

Bedienungsanleitung

Elektor Arduino® NANO Trainingsboard MCCAB

Rev. 3.3

Elektor-Bestellnummer 20295



Lieber Kunde

Das *MCCAB Trainingsboard* wurde in Übereinstimmung mit den geltenden europäischen Richtlinien hergestellt und trägt daher das CE-Zeichen.

Sein bestimmungsgemäßer Gebrauch ist in dieser Betriebsanleitung beschrieben. Wenn Sie das *MCCAB Trainingsboard* verändern oder nicht seiner Bestimmung gemäß verwenden, sind Sie alleine für die Einhaltung der geltenden Regeln verantwortlich.

Verwenden Sie das *MCCAB Trainingsboard* und alle darauf befindlichen Komponenten deshalb nur so, wie es in dieser Betriebsanleitung beschrieben ist. Sie dürfen das *MCCAB Trainingsboard* nur zusammen mit dieser Betriebsanleitung weitergeben.

Alle Angaben in dieser Bedienungsanleitung beziehen sich auf das **MCCAB Trainingsboard** mit dem Ausgabenstand **Rev. 3.3**. Der Ausgabenstand des Trainingsboards ist auf dessen Unterseite aufgedruckt (siehe Abbildung 13 auf Seite 20).

Der jeweils aktuelle Ausgabenstand dieser Betriebsanleitung steht auf der Website www.elektor.de/20295 zum Download bereit.

ARDUINO® und andere Arduino-Markennamen und -Logos sind eingetragene Warenzeichen von *Arduino SA*.

Inhalt

1	Recycling	3
2	Sicherheitshinweise	3
2.1	Spannungsversorgung	3
2.2	Handhabung und Umgebungsbedingungen	4
2.3	Reparatur und Wartung	4
3	Bestimmungsgemäße Verwendung	5
4	Das <i>MCCAB Trainingsboard</i> und seine Komponenten	6
4.1	Das Mikrocontrollermodul » <i>Arduino</i> ® <i>NANO</i> «	8
4.2	Die Spannungsversorgung des Trainingsboards	11
4.3	Die USB-Verbindung zwischen dem Trainingsboard und dem PC	13
4.4	Die elf Leuchtdioden zur Statusanzeige der Mikrocontroller-GPIOs <i>D2 ... D12</i>	14
4.5	Die Potenziometer <i>P1</i> und <i>P2</i>	14
4.6	Die Schalter <i>S1 ... S6</i> und die Taster <i>K1 ... K6</i>	15
4.7	Der Piezo-Summer <i>Buzzer1</i>	17
4.8	Die 3 × 3 LED-Matrix	18
4.9	Das LC-Display (<i>LCD</i>)	19
4.10	Die Schaltausgänge <i>SV1</i> und <i>SV7</i> für höhere Ausgangsströme und -spannungen	21
4.11	Die Buchsenleiste <i>SV2</i> zum Anschluss externer Module	22
4.12	Die Verbindungsleisten zum Anschluss von SPI-Modulen	23
4.12.1	Das Interface <i>SV11</i> für SPI-Module mit +3.3 V Betriebsspannung	24
4.12.2	Das Interface <i>SV12</i> für SPI-Module mit +5 V Betriebsspannung	24
4.12.3	Gleichzeitiger Anschluss von SPI-Modulen an <i>SV11</i> und <i>SV12</i>	25
4.13	Die Anschlussleisten <i>SV8</i> , <i>SV9</i> und <i>SV10</i> für das TWI (=I ² C)-Interface	26
5	Hinweise zur Verwendung des Analog / Digital - Converters des ATmega328P	27
6	Die Library » <i>MCCAB_Lib</i> « für das <i>MCCAB Trainingsboard</i>	28
7	Weiterführende Literatur zur Verwendung des <i>MCCAB Trainingsboards</i>	28

1 Recycling



Gebrauchte Elektro- und Elektronikgeräte müssen als Elektronikschrott dem Recycling zugeführt und dürfen nicht im Hausmüll entsorgt werden.

Das *MCCAB Trainingsboard* enthält wertvolle Rohstoffe, die recycelt werden können. Entsorgen Sie das Gerät deshalb am entsprechenden Sammeldepot. (EU-Richtlinie 2012/19 / EU). Wo Sie die nächstgelegene kostenlose Annahmestelle finden, erfahren Sie von Ihrer kommunalen Verwaltung.

2 Sicherheitshinweise

Diese Bedienungsanleitung für das *MCCAB Trainingsboard* enthält wichtige Hinweise zu Inbetriebnahme und Bedienung!

Lesen Sie deshalb die gesamte Bedienungsanleitung sorgfältig durch, bevor Sie das Trainingsboard erstmals in Betrieb nehmen, um Schäden an Leib und Leben durch Stromschlag, Brand oder Fehlbedienungen sowie die Beschädigung des Trainingsboards zu vermeiden.

Machen Sie diese Betriebsanleitung auch allen anderen Benutzern des Trainingsboards zugänglich.

Das Produkt wurde gemäß der Norm IEC 61010-031 entwickelt und hat das Werk getestet und in einem sicheren Zustand verlassen. Der Anwender muss die für den Umgang mit elektrischen Geräten geltenden Vorschriften sowie alle allgemein anerkannten Sicherheitspraktiken und Verfahren unbedingt beachten. Insbesondere sind hier die VDE-Vorschriften VDE 0100 (*Planung, Errichtung und Prüfung elektrischer Niederspannungsanlagen*), VDE 0700 (*Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch*) und VDE 0868 (*Einrichtungen für Audio/Video-, Informations- und Kommunikationstechnik*) zu nennen.

In gewerblichen Einrichtungen gelten darüber hinaus die Unfallverhütungsvorschriften der gewerblichen Berufsgenossenschaften.

Verwendete Sicherheitssymbole



Warnung vor elektrischer Gefahrenstelle

Dieses Zeichen kennzeichnet Bedingungen oder Praktiken, die zum Tod oder zu Verletzungen führen können.



Allgemeines Warnzeichen

Dieses Zeichen kennzeichnet Bedingungen oder Praktiken, die zur Beschädigung des Produkts selbst oder der angeschlossenen Geräte führen können.

2.1 Spannungsversorgung



Vorsicht:

➤ An das *MCCAB Trainingsboard* dürfen **keinesfalls negative Spannungen** oder Spannungen, **die größer als +5 V** sind, angeschlossen werden. Die einzige Ausnahme bilden die Eingänge VX1 und VX2, hier dürfen die Eingangsspannungen im Bereich +8 V bis +12 V liegen (siehe Abschnitt 4.2).



➤ Schließen Sie an die Masseleitung (GND, 0 V) niemals ein anderes elektrisches Potenzial an.

- **Vertauschen Sie keinesfalls die Anschlüsse für Masse (GND, 0 V) und +5 V, denn dies würde eine dauerhafte Beschädigung des *MCCAB Trainingsboards* zur Folge haben!**
 - **Insbesondere darf an das *MCCAB Trainingsboard* unter keinen Umständen $\sim 230\text{ V}$ bzw. $\sim 115\text{ V}$ Netzspannung angeschlossen werden!**
- ⚠ Es besteht Lebensgefahr !! ⚠**

2.2 Handhabung und Umgebungsbedingungen



Um Tod oder Verletzungen zu vermeiden und um das Gerät vor Beschädigung zu schützen, müssen die folgenden Regeln strikt eingehalten werden:



- Betreiben Sie das *MCCAB Trainingsboard* keinesfalls in Räumen mit explosiven Dämpfen oder Gasen.
- Wenn Jugendliche oder Personen, denen der Umgang mit elektronischen Schaltungen nicht vertraut ist, z.B. im Rahmen von Schulungsmaßnahmen mit dem *MCCAB Trainingsboard* arbeiten, muss entsprechend geschultes Fachpersonal in verantwortlicher Position diese Tätigkeiten überwachen.
Der Gebrauch durch Kinder unter 14 Jahren ist nicht vorgesehen und muss unterbleiben.
- Wenn das *MCCAB Trainingsboard* Schäden aufweist (z.B. durch mechanische oder elektrische Beanspruchung), darf es aus Sicherheitsgründen nicht weiter verwendet werden.
- Das *MCCAB Trainingsboard* darf nur in einer sauberen und trockenen Umgebung bei Temperaturen bis zu höchstens $+40\text{ °C}$ eingesetzt werden.

2.3 Reparatur und Wartung



- Zur Vermeidung von Sach- oder Personenschäden dürfen eventuell notwendig werdende Reparaturen nur durch entsprechend geschultes Fachpersonal und unter Verwendung von Originalersatzteilen vorgenommen werden.



- Das *MCCAB Trainingsboard* enthält keine durch den Benutzer zu wartenden Teile.

3 Bestimmungsgemäße Verwendung

Das *MCCAB Trainingsboard* wurde entwickelt zur einfachen und schnellen Vermittlung von Kenntnissen über die Programmierung und den Gebrauch eines Mikrocontrollersystems.

Das Produkt ist ausschließlich für Schulungs- und Übungszwecke konzipiert, eine darüber hinausgehende Verwendung, z.B. in industriellen Produktionseinrichtungen, ist nicht zulässig.



Vorsicht:

Das *MCCAB Trainingsboard* ist nur zur Verwendung mit einem Mikrocontrollersystem des Typs *Arduino*[®] *NANO* (siehe Abbildung 2) oder einem zu diesem zu 100 % kompatiblen Mikrocontrollermodul bestimmt. Dieses Modul muss mit einer Betriebsspannung von $V_{cc} = +5\text{ V}$ betrieben werden. Andernfalls droht die Gefahr einer irreversiblen Beschädigung oder der Zerstörung des *Mikrocontroller-Moduls*, des *Trainingsboards* und der an das *Trainingsboard* angeschlossenen Geräte.



Vorsicht:

An die Eingänge *VX1* und *VX2* des *Trainingsboards* dürfen Spannungen im Bereich +8 V bis +12 V angeschlossen werden (siehe hierzu Abschnitt 4.2 dieser Betriebsanleitung). **Die Spannungen an allen anderen Eingängen des *Trainingsboards* müssen im Bereich 0 V bis +5 V liegen.**



Vorsicht:

Diese Betriebsanleitung beschreibt, wie das *MCCAB Trainingsboard* mit dem PC des Anwenders und eventuellen externen Modulen korrekt verbunden und ordnungsgemäß betrieben wird. Bitte beachten Sie, dass wir auf Bedienungs- und / oder Anschlussfehler, die durch den Anwender verursacht werden, keinen Einfluss haben.

Für die korrekte Verbindung des *Trainingsboards* mit dem PC des Anwenders und eventuellen externen Modulen, sowie für dessen Programmierung und den ordnungsgemäßen Betrieb ist alleine der Anwender verantwortlich!

Für alle aus falschem Anschluss, falscher Ansteuerung, falscher Programmierung und / oder falschem Betrieb resultierende Schäden trägt der Benutzer die alleinige Verantwortung! Haftungsansprüche an uns sind in diesen Fällen verständlicherweise ausgeschlossen.

Eine andere Verwendung als die angegebene ist nicht zulässig! Das *MCCAB Trainingsboard* darf nicht geändert oder umgebaut werden, da dies zu seiner Beschädigung oder zur Gefährdung des Anwenders führen könnte (Kurzschluss, Überhitzungs- und Brandgefahr, Gefahr eines elektrischen Schlags). Entstehen aus einer nicht bestimmungsgemäßen Verwendung des *Trainingsboards* Personen- und Sachschäden, so ist dafür ausschließlich der Betreiber und nicht der Hersteller verantwortlich.

4 Das *MCCAB Trainingsboard* und seine Komponenten

Abbildung 1 zeigt das *MCCAB Trainingsboard* mit seinen Bedienungselementen. Das Trainingsboard wird zum Betrieb einfach auf eine **elektrisch nicht leitende** Arbeitsfläche gelegt und über ein Mini-USB - Kabel mit dem PC des Anwenders (siehe Abschnitt 4.3) verbunden.

Insbesondere in Kombination mit dem bei Elektor erschienenen »Mikrocontroller-Praxiskurs für Arduino-Einsteiger« (ISBN PRINT: 978-3-89576-523-0, ISBN E-BOOK: 978-3-89576-524-7) eignet sich das *MCCAB Trainingsboard* in hervorragender Weise zur einfachen und schnellen Vermittlung von Kenntnissen über die Programmierung und den Gebrauch eines Mikrocontrollersystems.

Seine Übungsprogramme für das *MCCAB Trainingsboard* erstellt der Anwender auf seinem PC in der *Arduino IDE*, einer Entwicklungsumgebung mit integriertem C / C++ - Compiler, die er sich kostenlos von der Website

<https://www.arduino.cc/en/main/software>

aus dem Internet auf seinen PC herunterladen kann.

Nach seiner erfolgreichen Kompilierung wird das Übungsprogramm über ein Mini-USB - Kabel aus der *Arduino IDE* direkt in den Mikrocontroller auf dem *MCCAB Trainingsboard* geladen und gestartet.

Bereits »On Board« ist auf dem *MCCAB Trainingsboard* eine umfangreiche Hardwareperipherie (Taster, Schalter, Potenziometer, Summer, Leuchtanzeigen, Display, serielle Schnittstellen, Transistor-Schalter) vorhanden, die für eine Vielzahl von Übungen die erforderlichen Bedienungselemente bereitstellt. Darüber hinaus können über die Buchsenleiste SV2 (Pfeil (26) in Abbildung 1) externe Leiterplatten und Module für zusätzliche Übungseinheiten an das Trainingsboard angesteckt werden.

Zur Ansteuerung externer Sensoren, Module und Geräte, die an das Trainingsboard über die diversen Verbindungsleisten angedockt werden können, steht in der "Arduino-Welt" eine umfangreiche Sammlung von *Libraries* zur Verfügung. Diese Libraries können in der Regel kostenlos aus dem Internet heruntergeladen und in das Übungsprogramm des Anwenders eingebunden werden.

Das *MCCAB Trainingsboard* arbeitet mit einer Betriebsspannung von $V_{cc} = +5V$. Die Stromversorgung des Trainingsboards erfolgt in der Regel über die USB-Schnittstelle des angeschlossenen PCs, der auch für die Erstellung der Übungsprogramme benötigt wird. Alternativ ist auch eine Stromversorgung durch ein externes Netzteil möglich (siehe hierzu Abschnitt 4.2 und Abschnitt 4.3).

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt die Ansicht des Trainingsboards. Im Folgenden werden alle Hardware-Komponenten auf dem Board ausführlich beschrieben.

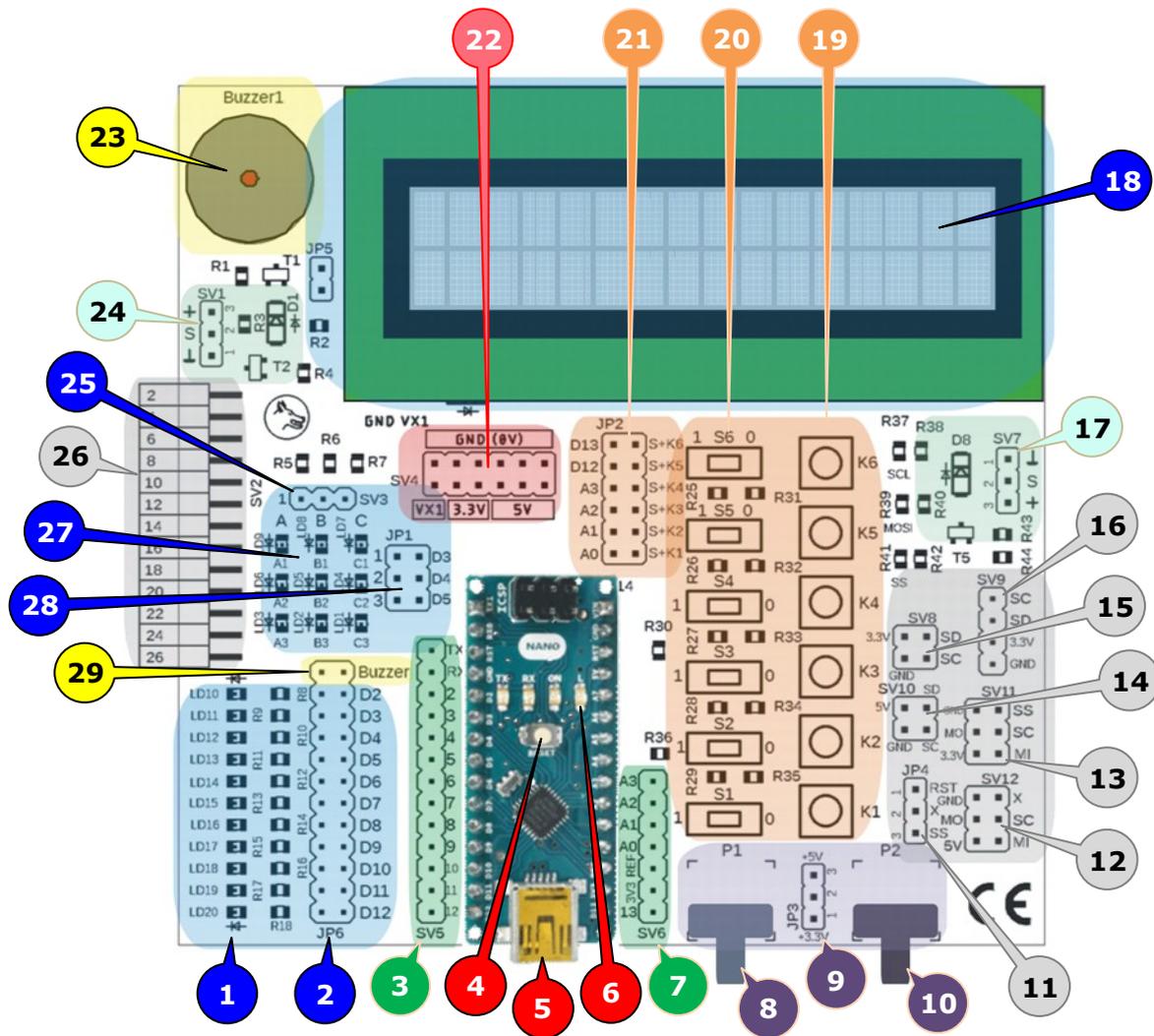


Abbildung 1: Das MCCAB Trainingsboard, Rev. 3.3

Die Bedienungs- und Anzeigeelemente auf dem MCCAB Trainingsboard:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> (1) 11 × LED (Zustandsanzeige für die Ein- / Ausgänge D2 ... D12) (2) Pfostenleiste JP6 zur Verbindung der LEDs LD10 ... LD20 mit den ihnen zugeordneten GPIOs D2 ... D12 (3) Anschlussleiste SV5 (Verteiler) für die Ein- / Ausgänge des Mikrocontrollers (4) <i>RESET</i>-Taster (5) Mikrocontroller-Modul <i>Arduino</i>[®] <i>NANO</i> (oder kompatibel) mit Mini-USB - Buchse (6) LED »L«, verbunden mit GPIO D13 (7) Anschlussleiste SV6 (Verteiler) für die Ein- / Ausgänge des Mikrocontrollers (8) Potenziometer P1 | <ul style="list-style-type: none"> (9) Pfostenleiste JP3 zur Auswahl der Betriebsspannung der Potenziometer P1 und P2 (10) Potenziometer P2 (11) Pfostenleiste JP4 zur Auswahl der Signals an Pin X der Steckerleiste SV12 (12) Anschlussleiste SV12: SPI-Interface 5 V (das Signal an Pin X wird über JP4 ausgewählt) (13) Anschlussleiste SV11: SPI-Interface 3.3 V (14) Anschlussleiste SV10: I²C-Interface 5 V (15) Anschlussleiste SV8: I²C-Interface 3.3 V (16) Anschlussleiste SV9: I²C-Interface 3.3 V |
|--|---|

- (17) Anschlussleiste SV7: Schaltausgang für externe Geräte
- (18) LC-Display mit 2 x 16 Zeichen
- (19) 6 x Tastschalter K1 ... K6
- (20) 6 x Schiebeschalter S1 ... S6
- (21) Pfostenleiste JP2 zur Verbindung der Schalter mit den Eingängen des Mikrocontrollers
- (22) Anschlussleiste SV4: Verteiler für die Betriebsspannungen
- (23) Piezo-Summer *Buzzer1*
- (24) Anschlussleiste SV1: Schaltausgang für externe Geräte
- (25) Anschlussleiste SV3: Spalten der 3 x 3 LED-Matrix (Ausgänge D6 ... D8 mit Vorwiderständen 330 Ω)
- (26) Anschlussleiste SV2: 2 x 13 Pins zum Anschluss externer Module
- (27) 3 x 3 LED-Matrix (9 rote Leuchtdioden)
- (28) Pfostenleiste JP1 zur Verbindung der Reihen der 3 x 3 LED-Matrix mit den Mikrocontroller-GPIOs D3 ... D5
- (29) Eine Steckbrücke auf der Position »Buzzer« der Pfostenleiste JP6 verbindet den Summer *Buzzer1* mit dem GPIO D9 des Mikrocontrollers

Die einzelnen Bedienungselemente auf dem Trainingsboard werden in den folgenden Abschnitten ausführlich erklärt.

4.1 Das Mikrocontrollermodul »Arduino® NANO«

Auf das *MCCAB Trainingsboard* ist ein *Arduino® NANO* oder ein zu ihm kompatibles Mikrocontrollermodul aufgesteckt (siehe Pfeil (5) in Abbildung 1 sowie Abbildung 2 und M1 in Abbildung 4). Dieses Modul ist unter anderem mit dem AVR-Mikrocontroller ATmega328P bestückt, der die Peripheriekomponenten auf dem Trainingsboard steuert. Des Weiteren befindet sich auf der Unterseite des Moduls eine integrierte Wandlerschaltung, die die serielle Schnittstelle des Mikrocontroller-UARTs (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) mit der USB-Schnittstelle des PCs verbindet. Über diese Schnittstelle werden auch die vom Anwender auf seinem PC erstellten Programme in den Mikrocontroller geladen oder Daten zum / vom Seriellen Monitor der *Arduino IDE* (Entwicklungsumgebung) transferiert.

Die beiden Leuchtdioden TX und RX in Abbildung 2 zeigen den Datenverkehr auf den seriellen Leitungen TxD und RxD des Mikrocontrollers an.

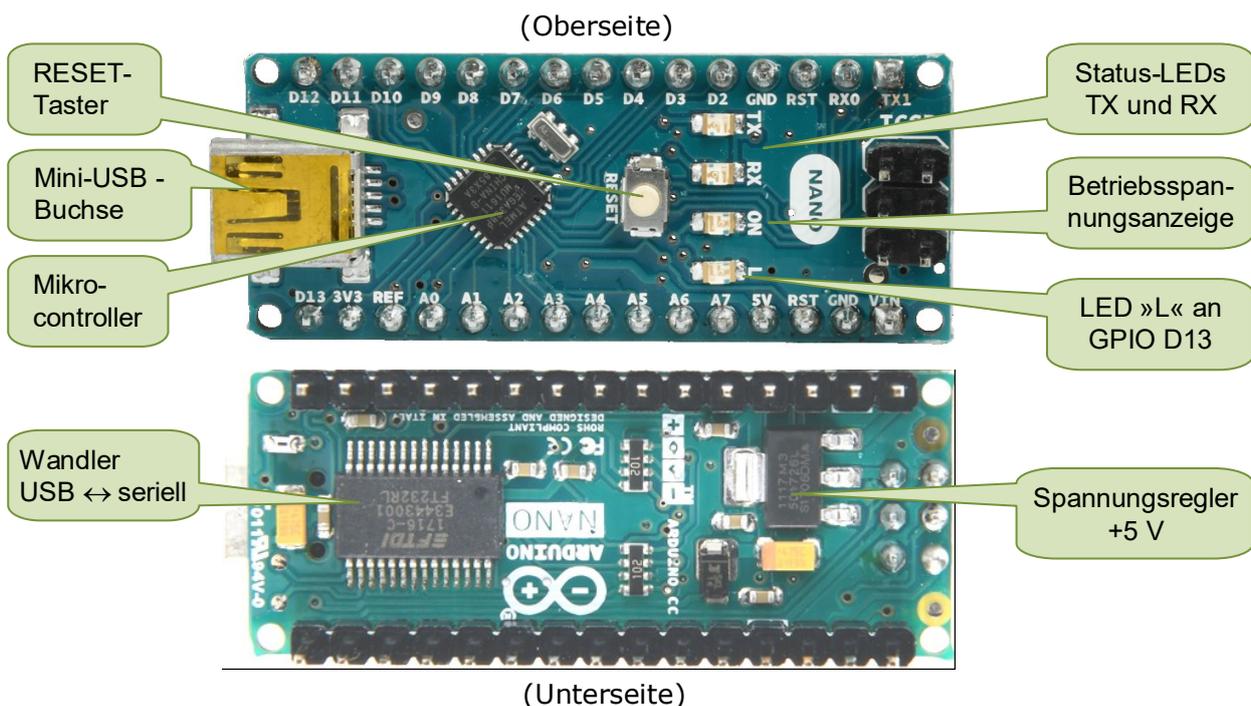


Abbildung 2: Mikrocontrollermodul *Arduino® NANO* (Quelle: www.arduino.cc)

Die Leuchtdiode L (siehe Abbildung 2 und Pfeil (6) in Abbildung 1 – die Bezeichnung »L« kann bei zum Arduino® NANO kompatiblen Klonen auch anders lauten) ist über einen Vorwiderstand fest mit dem GPIO D13 des Mikrocontrollers verbunden und zeigt dessen Zustand LOW oder HIGH an.

Der +5V-Spannungsregler auf der Unterseite des Moduls stabilisiert die dem *MCCAB Trainingsboard* extern über den Eingang VIN des *Arduino® NANO-Moduls* zugeführte Spannung (siehe hierzu Abschnitt 4.2).



Durch das Drücken des *RESET*-Tasters auf der Oberseite des *Arduino® NANO - Moduls* (siehe Abbildung 2 und Pfeil (4) in Abbildung 1) kann der Mikrocontroller in eine definierte Ausgangsposition versetzt und ein bereits geladenes Programm neu gestartet werden.

Alle für den Anwender wichtigen Ein- / Ausgänge des Mikrocontrollers sind auf die beiden Anschlussleisten SV5 und SV6 herausgeführt (Pfeil (3) und Pfeil (7) in Abbildung 1 sowie Abbildung 4).

Mittels Steckverbindern – sogenannten *Dupont*-Kabeln (siehe Abbildung 3) – können die an SV5 und SV6 herausgeführten Ein- / Ausgänge des Mikrocontrollers (die auch als **GPIOs = General Purpose Inputs / Outputs** bezeichnet werden) mit Bedienungselementen (Taster, Schalter ...) auf dem *MCCAB Trainingsboard* oder mit externen Anschlüssen verbunden werden.



Abbildung 3: Verschiedene Ausführungen von *Dupont*-Kabeln zur Verbindung der GPIOs mit den Bedienungselementen



Der Anwender muss jeden GPIO des *Arduino® NANO - Mikrocontrollermoduls* auf den beiden Anschlussleisten SV5 und SV6 (Pfeil (3) und Pfeil (7) in Abbildung 1), der über ein Dupont-Kabel mit einem Anschluss auf dem Trainingsboard oder einem externen Anschluss verbunden ist, in seinem Programm für die erforderliche Datenrichtung als *Eingang* oder *Ausgang* konfigurieren!

Die Datenrichtung wird eingestellt mit der Anweisung

```
pinMode(gpio, direction); // für »gpio« die entsprechende Pin-Nummer einsetzen  
// für »direction« »INPUT« bzw. »OUTPUT« einsetzen
```

Beispiele:

```
pinMode(2, OUTPUT); // GPIO D2 ist als Ausgang eingerichtet  
pinMode(13, INPUT); // GPIO D13 ist als Eingang eingerichtet
```

Abbildung 4 zeigt die Beschaltung des *Arduino® NANO - Mikrocontrollermoduls* M1 auf dem *MCCAB Trainingsboard*.

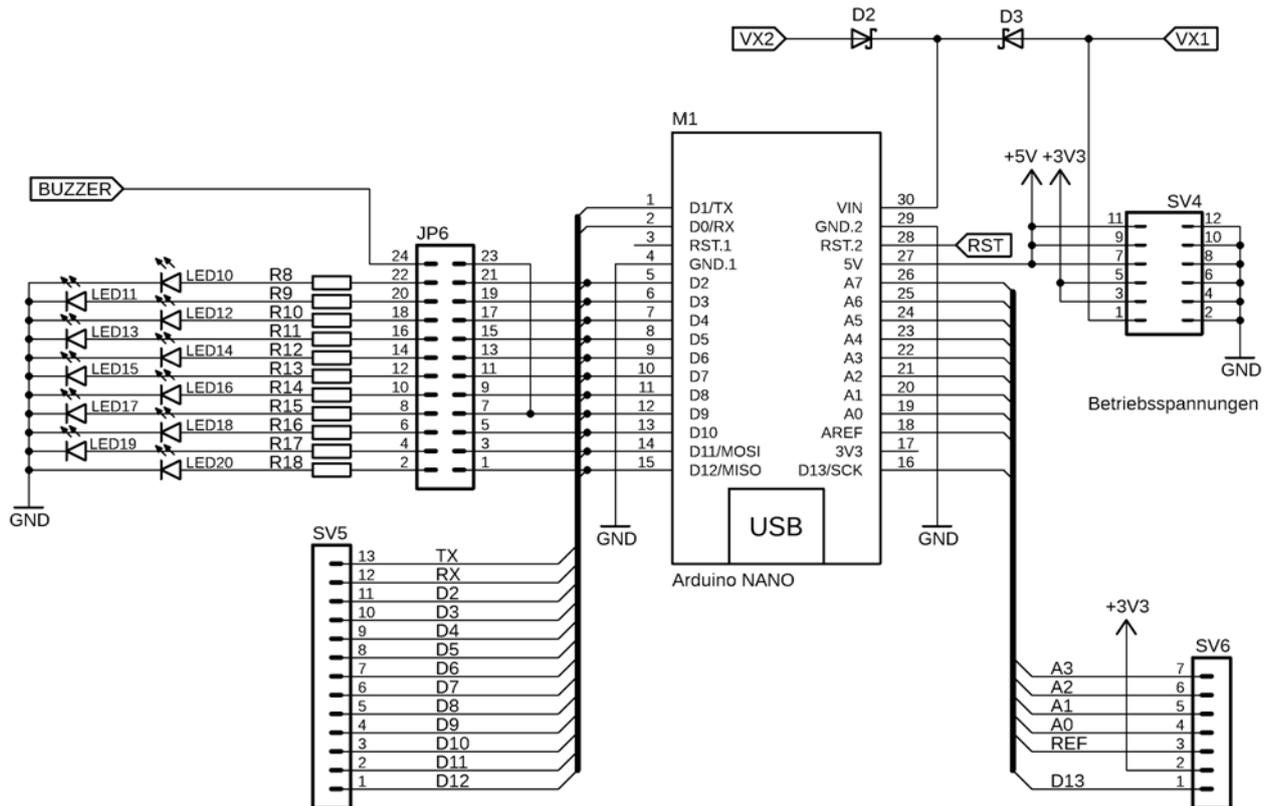


Abbildung 4: Die Beschaltung des Mikrocontrollermoduls *Arduino*[®] *NANO* auf dem MCCAB Trainingsboard

Die wichtigsten Daten des Mikrocontrollermoduls *Arduino*[®] *NANO*:

- Betriebsspannung Vcc: +5 V
- Extern zugeführte Betriebsspannung an VIN: +8 V bis +12 V (siehe Abschnitt 4.2)
- Analoge Eingangs-Pins des ADCs: 8 (A0 ... A7, siehe folgende [Hinweise](#))
- Digitale Eingangs- / Ausgangs-Pins: 12 (D2 ... D13) bzw. 16 (siehe [Hinweise](#))
- Stromverbrauch des NANO-Moduls: ca. 20 mA
- Max. Ein-/Ausgangsstrom eines GPIOs: 40 mA
- Summe Ein-/Ausgangsströme aller GPIOs: maximal 200 mA
- Befehlsspeicher (Flash-Speicher): 32 KB
- Arbeitsspeicher (RAM-Speicher): 2 KB
- EEPROM-Speicher: 1 KB
- Taktfrequenz: 16 MHz
- Serielle Schnittstellen: SPI, I²C (zu UART siehe [Hinweise](#))



Hinweise

- Die GPIOs **D0 und D1** (Pin 2 und Pin 1 des Moduls M1 in Abbildung 4) sind belegt mit den Signalen RxD und TxD des Mikrocontroller-**UARTs** und dienen zur seriellen Verbindung zwischen dem *MCCAB Trainingsboard* und dem USB-Anschluss des PCs. Sie stehen dem Anwender deshalb **nur eingeschränkt zur Verfügung** (siehe hierzu auch Abschnitt 4.3).

- Die GPIOs **A4 und A5** (Pin 23 und Pin 24 des Moduls M1 in Abbildung 4) sind belegt mit den Signalen SDA und SCL der I²C-Schnittstelle des Mikrocontrollers (siehe hierzu Abschnitt 4.13) und daher reserviert für die serielle Verbindung zu dem LC-Display auf dem *MCCAB Trainingsboard* (siehe Abschnitt 4.9) und zu externen I²C-Modulen, die an die Anschlussleisten *SV8, SV9 und SV10* (Pfeile (15), (16) und (14) in Abbildung 1) angeschlossen sind. Sie stehen dem Anwender deshalb **nur für I²C-Anwendungen zur Verfügung**.
- Die Anschlüsse **A6 und A7** (Pin 25 und Pin 26 des Mikrocontrollers ATmega328P in Abbildung 1) können ausschließlich als analoge Eingänge für den Analog / Digital - Wandler (ADC) des Mikrocontrollers verwendet werden. Sie dürfen mittels **Function `pinMode()` nicht konfiguriert werden** (auch nicht als Eingang!), dies würde zu einem Fehlverhalten des Sketches führen. A6 und A7 sind auf dem Trainingsboard fest mit den Schleifer-Anschlüssen der **Potenzimeter P1 und P2** (Pfeil (8) und Pfeil (10) in Abbildung 1) verbunden, siehe hierzu Abschnitt 4.3.
- Die Anschlüsse **A0 ... A3** auf Anschlussleiste SV6 (Pfeil (7) in Abbildung 1) sind prinzipiell analoge Eingänge für den Analog / Digital - Wandler des Mikrocontrollers. Wenn aber für einen bestimmten Anwendungsfall die 12 digitalen GPIOs D2 ... D13 nicht ausreichen, kann man auch A0 ... A3 als digitale Ein- / Ausgänge verwenden. Sie werden dann über die Pin-Nummern 14 (A0) ... 17 (A3) angesprochen.
Beispiele:

```
pinMode(15, OUTPUT); // A1 wird als digitaler Ausgang verwendet
pinMode(17, INPUT); // A3 wird als digitaler Eingang verwendet
```
- Der Anschluss **D12** auf Anschlussleiste SV5 (Pfeil (3) in Abbildung 1) und die Anschlüsse **D13** und **A0 ... A3** auf Anschlussleiste SV6 (Pfeil (7) in Abbildung 1) sind an die Pfostenleiste JP2 (Pfeil (21) in Abbildung 1) geführt und können über Steckbrücken mit den Schaltern S1 ... S6 bzw. den zu diesen parallel geschalteten Tastern K1 ... K6 verbunden werden, siehe hierzu auch Abschnitt 4.6. Der jeweilige Pin muss in diesem Fall mit der `pinMode`-Anweisung als digitaler Eingang konfiguriert werden.



Genauigkeit der A/D-Wandlung

Digitale Signale innerhalb des Mikrocontroller-Chips erzeugen elektromagnetische Störungen, die die Genauigkeit analoger Messungen beeinträchtigen können.

Wenn einer der GPIOs **A0 ... A3 als digitaler Ausgang** verwendet wird, ist es daher wichtig, dass dieser **nicht umschaltet**, während an einem anderen Analogeingang eine Analog / Digital - Wandlung stattfindet! Eine Änderung des digitalen Ausgangssignals an A0 ... A3 während einer an einem der übrigen analogen Eingänge A0 ... A7 laufenden Analog / Digital - Wandlung kann das Ergebnis dieser Wandlung erheblich **verfälschen**.

Die Verwendung der I²C-Schnittstelle (**A4 und A5**, siehe Abschnitt 4.13) oder der GPIOs **A0 ... A3 als digitale Eingänge** beeinflusst dagegen die Qualität der Analog / Digital - Wandlungen nicht.

4.2 Die Spannungsversorgung des Trainingsboards

Das *MCCAB Trainingsboard* arbeitet mit einer nominellen Betriebs-Gleichspannung von $V_{cc} = +5V$, die ihm in der Regel über die Mini-USB - Buchse des *Arduino*[®] *NANO-Mikrocon-*

trollermoduls von dem angeschlossenen PC zugeführt wird (Abbildung 5, Abbildung 2 und Pfeil (5) in Abbildung 1). Da der PC üblicherweise zur Erstellung und Übertragung der Übungsprogramme ohnehin angeschlossen ist, bietet sich diese Art der Spannungsversorgung an.

Dazu muss das Trainingsboard über ein Mini-USB - Kabel mit einem USB-Port des Anwender-PCs verbunden sein. Der PC stellt über seine USB-Schnittstelle eine galvanisch von der Netzspannung getrennte, stabilisierte Gleichspannung von ca. +5 V bereit, die mit einem Strom von maximal 0,5 A belastbar ist. Das Vorhandensein der Betriebsspannung +5 V wird durch die mit ON (oder POW, PWR) bezeichnete Leuchtdiode auf dem Mikrocontrollermodul angezeigt (Abbildung 5, Abbildung 2).

Die über die Mini-USB - Buchse eingespeiste Spannung +5 V wird auf dem *Arduino® NANO-Mikrocontrollermodul* über eine Schutzdiode D mit dessen eigentlichem Betriebsspannungsanschluss Vcc verbunden. Die tatsächliche Betriebsspannung Vcc verringert sich durch den Spannungsabfall an der Schutzdiode D geringfügig auf $V_{cc} \approx +4.7 \text{ V}$. Auf das *Arduino® NANO-Mikrocontrollermodul* hat diese kleine Verminderung der Betriebsspannung keine seine Funktion beeinträchtigende Auswirkung.

Alternativ kann das Trainingsboard durch eine externe Gleichspannungsquelle gespeist werden. Diese entweder an Anschluss VX1 oder an Anschluss VX2 angelegte Spannung muss im Bereich $U_{Ext} = +8 \dots +12 \text{ V}$ liegen. Die externe Spannung wird entweder über die Anschlussleiste SV4 oder von einem an Buchsenleiste SV2 angeschlossenen externen Modul in den Pin 30 (= VIN) des *Arduino® NANO-Mikrocontrollermoduls* eingespeist (siehe Abbildung 5, Abbildung 4 und Pfeil (22) bzw. Pfeil (26) in Abbildung 1).

Da das Board über seine USB-Buchse von dem angeschlossenen PC mit Spannung versorgt wird, ist eine Verpolung der Betriebsspannung nicht möglich. Die beiden an den Anschlüssen VX1 und VX2 extern zuführbaren Spannungen sind durch Dioden entkoppelt, wie Abbildung 5 zeigt.

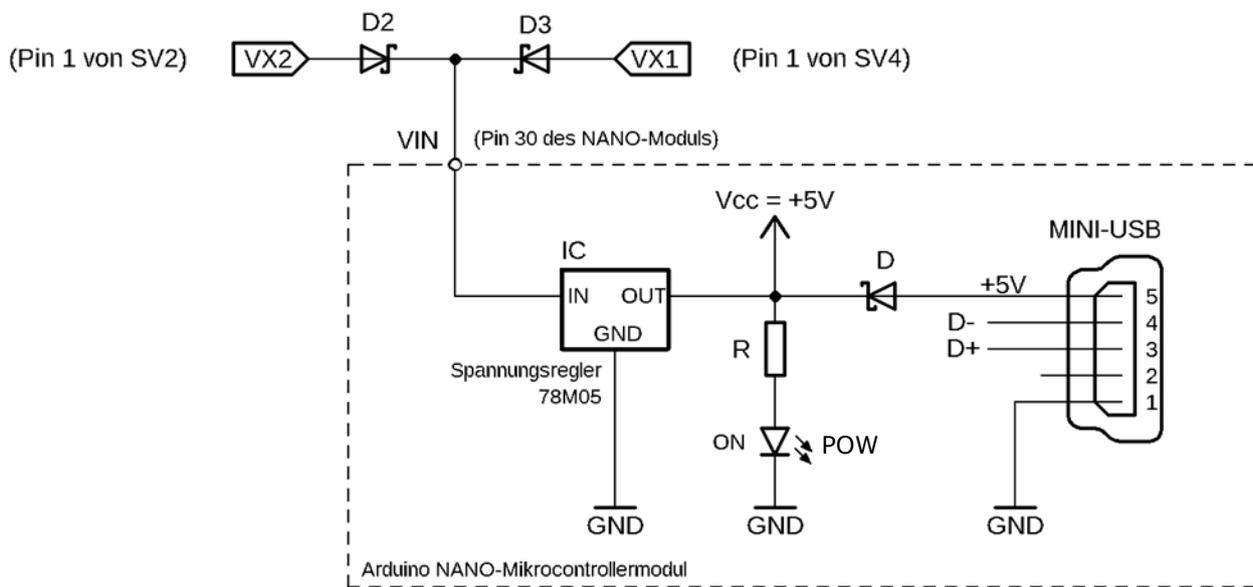


Abbildung 5: Erzeugung der Betriebsspannung Vcc des *Arduino®-Mikrocontrollermoduls*

Die Dioden D2 und D3 sorgen für eine Entkopplung der beiden externen Spannungen an VX1 und VX2, falls irrtümlich Spannung gleichzeitig an beide externe Eingänge gelegt sein sollte, denn aufgrund der Dioden-Beschaltung kann nur die höhere der beiden Spannungen an den Eingang VIN (Pin 30, siehe Abbildung 5 und Abbildung 4) des *Arduino® NANO-Mikrocontrollermoduls* M1 gelangen.

Die dem Mikrocontrollermodul an seinem Anschluss VIN zugeführte externe Gleichspannung wird durch den integrierten Spannungsregler auf der Unterseite des Mikrocontrollermoduls (siehe Abbildung 2) auf +5 V verringert und stabilisiert. Die vom Spannungsregler erzeugte Betriebsspannung +5 V liegt an der Kathode der Diode D in Abbildung 5. Die Anode von D wird durch den PC ebenfalls auf das Potenzial +5 V gelegt, wenn die USB-Verbindung zum PC gesteckt ist. Die Diode D ist dadurch gesperrt und wirkt sich auf die Funktion der Schaltung nicht mehr aus. Die Stromversorgung über das USB-Kabel ist in diesem Fall abgeschaltet.

Die +3.3 V-Hilfsspannung wird auf dem *MCCAB Trainingsboard* durch einen linearen Spannungsregler aus der +5 V-Betriebsspannung V_{cc} des Mikrocontrollermoduls erzeugt und kann einen Strom von maximal 200 mA liefern.



Häufig wird in Projekten ein Zugriff auf die Betriebsspannungen benötigt, z.B. zur Spannungsversorgung externer Module. Zu diesem Zweck stellt das *MCCAB Trainingsboard* den Spannungsverteiler SV4 bereit (Abbildung 4 und Pfeil (21) in Abbildung 1), auf dem neben dem Anschlusspin VX1 für die externe Spannung zwei Ausgänge für die Spannung +3.3 V und drei Ausgänge für die Spannung +5 V sowie sechs Masseanschlüsse (GND, 0 V) zur Verfügung stehen.

4.3 Die USB-Verbindung zwischen dem Trainingsboard und dem PC

Die Programme, die der Anwender in der *Arduino IDE* (Entwicklungsumgebung) auf seinem PC entwickelt, werden über ein USB-Kabel in den Mikrocontroller ATmega328P auf dem *MCCAB Trainingsboard* geladen. Dazu muss das Mikrocontrollermodul auf dem *MCCAB Trainingsboard* (Pfeil (5) in Abbildung 1) über ein Mini-USB - Kabel mit einem USB-Port des PCs des Anwenders verbunden sein.

Da der Mikrocontroller ATmega328P auf dem Mikrocontrollermodul nicht über eine eigene USB-Schnittstelle auf seinem Chip verfügt, hat das Modul auf seiner Unterseite eine integrierte Schaltung zur Wandlung der USB-Signale D+ und D- in die seriellen Signale RxD und TxD des UARTs auf dem Chip des ATmega328P.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, über den UART des Mikrocontrollers und die nachgeschaltete USB-Verbindung Daten an den in die *Arduino IDE* integrierten Seriellen Monitor auszugeben oder von ihm einzulesen. Hierzu steht dem Anwender in der *Arduino IDE* die Library »Serial« zur Verfügung.

Die Stromversorgung des Trainingsboards erfolgt im Normalfall ebenfalls über die USB-Schnittstelle des Anwender-PCs (siehe Abschnitt 4.2).



Es ist nicht vorgesehen, dass der Anwender die an die Pfostenleiste SV5 (Pfeil (3) in Abbildung 1) herausgeführten Signale RX und TX des Mikrocontrollers auch zur seriellen Kommunikation mit externen Geräten (z.B. WLAN-, Bluetooth-Transceiver o.ä.) verwendet, da dies trotz der vorhandenen Schutzwiderstände zu einer Beschädigung der integrierten USB \leftrightarrow UART - Wandlerschaltung auf der Unterseite des Mikrocontrollermoduls (siehe Abschnitt 4.1) führen kann!

Tut er es dennoch, muss er allerdings unbedingt sicherstellen, dass zur selben Zeit über die USB-Buchse keine Kommunikation zwischen dem PC und dem Arduino® NANO-Mikrocontrollermodul stattfindet! Über die USB-Buchse zugeführte Signale würden zu einer Beeinträchtigung der Kommunikation mit dem externen Gerät und im schlimmsten Fall auch zu einer Beschädigung der Hardware führen!

4.4 Die elf Leuchtdioden zur Statusanzeige der Mikrocontroller-GPIOs D2 ... D12

Im linken unteren Teil von Abbildung 1 sieht man die 11 Leuchtdioden LED10 ... LED20 (Pfeil (1) in Abbildung 1), die den Status der Ein- / Ausgänge (GPIOs) D2 ... D12 des Mikrocontrollers anzeigen können. Den zugehörigen Schaltplan zeigt Abbildung 4.

Die jeweilige Leuchtdiode ist mit dem GPIO verbunden, wenn auf der entsprechenden Position der Pfostenleiste JP6 (Pfeil (2) in Abbildung 1) eine Steckbrücke (Jumper) gesteckt ist.

Wenn bei gestecktem Jumper auf JP6 der entsprechende GPIO D2 ... D12 auf HIGH-Pegel (+5 V) liegt, leuchtet die zugeordnete LED, wenn der GPIO auf LOW (GND, 0 V) liegt, ist die LED ausgeschaltet.



Wenn einer der GPIOs D2 ... D12 als Eingang verwendet wird, kann es notwendig werden, die ihm zugeordnete Leuchtdiode durch Entfernen der Steckbrücke zu deaktivieren, um eine Belastung des Eingangssignals durch den Betriebsstrom der LED (ca. 2 ... 3 mA) zu vermeiden.

Der Status des GPIOs D13 wird durch eine eigene Leuchtdiode L direkt auf dem Mikrocontrollermodul angezeigt (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2). Die Leuchtdiode L kann nicht deaktiviert werden.

Da die Ein- / Ausgänge A0 ... A7 prinzipiell als analoge Eingänge für den Analog / Digital-Wandler des Mikrocontrollers oder für Sonderaufgaben (TWI-Interface) verwendet werden, wird bei ihnen auf eine digitale LED-Statusanzeige verzichtet, um diese Funktionen nicht zu beeinträchtigen.

4.5 Die Potenziometer P1 und P2

Mit den Drehachsen der beiden Potenziometer P1 und P2 am unteren Rand von Abbildung 1 (Pfeil (8) und Pfeil (10) in Abbildung 1) kann man an ihren Schleiferanschlüssen Spannungen im Bereich 0 ... U_{Pot} einstellen. Die Beschaltung der beiden Potenziometer kann Abbildung 6 entnommen werden.

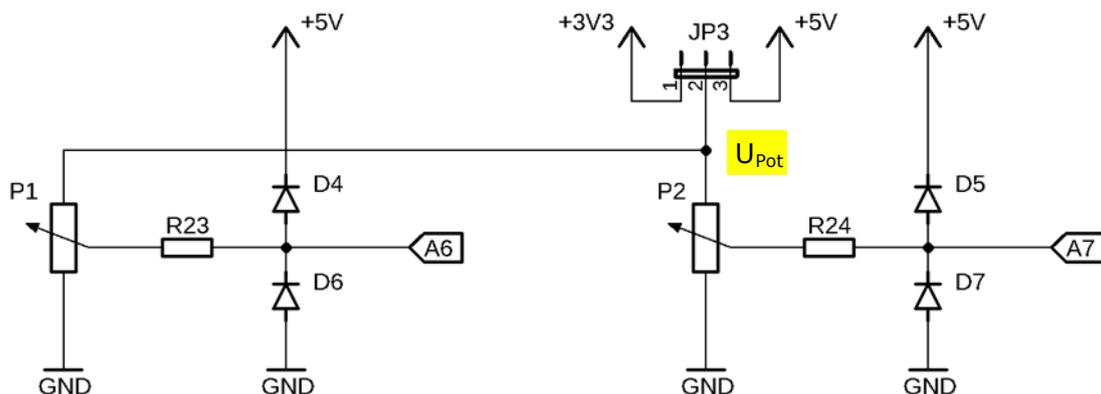


Abbildung 6: Die Beschaltung der Potenziometer P1 und P2

Die Schleiferanschlüsse der beiden Potenziometer sind über die Schutzwiderstände R23 und R24 mit den Analogeingängen A6 bzw. A7 des *Arduino*[®] *NANO-Mikrocontrollermoduls* verbunden.

Die Schutzdioden D4, D6 bzw. D5, D7 schützen den jeweiligen Analogeingang des Mikrocontrollers vor zu hohen oder negativen Spannungen.



Vorsicht:

Die Pins A6 und A7 des ATmega328P sind aufgrund der internen Chip-Architektur des Mikrocontrollers immer analoge Eingänge. Ihre Konfiguration mit der Function `pinMode()` der *Arduino IDE* ist nicht gestattet und kann zu einem Fehlverhalten des Programms führen.

Über den Analog / Digital - Wandler des Mikrocontrollers kann die eingestellte Spannung auf einfache Weise gemessen werden.

Beispiel zum Einlesen des Wertes von Potenziometer P1 an Anschluss A6:

```
int z = analogRead(A6);
```

Der 10 Bit - Zahlenwert Z, der sich aus der Spannung an A6 gemäß

$$Z = \frac{U_{ADC}}{U_{REF}} \cdot 1024 \quad (\text{Gleichung 1 aus Abschnitt 5})$$

ergibt, wird in die Variable z eingelesen.

Die gewünschte Obergrenze $U_{Pot} = +3.3 \text{ V}$ bzw. $U_{Pot} = +5 \text{ V}$ des Einstellbereichs wird mit der Pfostenleiste JP3 (Pfeil (9) in Abbildung 1) festgelegt. Zur Auswahl von U_{Pot} wird entweder Pin 1 oder Pin 3 von JP3 mittels einer Kurzschlussbrücke (Jumper) mit Pin2 verbunden.

Welche Spannung mit JP3 für U_{Pot} eingestellt werden muss, ist abhängig von der Referenzspannung U_{REF} des Analog / Digital - Wandlers am Anschluss REF der Anschlussleiste SV6 (Pfeil (7) in Abbildung 1), siehe hierzu Abschnitt 5.



Die Referenzspannung U_{REF} des A/D - Wandlers am Anschluss REF der Anschlussleiste SV6 und die mit S8 festgelegte Spannung U_{Pot} **müssen übereinstimmen**.

4.6 Die Schalter S1 ... S6 und die Taster K1 ... K6

Auf dem *MCCAB Trainingsboard* stehen dem Anwender sechs Tastschalter und sechs Schiebeschalter für seine Übungen zur Verfügung (Pfeile (20) und (19) in Abbildung 1). Ihre Beschriftung zeigt Abbildung 7.

Um dem Anwender die Möglichkeit zu geben, wahlweise entweder ein dauerhaftes oder ein Impulssignal an einen der Eingänge des *Mikrocontrollermoduls M1* zu legen, sind jeweils ein Schiebe- und ein Tastschalter parallel geschaltet.

Der gemeinsame Ausgang jedes der sechs Schalterpaare ist über einen Schutzwiderstand (R25 ... R30) an die Pfostenleiste JP2 geführt (Pfeil (21) in Abbildung 1).

Die Parallelschaltung eines Schiebe- und eines Tastschalters mit einem gemeinsamen Arbeitswiderstand (R31 ... R36) wirkt wie eine logische ODER-Verknüpfung: Wenn über einen der beiden Schalter (oder auch beide Schalter gleichzeitig) die +5 V-Spannung an dem gemeinsamen Arbeitswiderstand liegt, liegt dieser logische HIGH-Pegel über den Schutzwiderstand auch an dem entsprechenden Pin 2, 4, 6, 8, 10 oder 12 von JP2. Nur wenn beide Schalter geöffnet sind, ist ihr gemeinsamer Anschluss offen und der zugehörige Pin der Pfostenleiste JP2 wird über die Reihenschaltung von Schutzwiderstand und Arbeitswiderstand auf LOW-Pegel (0 V, GND) gezogen.

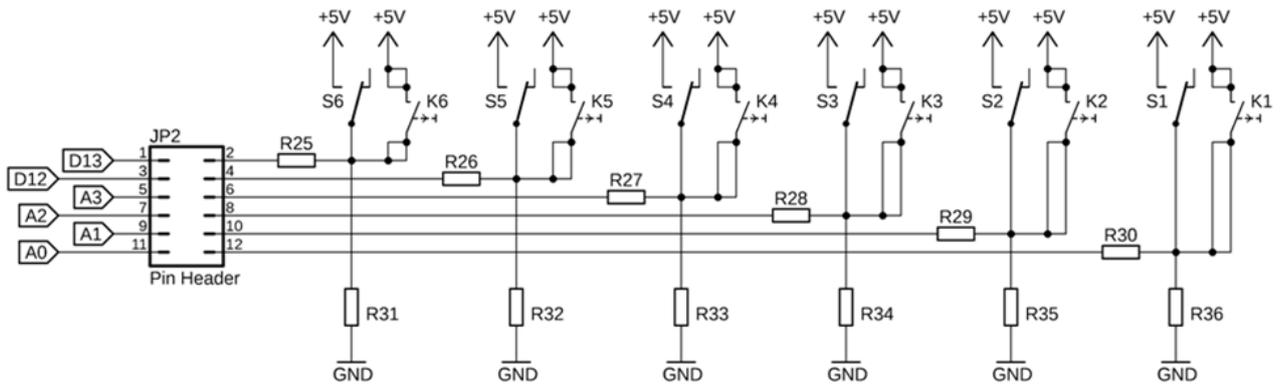


Abbildung 7: Die Beschaltung der Schiebe- / Tastschalter S1 ... S6 / K1 ... K6

Jeder Pin der Pfostenleiste JP2 kann über eine Steckbrücke mit dem ihm zugeordneten Eingang A0 ... A3, D12 oder D13 des *Arduino® NANO-Mikrocontrollermoduls* verbunden werden. Die Zuordnung ist Abbildung 7 zu entnehmen.

Alternativ kann ein Schalteranschluss an den Pins 2, 4, 6, 8, 10 oder 12 der Pfostenleiste JP2 auch über ein Dupont-Kabel mit einem beliebigen Eingang D2 ... D13 oder A0 ... A3 des *Arduino® Mikrocontrollermoduls* auf den beiden Anschlussleisten SV5 bzw. SV6 (Pfeil (3) und Pfeil (7) in Abbildung 1) verbunden werden. Diese flexible Art des Anschlusses ist der festen Zuordnung jedes Schalters zu einem bestimmten GPIO dann vorzuziehen, wenn der zugeordnete GPIO des Mikrocontrollers ATmega328P für eine Sonderfunktionen (A/D-Wandler-Eingang, PWM-Ausgang ...) verwendet wird. Der Anwender kann so seine Schalter mit den GPIOs verbinden, die im jeweiligen Anwendungsfall frei, d.h. nicht durch eine Sonderfunktion belegt sind.



Der Anwender muss jeden GPIO des *Arduino® NANO-Mikrocontrollermoduls*, der mit einem Schalteranschluss verbunden ist, in seinem Programm mit der Anweisung

```
pinMode(gpio, INPUT); // für »gpio« die entsprechende Pin-Nummer einsetzen
als Eingang konfigurieren!
```

Beispiel:

```
pinMode(A1, INPUT); // A1 wird als digitaler Eingang für S2|K2 eingerichtet
```

Für den Fall, dass ein mit einem Schalteranschluss verbundener GPIO des Mikrocontrollers irrtümlich als Ausgang konfiguriert wurde, verhindern die Schutzwiderstände R25 ... R30 einen Kurzschluss zwischen +5V und GND (0V), wenn der Schalter betätigt ist und der GPIO an seinem Ausgang LOW-Pegel führt.



Um einen **Tastschalter verwenden** zu können, muss der ihm parallelgeschaltete **Schiebeschalter geöffnet** sein (Stellung »0«)! Andernfalls liegt ihr gemeinsamer Ausgang unabhängig von der Stellung des Tastschalters dauerhaft auf HIGH-Pegel.

Die Schalterstellungen der Schiebeschalter sind auf dem Trainingsboard wie in Abbildung 1 gezeigt mit »0« und »1« markiert.

Aus Abbildung 8 folgt: Steht der Schalter in Stellung »1«, so ist der Schalterausgang mit +5V (HIGH-Pegel) verbunden, in Stellung »0« ist der Schalterausgang offen.

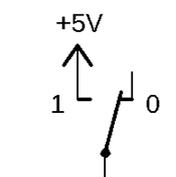


Abbildung 8

4.7 Der Piezo-Summer *Buzzer1*

Im linken oberen Teil von Abbildung 1 sieht man den Piezo-Summer *Buzzer1* (Pfeil (23) in Abbildung 1), der es dem Anwender ermöglicht, Töne unterschiedlicher Frequenz auszugeben. Seine prinzipielle Beschaltung zeigt Abbildung 9.

Der Summer *Buzzer1* kann auf dem *MCCAB Trainingsboard* über eine Steckbrücke (Jumper) auf der Position »Buzzer« der Pfostenleiste JP6 (Pfeil (29) in Abbildung 1) mit dem GPIO D9 des Mikrocontrollers verbunden werden (siehe Abbildung 9, Abbildung 4 und Pfeil (2) in Abbildung 1). Die Steckbrücke kann entfernt werden, wenn der GPIO D9 in einem Programm für andere Zwecke benötigt wird.

Bei entfernter Steckbrücke besteht außerdem die Möglichkeit, über ein Dupont-Kabel an den Pin 24 der Pfostenleiste JP6 ein externes Signal anzulegen und durch den Summer *Buzzer1* ausgeben zu lassen.

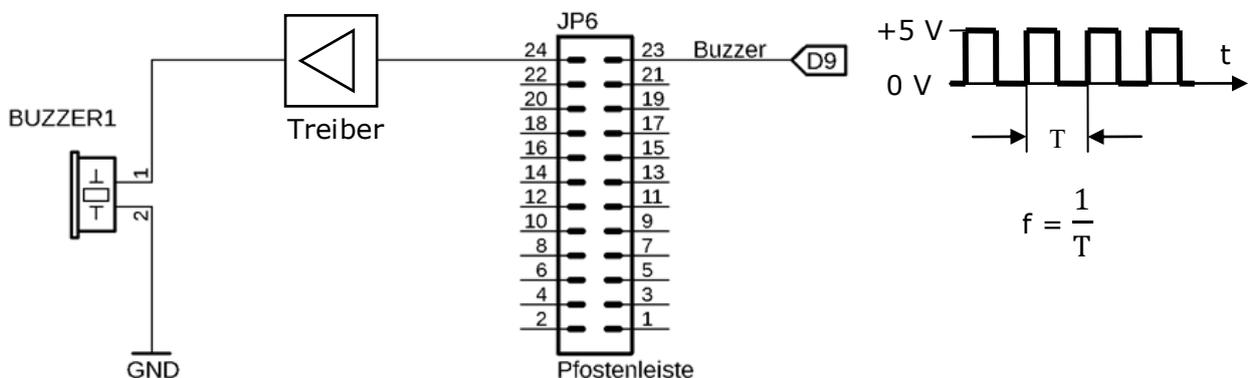


Abbildung 9: Die Beschaltung des Summers *Buzzer1*

Zur Generierung von Tönen muss der Anwender in seinem Programm ein sich mit der gewünschten Tonfrequenz änderndes Signal an Ausgang D9 des Mikrocontrollers erzeugen (rechts in Abbildung 9 skizziert). Durch diese schnelle Folge von HIGH- und LOW-Pegeln liegt an *Buzzer1* eine rechteckförmige Wechsellspannung, die das Keramikplättchen im Inneren des Summers periodisch verformt und so Schallschwingungen mit der entsprechenden Tonfrequenz erzeugt.

Noch einfacher kann ein Ton durch die Verwendung von T/C1 (Timer/Counter 1) des Mikrocontrollers erzeugt werden:

Der T/C1-Ausgang OC1A des AVR-Mikrocontrollers ATmega328P auf dem *Arduino® NANO-Mikrocontrollermodul* kann im Inneren des Mikrocontroller-Chips mit GPIO D9 verbunden werden. Bei entsprechender Programmierung von T/C1 kann man so sehr einfach ein Rechtecksignal erzeugen, dessen Frequenz $f = \frac{1}{T}$ (T ist die Periodendauer des Rechtecksignals) durch den Summer in den gewünschten Ton umgewandelt wird.

Dass ein Piezo-Summer kein HiFi-Lautsprecher ist, zeigt Abbildung 10. Wie man sieht, ist der Frequenzgang eines Piezo-Summers alles andere als linear. Das Diagramm in Abbildung 10 zeigt exemplarisch den in 1 m Abstand gemessenen Schalldruck (SPL = Sound Pressure Level, Einheit *Dezibel*) des Piezo-Transducers *SAST-2155* der Firma *Sonitron* in Abhängigkeit von der Signalfrequenz. Aufgrund physikalischer Eigenschaften und Eigenresonanzen werden bestimmte Frequenzen lauter und andere leiser wiedergegeben. Das entsprechende Diagramm des Piezo-Summers auf dem *MCCAB Trainingsboard* weist einen ähnlichen Verlauf auf.

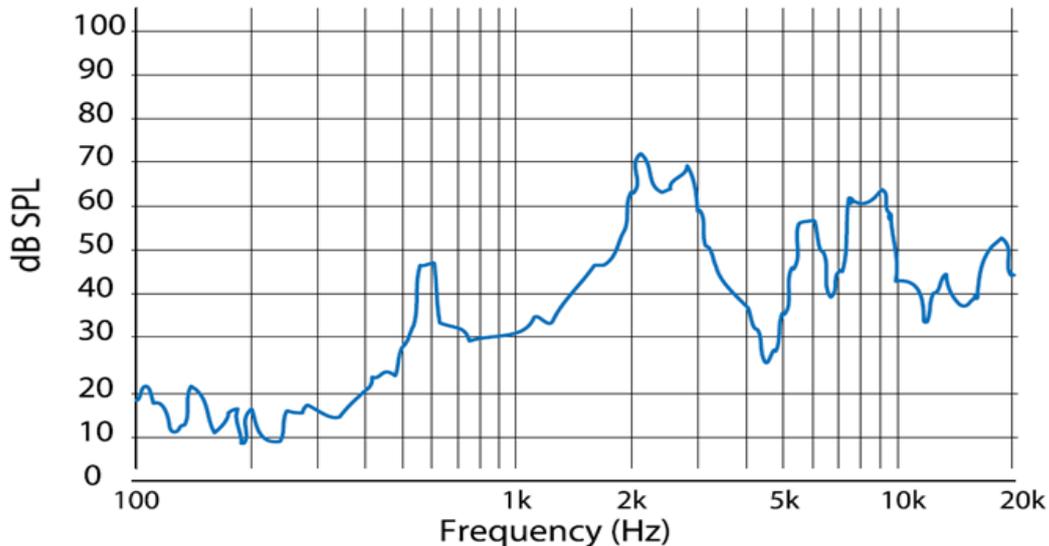


Abbildung 10: Typischer Frequenzgang eines Piezo-Summers am Beispiel des SAST-2155 der Firma Sonitron

Trotz dieser Einschränkung bildet ein Piezo-Summer einen guten Kompromiss zwischen der Wiedergabequalität der von dem Mikrocontroller erzeugten Töne und seinem Platzbedarf, der es ermöglicht, ihn auch auf kleinem Raum unterzubringen.

In Fällen, in denen eine höhere Qualität der Tonausgabe erforderlich ist, kann der Piezo-Summer durch Entfernen der Steckbrücke von Ausgang D9 getrennt und D9 auf der Pfostenleiste SV5 z.B. über ein Dupont-Kabel (gegebenenfalls über einen Spannungsteiler zur Reduzierung der Amplitude, um eine Beschädigung der Eingangsstufe zu vermeiden) mit einer externen Anlage zur Tonwiedergabe verbunden werden.

4.8 Die 3 × 3 LED-Matrix

Die 9 Leuchtdioden im linken Teil von Abbildung 1 sind in Form einer Matrix mit 3 Spalten und 3 Zeilen angeordnet (Pfeil (27) in Abbildung 1). Ihre Beschaltung zeigt Abbildung 11. Durch die Matrixanordnung können 9 LEDs mit nur 6 GPIOs des Mikrocontrollers gesteuert werden.

Die 3 Spaltenleitungen A, B und C sind fest mit den Pins D8, D7 und D6 des Mikrocontrollers verbunden, wie Abbildung 11 zeigt. Die drei Widerstände R5 ... R7 in den Spaltenleitungen begrenzen den Strom durch die LEDs. Zusätzlich sind die Spaltenleitungen an die Anschlussleiste SV3 (Pfeil (25) in Abbildung 1) geführt.

Die drei Zeilenanschlüsse 1, 2 und 3 sind auf die Pfostenleiste JP1 (Pfeil (28) in Abbildung 1) gelegt. Mittels Steckbrücken können sie mit den Pins D3 ... D5 des Mikrocontrollers verbunden werden. Alternativ kann ein Zeilenanschluss an den Pins 1, 2 oder 3 der Pfostenleiste JP1 auch über ein Dupont-Kabel mit einem beliebigen Ausgang D2 ... D13 oder A0 ... A3 des *Arduino*[®] *NANO-Mikrocontrollermoduls* auf den beiden Anschlussleisten SV5 bzw. SV6 (Pfeil (3) und Pfeil (7) in Abbildung 1) verbunden werden, wenn einer der zugeordneten GPIOs D3 ... D5 des Mikrocontrollers ATmega328P auf dem *Arduino*[®] *NANO-Mikrocontrollermodul* für eine Sonderfunktionen verwendet wird.

Die 9 Leuchtdioden sind entsprechend ihrer Anordnung innerhalb der Matrix als A1 ... C3 bezeichnet, z.B. liegt die LED B1 an Spaltenleitung B und an Zeilenleitung 1.

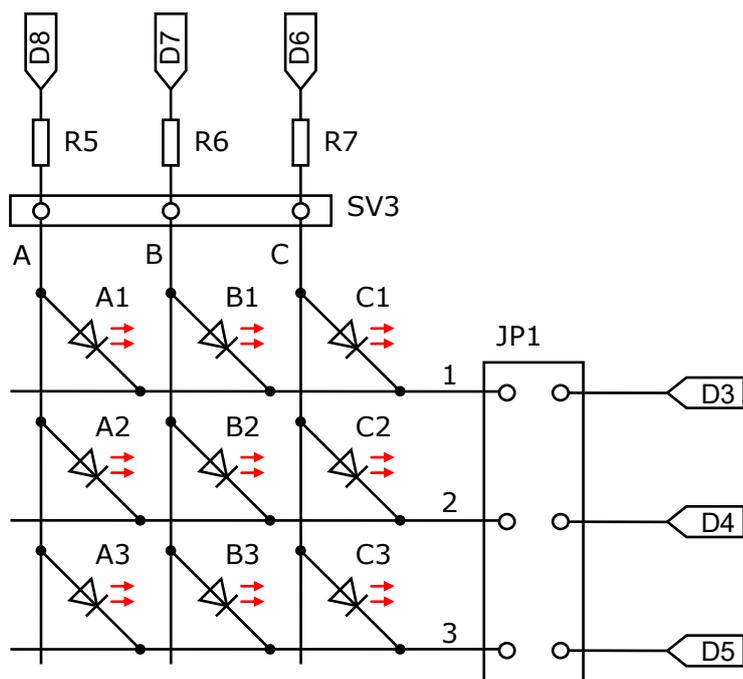


Abbildung 11: Die neun LEDs in Form einer 3×3 - Matrix

Die Ansteuerung der Leuchtdioden durch das Anwenderprogramm erfolgt üblicherweise in einer Endlosschleife, in welcher zyklisch nacheinander eine der drei Zeilen 1, 2 und 3 auf LOW-Potenzial gelegt wird, während die beiden anderen Zeilen auf HIGH-Pegel liegen oder sich in einem hochohmigen Zustand (Hi-Z) befinden. Wenn eine oder mehrere der Leuchtdioden in der gerade durch LOW-Pegel aktivierten Zeile leuchten sollen, so wird ihr Spaltenanschluss A, B oder C auf HIGH-Pegel gelegt. Die Spaltenanschlüsse der LEDs in der aktiven Zeile, die nicht leuchten sollen, liegen auf LOW-Potenzial.

Um z.B. die beiden LEDs A3 und C3 leuchten zu lassen, müssen Zeile 3 auf LOW-Pegel und die Spalten A und C auf HIGH-Pegel liegen, während die beiden Zeilenleitungen 1 und 2 auf HIGH-Pegel liegen oder im hochohmigen Zustand (Hi-Z) sind und Spalte B auf LOW-Pegel liegt.



Vorsicht:

Wenn die Zeilenleitungen der 3×3 LED-Matrix entweder über Jumper auf der Pfostenleiste JP1 mit den GPIOs D3 ... D5 oder über Dupont-Kabel mit anderen GPIOs des Mikrocontrollers verbunden sind, dürfen diese Zeilenleitungen sowie die Spaltenleitungen D6 ... D8 in einem Programm keinesfalls für andere Aufgaben verwendet werden. Eine Doppelbelegung der Matrix-GPIOs würde zu Fehlfunktionen oder sogar zur Beschädigung des Trainingsboards führen!

4.9 Das LC-Display (LCD)

Oben rechts in Abbildung 1 befindet sich das LC-Display (LCD) zur Anzeige von Texten oder Zahlenwerten (Pfeil (18) in Abbildung 1). Das LCD verfügt über zwei Zeilen, in jeder Zeile können 16 Zeichen angezeigt werden. Seine Beschaltung zeigt Abbildung 12.

Die Ausführung des LC-Displays kann herstellerbedingt variieren, so sind z.B. weiße Zeichen auf blauem Grund oder auch schwarze Zeichen auf gelbem Grund oder ein anderes Erscheinungsbild möglich.

Da das LCD nicht in allen Programmen benötigt wird, kann die +5 V-Betriebsspannung des LCDs durch Ziehen der Steckbrücke (Jumper) auf der Pfostenleiste JP5 unterbrochen werden, falls die Hintergrundbeleuchtung des LCDs stören sollte.

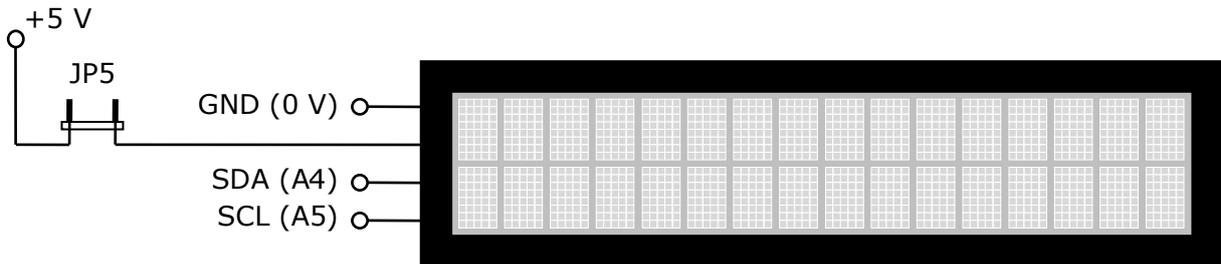


Abbildung 12: Die Anschlüsse des LC-Displays

Kontrasteinstellung



Der Käufer des *MCCAB Trainingsboards* muss den Kontrast des LC-Displays bei der ersten Inbetriebnahme einstellen! Dazu wird ein Text auf das LCD ausgegeben und der Kontrast durch Verstellen des in Abbildung 13 gezeigten Trimmwiderstands (weiße Pfeilmarkierung in Abbildung 13) mit einem Schraubendreher von der Unterseite des Trainingsboards aus so eingestellt, dass die Zeichen auf dem Display optimal dargestellt werden.

Wenn durch Temperaturschwankungen oder Alterungseinflüsse eine Nachjustierung erforderlich werden sollte, kann der Benutzer den LCD-Kontrast durch Verstellen dieses Trimmwiderstands gegebenenfalls korrigieren.

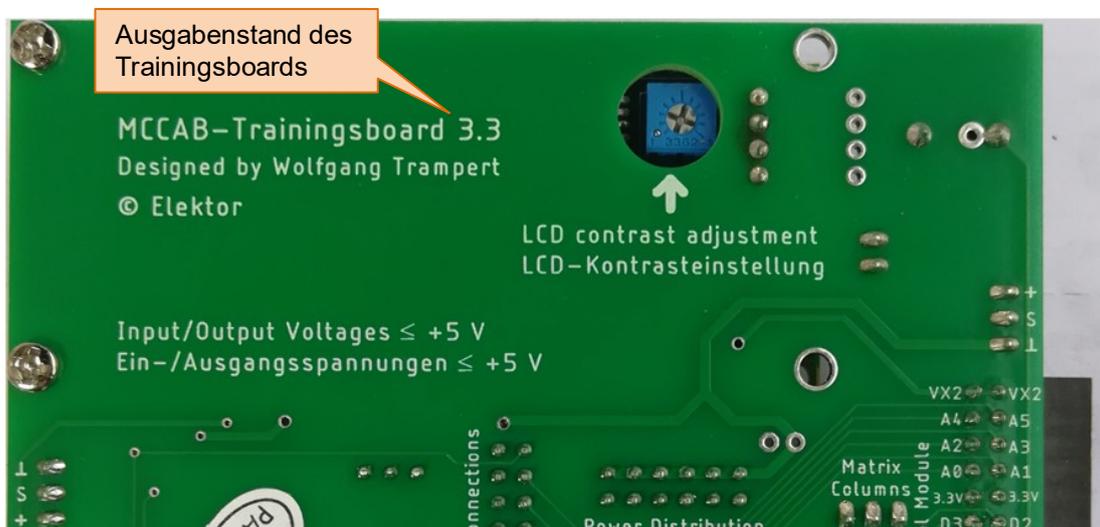


Abbildung 13: Einstellung des LCD-Kontrastes mit einem Schraubendreher

Übertragung der Daten zum LC-Display

Das LC-Display wird angesteuert über das serielle TWI (=I²C)-Interface des Mikrocontrollers ATmega328P. Anschluss A4 auf der Anschlussleiste SV6 (Pfeil (7) in Abbildung 1) fungiert dabei als Datenleitung SDA (Serial Data) und A5 als Taktleitung SCL (Serial Clock).



Das LC-Display auf dem *MCCAB Trainingsboard* hat im Normalfall die **I²C-Adresse 0x27**. Falls herstellungsbedingt einmal eine andere Adresse verwendet werden sollte, wird diese Adresse durch einen Aufkleber auf dem Display angegeben. Im Sketch des Anwenders muss dann diese Adresse anstelle der Adresse 0x27 verwendet werden.

Der auf dem LC-Display verbaute Controller ist kompatibel zu dem weitverbreiteten Industriestandard HD44780, für dessen Ansteuerung über den I²C-Bus es im Internet eine Vielzahl von Arduino-Libraries (z.B. https://github.com/marcoschwartz/LiquidCrystal_I2C) gibt. Die Libraries können in der Regel von der jeweiligen Website kostenlos heruntergeladen werden.

4.10 Die Schaltausgänge SV1 und SV7 für höhere Ausgangsströme und -spannungen

Über die Anschlussleisten SV1 (Pfeil (24) in Abbildung 1) und SV7 (Pfeil (17) in Abbildung 1) können Verbraucher ein- und ausgeschaltet werden, die höhere Ströme erfordern als die ca. 40 mA, die ein normaler Mikrocontrollerausgang maximal liefern kann. Die Betriebsspannung des externen Verbrauchers kann dabei bis zu +24 V und der Ausgangsstrom kann bis zu 160 mA betragen. Dadurch ist es möglich, kleinere Motoren (z.B. von Lüftern), Relais oder kleinere Glühlämpchen direkt mit dem Mikrocontroller des Trainingsboards zu steuern.

Abbildung 14 zeigt den Schaltplan der beiden Schaltausgänge.

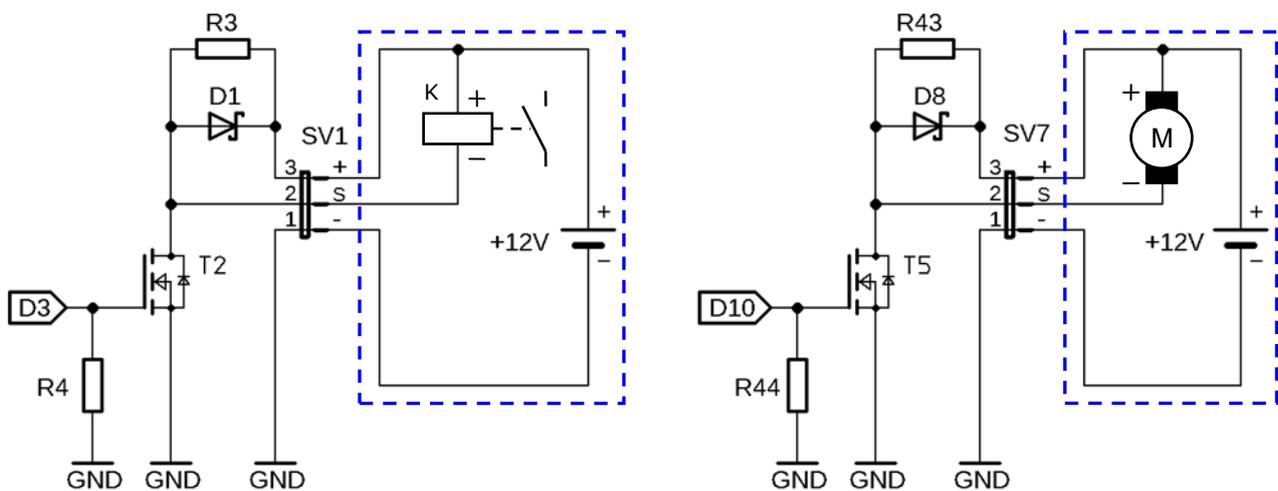


Abbildung 14: Die Schaltausgänge SV1 und SV7 für höhere Ausgangsströme

In den gestrichelt umrahmten Bereichen in Abbildung 14 ist am Beispiel eines Relais und eines Motors skizziert, wie Verbraucher an den Schaltausgang angeschlossen werden:

- Der Pluspol der externen Betriebsspannung ist mit Pin 3 (auf der Platine mit »+« beschriftet) der Pfostenleiste SV1 bzw. SV7 verbunden. Der positivere Anschluss des Verbrauchers liegt ebenfalls an Pin 3 der Pfostenleiste SV1 bzw. SV7.
- Der negativere Anschluss des Verbrauchers ist mit Pin 2 (auf der Platine mit »S« beschriftet) der Anschlussleiste SV1 bzw. SV7 verbunden.
- Der Minuspol der externen Betriebsspannung ist mit Pin 1 (auf der Platine mit »⊥« beschriftet) der Pfostenleiste SV1 bzw. SV7 verbunden.

Die Schaltstufe SV1 ist fest mit dem GPIO D3 des Mikrocontrollers und die Schaltstufe SV7 ist fest mit dem GPIO D10 des Mikrocontrollers verbunden. Da D3 und D10 PWM-fähige Ausgänge des Mikrocontrollers sind, besteht die Möglichkeit, auf einfache Weise z.B. die Drehzahl eines angeschlossenen Gleichstrommotors oder die Helligkeit eines Glühlämpchens zu steuern. Die Freilaufdioden D1 und D8 sorgen dafür, dass Spannungsspitzen, die beim Abschalten induktiver Lasten entstehen, die Ausgangsstufe nicht beschädigen können.

Ein HIGH-Signal an Ausgang D3 des Mikrocontrollers schaltet den Transistor T2 ein und der negativere Anschluss des Verbrauchers an SV1 liegt über den Schalttransistor T2 an Masse

(GND). Damit ist die Last eingeschaltet, denn an ihr fällt nun die gesamte externe Betriebsspannung ab.

Ein LOW-Signal an D3 sperrt den Transistor T2 und die an SV1 angeschlossene Last ist abgeschaltet.

Entsprechendes gilt für den Ausgang D10 des Mikrocontrollers und die Anschlussleiste SV7.

4.11 Die Buchsenleiste SV2 zum Anschluss externer Module

Über die Buchsenleiste SV2 (Pfeil (26) in Abbildung 1) können an das *MCCAB Trainingsboard* externe Module und Leiterplatten angedockt werden. Diese Module können Sensor-Boards, Digital / Analog - Wandler, WLAN- oder Funkmodule, Grafikdisplays oder Schaltungen zur Erhöhung der Anzahl der Ein- / Ausgabeleitungen sein, um nur einige der vielen Optionen zu nennen. Auch komplette Anwendungsmodelle wie z.B. die bei MCCAB erhältlichen Übungsmodule zur Regelungstechnik oder zur Ampelsteuerung, die viele GPIOs zu ihrer Steuerung benötigen, können an die Buchsenleiste SV2 des *MCCAB Trainingsboards* angeschlossen und mit dessen Mikrocontroller gesteuert werden.

Die Buchsenleiste SV2 besteht aus 26 Buchsen, die in 2 Reihen zu jeweils 13 Buchsen angeordnet sind. Die ungeradzahigen Buchsen liegen in der oberen Reihe, die geradzahigen Buchsen liegen in der unteren Reihe der Buchsenleiste SV2.

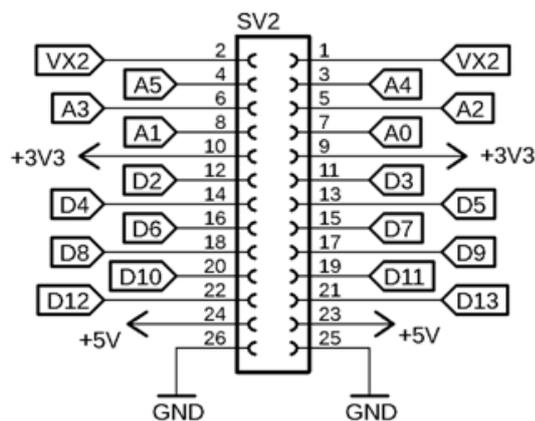


Abbildung 15: Anschlussbelegung der Buchsenleiste SV2

Die Belegung von SV2 zeigt Abbildung 15. Alle für ein externes Modul relevanten Anschlüsse auf dem *MCCAB Trainingsboard* sind an die Buchsenleiste SV2 herausgeführt.

Die GPIOs D0 und D1 (RxD und TxD) und die Analogeingänge A6 und A7 liegen nicht an SV2, denn D0 und D1 sind reserviert für die serielle Verbindung zwischen dem *MCCAB Trainingsboard NANO* und dem PC und stehen dem Anwender nur sehr eingeschränkt zur Verfügung (siehe [Wichtige Hinweise](#) in Abschnitt 4.1) und A6 und A7 sind auf dem *MCCAB Trainingsboard* fest mit den Schleiferanschlüssen der Potenziometer P1 und P2 verbunden (siehe Abschnitt 4.3) und können daher nicht anderweitig verwendet werden.



Der Anwender muss jeden GPIO des *Arduino® NANO-Mikrocontrollermoduls* auf den beiden Anschlussleisten SV5 und SV6 (Pfeil (3) und Pfeil (7) in Abbildung 1), der von einem externen Modul an SV2 genutzt wird, in seinem Programm für die erforderliche Datenrichtung als INPUT oder OUTPUT konfigurieren (siehe Abschnitt 4.1)!



Vorsicht:

GPIOs des Mikrocontrollers ATmega328P auf dem *MCCAB Trainingsboard*, die von einem an SV2 angeschlossenen Modul verwendet werden, dürfen in einem

Programm keinesfalls auch noch für andere Aufgaben verwendet werden. Eine Doppelbelegung dieser GPIOs würde zu Fehlfunktionen oder sogar zur Beschädigung des Trainingsboards führen!

4.12 Die Verbindungsleisten zum Anschluss von SPI-Modulen

Über die beiden Anschlussleisten SV11 (Pfeil (13) in Abbildung 1) und SV12 (Pfeil (12) in Abbildung 1) kann das *MCCAB Trainingsboard* als SPI-Master mit externen Slave-Modulen verbunden werden, die über eine SPI-Schnittstelle (SPI = Serial Peripheral Interface) verfügen. Das Serielle Peripherie-Interface SPI ermöglicht eine schnelle synchrone Datenübertragung zwischen dem Trainingsboard und dem Peripheriemodul.

Der AVR-Mikrocontroller ATmega328P hat auf seinem Chip ein Hardware-SPI, dessen Signale SS, MOSI, MISO und SCLK im Inneren des Mikrocontroller-Chips an die auf die Anschlussleisten SV5 und SV6 (Pfeil (3) und Pfeil (7) in Abbildung 1) herausgeführten GPIOs D10 ... D13 geschaltet werden können.

In der *Arduino IDE* steht zur Ansteuerung von SPI-Modulen die *SPI-Library* zur Verfügung, die mit

```
#include <SPI.h>
```

in das Anwenderprogramm eingebunden wird.

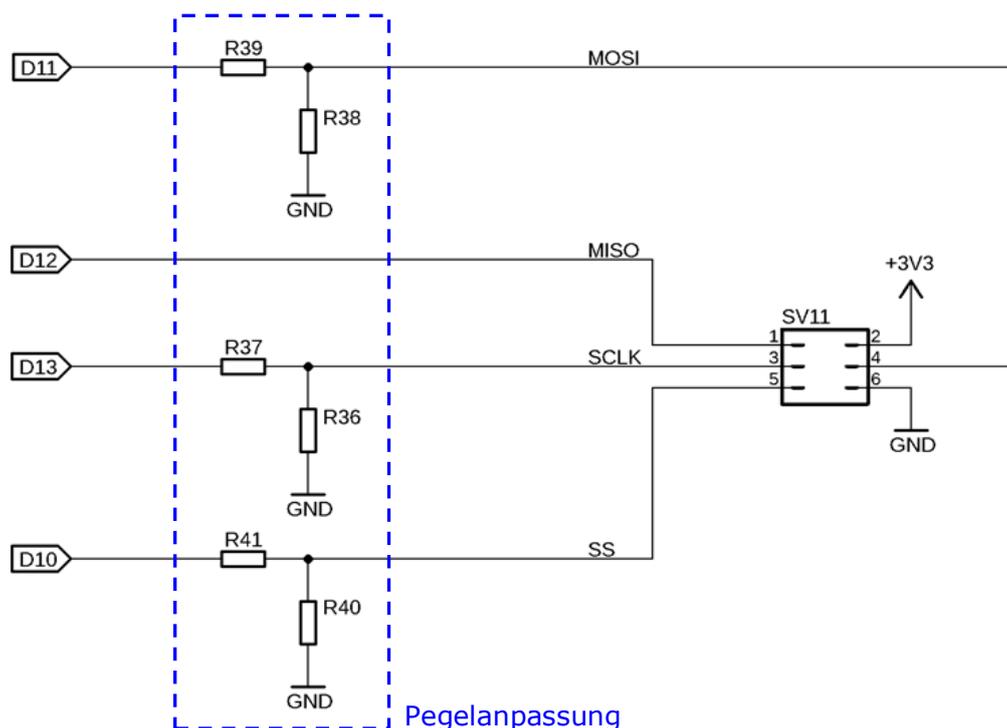


Abbildung 16: Anschlussbelegung der SPI-Verbindungsleiste SV11

Da sowohl SPI-Module mit der Betriebsspannung +3.3V als auch SPI-Module mit der Betriebsspannung +5V gebräuchlich sind, bietet das *MCCAB Trainingsboard* mit SV11 und SV12 zwei entsprechend beschaltete Anschlussleisten, um beide Optionen abzudecken.



Wenn eine Steckbrücke die Pins 2 und 3 der Pfostenleiste JP4 kurzschließt (siehe Abbildung 17 oben), verwenden beide SPI-Schnittstellen SV11 und SV12 denselben Ausgangspin D10 des Mikrocontrollers als SS (Slave Select)-Leitung, wie

Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen! Daher **darf immer nur eine der beiden Anschlussleisten SV11 oder SV12 zur selben Zeit** mit einem SPI-Modul verbunden sein, denn die gleichzeitige gemeinsame Verwendung derselben SS-Leitung für verschiedene Endgeräte würde zu Übertragungsfehlern und Kurzschlüssen auf den SPI-Leitungen führen!

Abschnitt 4.12.3 zeigt eine Möglichkeit, wie dennoch SPI-Slaves an beide Schnittstellen zur gleichen Zeit angeschlossen werden können.

4.12.1 Das Interface SV11 für SPI-Module mit +3.3 V Betriebsspannung

Die Anschlussleiste SV11 (Pfeil (13) in Abbildung 1) ermöglicht dem Anwender eine serielle SPI-Verbindung (SPI = Serial Peripheral Interface) des *MCCAB Trainingsboards* mit einem externen SPI-Modul mit +3.3 V-Betriebsspannung, denn die Pegel der SPI-Ausgangssignale SS, MOSI und SCLK an Interface SV11 sind über Spannungsteiler auf 3.3 V reduziert. Ein 3.3 V-Pegel auf der SPI-Eingangsleitung MISO wird von dem AVR-Mikrocontroller ATmega328P als HIGH-Signal erkannt und muss deshalb nicht auf 5 V-Pegel angehoben werden. Die Beschaltung von SV11 zeigt Abbildung 16.

4.12.2 Das Interface SV12 für SPI-Module mit +5 V Betriebsspannung

Die Anschlussleiste SV12 (Pfeil (12) in Abbildung 1) ermöglicht dem Anwender eine serielle SPI-Verbindung des *MCCAB Trainingsboards* mit einem externen SPI-Slave mit +5 V-Betriebsspannung, denn die Signale SS, MOSI, MISO und SCLK von Interface SV12 arbeiten mit 5 V-Signalpegeln. Die Beschaltung von SV12 zeigt Abbildung 17.

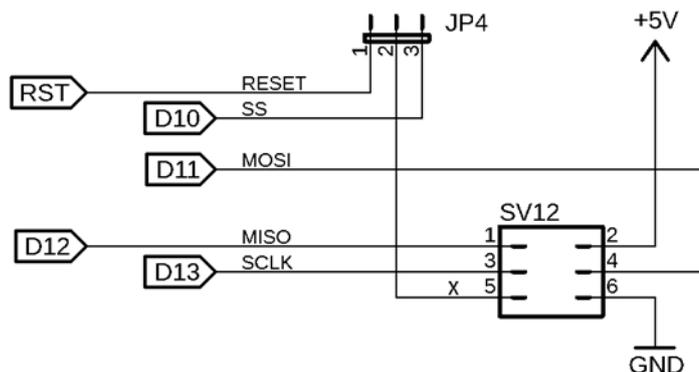
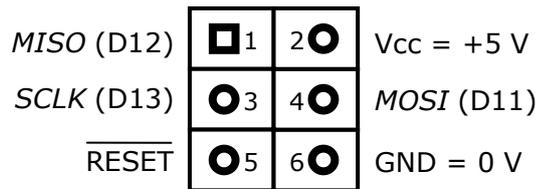


Abbildung 17: Anschlussbelegung der Verbindungsleiste SV12

Die Anordnung der Pins auf der Anschlussleiste SV12 entspricht der empfohlenen Anschlussbelegung der AVR-Programmierschnittstelle des AVR-Herstellers Microchip, die in Abbildung 18 gezeigt ist. Dadurch hat der Anwender die Möglichkeit, den Bootloader des ATmega328P mit einem geeigneten Programmiergerät über die SPI-Schnittstelle erneut zu programmieren, falls dieser z.B. ein Update auf eine neue Version benötigt oder versehentlich gelöscht wurde.



Draufsicht (Top View)

Abbildung 18: Empfohlene Anschlussbelegung der AVR-Programmierschnittstelle

Auswahl des Signals X an Pin 5 von SV12

Je nach gewünschter Anwendung kann der Anschluss X an Pin 5 von SV12 (Abbildung 17) mit verschiedenen Signalen belegt werden:

1. Eine Steckbrücke verbindet die Pins 2 und 3 der Pfostenleiste JP4

Wenn die Pins 2 und 3 der Pfostenleiste JP4 (siehe Abbildung 17 oben und Pfeil (11) in Abbildung 1) durch eine Steckbrücke kurzgeschlossen sind, liegt der GPIO D10 (Signal SS) des Mikrocontrollers an Pin 5 der Anschlussleiste SV12. SV12 wird damit als normale SPI-Schnittstelle mit dem SS (Slave Select)-Anschluss D10 verwendet.



In diesem Fall verwenden beide SPI-Schnittstellen SV11 und SV12 dieselbe SS-Leitung D10! Es darf deshalb nur eine der beiden Anschlussleisten **SV11** oder **SV12** mit einem SPI-Modul verbunden sein, denn die gleichzeitige gemeinsame Verwendung derselben SS-Leitung durch verschiedene Endgeräte würde zu Übertragungsfehlern und Kurzschlüssen auf den SPI-Leitungen führen!

2. Eine Steckbrücke verbindet die Pins 1 und 2 der Pfostenleiste JP4

In diesem Fall liegt die Leitung RESET des Mikrocontrollers an Pin 5 der Anschlussleiste SV12. In dieser Betriebsart fungiert SV12 als Programmierschnittstelle für den Mikrocontroller ATmega328P, da für den Programmiervorgang die RESET-Leitung des ATmega328P an Anschluss X (Pin 5) der Anschlussleiste SV12 liegen muss. In dieser Betriebsart ist der ATmega328P der SPI-Slave und das externe Programmiergerät ist der Master.

4.12.3 Gleichzeitiger Anschluss von SPI-Modulen an SV11 und SV12

Sollte der Bedarf bestehen, ein 3.3 V-Modul und ein 5 V-Modul gleichzeitig an das *MCCAB Trainingsboard NANO* anzuschließen, kann dies mit der in Abbildung 19 gezeigten Beschaltung realisiert werden. Die Pins 1 und 3 der Pfostenleiste JP4 sind dabei unbeschaltet, Pin 2 von JP4 ist über ein Dupont-Kabel mit einem der digitalen GPIOs D2 ... D9 auf der Anschlussleiste SV5 (Pfeil (3) in Abbildung 1) verbunden, wie in Abbildung 19 gezeigt. Dieser Ausgang des Mikrocontrollers ATmega328P erfüllt dann die Aufgabe eines zusätzlichen SS-Signals an Anschluss X (Pin 5) der Anschlussleiste SV12. Abbildung 19 zeigt die Vorgehensweise am Beispiel von D9 als zusätzlichem Anschluss SS2.

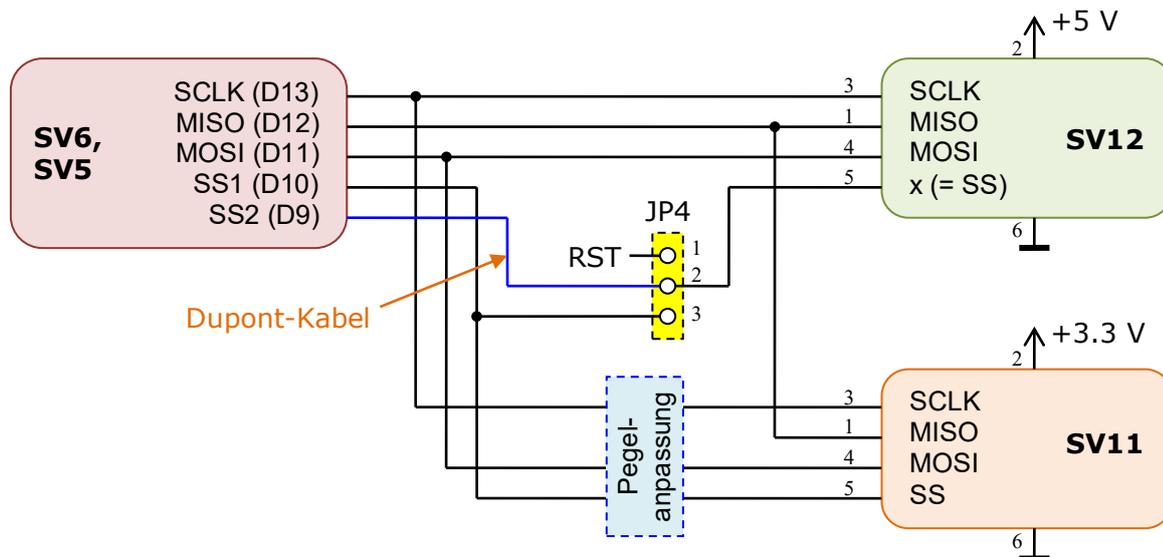


Abbildung 19: Gleichzeitige Verbindung zweier SPI-Module mit dem *MCCAB Trainingsboard*

In diesem Fall dürfen beide SPI-Schnittstellen SV11 und SV12 gleichzeitig mit externen SPI-Slaves verbunden sein, denn sowohl SV11 als auch SV12 verwenden jetzt unterschiedliche SS-Leitungen: LOW-Pegel an GPIO D10 aktiviert das SPI-Modul an SV11 und LOW-Pegel an GPIO D9 aktiviert das SPI-Modul an SV12 (siehe Abbildung 19).



Der Mikrocontroller auf dem *MCCAB Trainingsboard* darf Daten – wie bei allen SPI-Bussen – **zur selben Zeit immer nur mit einem** über SV11 oder SV12 an den Bus angeschlossenes Modul austauschen. Wie man in Abbildung 19 sieht, sind die MISO-Leitungen beider Interfaces SV11 und SV12 zusammengeschlossen. Wären beide Interfaces gleichzeitig durch LOW-Pegel an ihrem SS-Anschluss aktiviert und würden Daten an den Mikrocontroller übertragen, wären Übertragungsfehler und Kurzschlüsse auf den SPI-Leitungen die Folge!

4.13 Die Anschlussleisten SV8, SV9 und SV10 für das TWI (=I²C)-Interface

Über die Anschlussleisten SV8, SV9 und SV10 (Pfeile (15), (16) und (14) in Abbildung 1) kann der Anwender eine serielle I²C-Verbindung (I²C = Inter-Integrated Circuit) des Mikrocontrollers auf dem Trainingsboard mit externen I²C-Modulen herstellen. Im Datenblatt des AVR-Mikrocontrollers ATmega328P wird das I²C-Interface als TWI-Interface bezeichnet. Die Beschaltung der drei Anschlussleisten zeigt Abbildung 20.

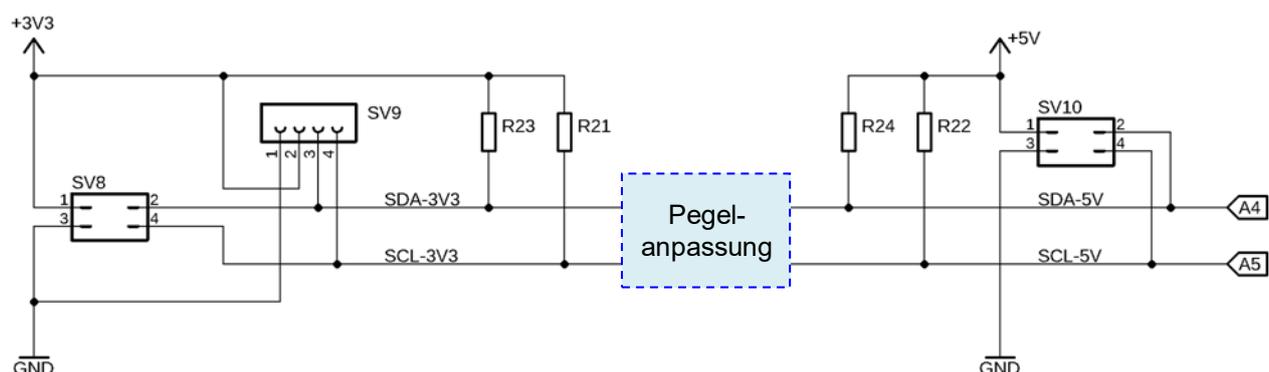


Abbildung 20: Das TWI (=I²C)-Interface auf dem *MCCAB Trainingsboard*

An SV10 werden diejenigen I²C-Module angeschlossen, die mit der Betriebsspannung +5V arbeiten. An SV8 und SV9 werden I²C-Module mit +3.3 V-Betriebsspannung angeschlossen. Eine Pegelanpassungsstufe sorgt bei SV8 und SV9 für die Reduzierung der 5 V-Signalpegel des AVR-Mikrocontrollers ATmega328P auf den 3.3 V-Signalpegel der externen Module.

Das I²C-Interface besteht nur aus den beiden bidirektionalen Leitungen SDA (Serial Data) und SCL (Serial Clock). Zur besseren Unterscheidung sind in Abbildung 20 die Leitungen SDA und SCL vor der Pegelanpassungsstufe mit dem Zusatz 5V und nach der Pegelanpassungsstufe mit dem Zusatz 3V3 versehen.

Der AVR-Mikrocontroller ATmega328P hat auf seinem Chip eine Hardware-TWI (=I²C) Schnittstelle, deren Signale SDA und SCL im Inneren des Mikrocontroller-Chips mit den auf die Anschlussleiste SV6 (Pfeil (7) in Abbildung 1) herausgeführten GPIOs A4 und A5 verbunden werden können (Abbildung 20).

In der *Arduino IDE* steht zur Steuerung von I²C-Modulen die *Wire*-Library zur Verfügung, die mit `#include <Wire.h>` in das Anwenderprogramm eingebunden wird.

5 Hinweise zur Verwendung des Analog / Digital - Converters des ATmega328P

In der Grundeinstellung nach dem Einschalten der Betriebsspannung des Mikrocontrollermoduls *Arduino*[®] *NANO* hat der Analog / Digital - Converter (ADC) des Mikrocontrollers den analogen Spannungsbereich $U_{ADC} = 0 \dots +5V$. In diesem Fall ist die +5V-Betriebsspannung V_{CC} des Mikrocontrollermoduls auch die Referenzspannung U_{REF} des ADCs, sofern der Anschluss REF der Anschlussleiste SV6 (Pfeil (7) in Abbildung 1) unbeschaltet ist.

Der ADC des ATmega328P wandelt eine analoge Eingangsspannung U_{ADC} an einem seiner Eingänge A0 ... A7 in einen digitalen 10 Bit - Wert Z .

Der Zahlenwert Z liegt in dem binären bzw. hexadezimalen Zahlenbereich

$$Z = 00\ 0000\ 0000_2 \dots 11\ 1111\ 1111_2 = 000 \dots 3FF_{16}.$$

Dies entspricht dem dezimalen Zahlenbereich

$$Z = 0 \dots (2^{10} - 1) = 0 \dots 1023_{10}.$$

Der erlaubte Bereich für die analoge Eingangsspannung ist $U_{ADC} = 0V \dots \frac{1023}{1024} \cdot U_{REF}$.

Die Genauigkeit der Analog / Digital - Wandlung hängt maßgeblich ab von der Qualität der Referenzspannung U_{REF} , denn für den durch den Analog / Digital - Wandler des Mikrocontrollers erzeugten 10 Bit - Zahlenwert Z gilt:

$$Z = \frac{U_{ADC}}{U_{REF}} \cdot 1024 \quad (\text{Gleichung 1})$$

Dabei ist U_{ADC} die Eingangsspannung des Analog / Digital - Wandlers an einem seiner Eingänge A0 ... A7 und U_{REF} ist die für den Wandler eingestellte Referenzspannung. Die Referenzspannung kann mit einem hochohmigen Voltmeter zwischen dem Anschluss REF von SV6 und der Schaltungsmasse GND gemessen werden.

Bei dem Ergebnis der Analog / Digital - Wandlung handelt es sich um einen Integer-Wert, d.h. eventuell bei der Division der beiden Spannungen U_{ADC} und U_{REF} entstehende Nachkommastellen werden abgeschnitten.

Die über das USB-Kabel vom PC eingespeiste +5V-Betriebsspannung wird von dem Schaltnetzteil des PCs erzeugt. Der Ausgangsspannung eines Schaltnetzteils ist aber meist auch ein nicht zu vernachlässigender Wechselspannungsanteil überlagert, der die Genauigkeit der Analog / Digital - Wandlung verschlechtert.

Bessere Ergebnisse erzielt man, wenn man die durch den linearen Spannungsregler auf dem *MCCAB Trainingsboard* stabilisierte +3.3 V-Hilfsspannung als Referenzspannung für den Analog / Digital - Wandler verwendet. Zu diesem Zweck initialisiert man den Analog / Digital - Wandler des ATmega328P im Programm mit der Anweisung

```
analogReference(EXTERNAL); // stellt die Spannung an Pin REF als Referenzspannung ein
```

der geänderten Referenzspannung entsprechend neu und verbindet den Anschluss REF der Anschlussleiste SV6 (Pfeil (7) in Abbildung 1) über ein Dupont-Kabel oder eine Steckbrücke (Jumper) mit dem danebenliegenden +3.3 V-Anschluss 3V3 der Anschlussleiste SV6.

Zu beachten ist, dass die Analogspannung U_{ADC} bei der Referenzspannung $U_{REF} = 3.3\text{ V}$ immer noch in digitale 10 Bit - Werte im Bereich $0 \dots 1023_{10}$ gewandelt wird, sich der Messbereich des Analog / Digital - Wandlers aber auf den Bereich $U_{ADC} = 0 \dots +3.297\text{ V}$ reduziert. Dafür erreicht man eine feinere Auflösung der Wandlungsergebnisse, denn das LSB (der kleinste auflösbare Wert) ist jetzt nur noch 3.2 mV groß.



Die Eingangsspannung U_{ADC} des Analog / Digital - Wandlers an dessen analogen Eingängen A0 ... A7 auf der Anschlussleiste SV6 muss immer kleiner als der Wert U_{REF} an Anschluss REF der Anschlussleiste SV6 sein!

Der **Anwender muss sicherstellen, dass $U_{ADC} < U_{REF}$!**



Zur »Genauigkeit der A/D-Wandlung« siehe auch den Hinweis auf Seite 11.

6 Die Library »MCCAB_Lib« für das MCCAB Trainingsboard

Zur Unterstützung des Anwenders bei der Steuerung der vielen Hardware-Komponenten (Schalter, Taster, Leuchtdioden, 3×3 LED-Matrix, Summer) auf dem MCCAB Trainingsboard ist die Library »MCCAB_Lib« verfügbar, die von den Käufern des Trainingsboards kostenlos von der Internet-Site <https://www.elektor.de/20295> heruntergeladen werden kann.

7 Weiterführende Literatur zur Verwendung des MCCAB Trainingsboards

In dem beim Elektor-Verlag erschienenen Buch »Mikrocontroller-Praxiskurs für Arduino-Einsteiger« (ISBN PRINT: 978-3-89576-523-0, ISBN E-BOOK: 978-3-89576-524-7) findet man eine ausführliche Beschreibung der Methoden der Library »MCCAB_Lib« und eine Vielzahl von Anwendungsbeispielen und Übungsprogrammen zur Verwendung des MCCAB Trainingsboards.