 keine sichere Datenübertragung zum Empfänger mehr möglich ist. Eine nähere Analyse zeigte, dass die Stromversorgung dafür kurzzeitig zu stark belastet wird, sodass die HF-Pegel des nRFL01 während der Aussendung eines Pulsbursts deutlich absinken und keine stabile Datenübertragung sichergestellt werden kann. Wir haben daher die Software für P2.4 im weiteren angepasst und die Auswahl der maximalen Sendeleistung auf -6 dBm beschränkt (die maximale HF-Leistung ist dann: $-6 \text{ dBm} + 25 \text{ dB} = 19 \text{ dBm}$).

In dem folgenden letzten Beitrag (Teil 3) werden wir noch einen weiteren Bausatz für die Arduino-Projektplattform vorstellen: ein UKW-Radio mit VU-Meter.

Auch für das hier vorgestellte Projekt gilt mein Dank der engagierten Mitarbeit folgender OMs im Aachener Raum (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, 9.3.2022, Reinhard Noll, DF1RN

Bezugsdokumente

Teil 2

- [14] Typbezeichnung ESL-R50RGBC01-MF, Datenblatt: Jiangsu Everstar Electronics Co. Ltd., 2011, 8 S.
- [15] Reinhardt Weber, 2,4-GHz-Duplex-Telemetry, CQ-DL 4-2018, 16-17
- [16] Nordic Semiconductor, nRF24L01, Single Chip 2.4 GHz Transceiver, Product Specification, 74 p.
- [17] <https://www.arduino.cc/en/reference/SPI>
- [18] RFAxis Inc., RFX2401C, production data sheet, 2015
- [19] angelehnt an Beitrag in ELV, Mai 2015, S. 20
- [20] [www.rjcomponents.com, products-Everstar-1.pdf](http://www.rjcomponents.com/products-Everstar-1.pdf), Angabe des Öffnungswinkels $2\theta = 45^\circ$
- [21] P2.1 und P2.2: <https://www.youtube.com/watch?v=Hs4UB-UzdSk>
P2.3: <https://www.youtube.com/watch?v=cvFH5vIxrAI>
P2.4: <https://www.youtube.com/watch?v=PCfodUcHAhg>
HF-Messung bei P2.4: <https://www.youtube.com/watch?v=-p4neBYnkQA>
- [22] Bausatz AS644, HF-Sniffer, AATis e.V.