3.5. In vier einfachen Schritten zur eigenen Sensorbox

Die vorliegende Arbeit soll zeigen, dass viele Experimente sehr einfach mit einer Arduino-Sensorbox durchgeführt werden können. Ein weiteres Ziel ist jedoch, dass Lehrer auch dazu motiviert werden, sich eine eigene Sensorbox (oder gleich mehrere) zu bauen und diese für Demonstrations- und vor allem Schülerexperimente zu nutzen. Daher soll in diesem Kapitel gezeigt werden, dass man in wenigen Schritten und auch ohne viel Erfahrung die gezeigten Sensorboxen nachbauen kann. Dies wird hier am Beispiel einer Arduino-Sensorbox zur mobilen Luftdruckmessung gezeigt. Für die anderen gezeigten Aufsteckboards und Deckel können analoge Anleitungen als PDF-Dokument von der Projektwebseite, http://schulmaterial.physi.uni-heidelberg.de, heruntergeladen werden. Zwei fertige Sensorboxen mit verschiedenen Aufsteckboards und Deckeln sind in Abbildung 13 dargestellt; der Nachbau der oberen Variante wird in diesem Kapitel vorgestellt. Hier ist auch die Beschriftung der Deckel und Module gezeigt, die ich für sinnvoll halte, um das Benutzen der Sensorboxen zu vereinfachen. Alle verwendeten Elektronikbauteile sind Standardbauteile und können im Elektronik-Fachhandel (z.B. Conrad, Reichelt, Mouser, etc.) erworben werden; ein Lötkolben und Lötzinn werden für die Sensorboards und die Montage des Arduino-Boards sowie des Datalogging Shields benötigt. Zusätzlich braucht man einige Standard-Werkzeuge, darunter Zange, Feilen, Seitenschneider, Schraubenzieher, Anreißnadel (alternativ Teppichmesser oder Skalpell) sowie einen Akkuschrauber oder eine Bohrmaschine mit verschiedenen Bohrern (3 mm, für einfacheres Einsetzen der M3-Schrauben 3.2 mm; 8 mm; 10 mm; 16 mm bzw. Schälbohrer für 14-18 mm-Bohrlöcher). Die Sensorbox kann nun in vier Schritten selbst nachgebaut werden. Zunächst wird eine allgemeine Arduino-Messbox gebaut, die mit einem Datalogging Shield versehen wird und daher auch für mobile Messungen geeignet ist; anschließend wird das Luftdrucksensor-Aufsteckboard hergestellt, das durch andere Aufsteckboards ersetzbar ist, wenn eine andere Messung durchgeführt werden soll; im dritten Schritt werden die Arduino-Software und die benötigten Arduino-Libraries installiert; im letzten Schritt wird dann ein vorgefertigtes Messprogramm auf das Board hochgeladen, mit dem Messungen durchgeführt werden können. Im Anschluss an die Bauanleitung werden noch zwei Möglichkeiten zur Auswertung der Messdaten gezeigt, die auch im Rahmen dieser Arbeit genutzt wurden, sowie eine Kurzanleitung zur allgemeinen Verwendung der auf der Projektwebseite bereitgestellten ProfiLab-Programme für Demonstrationsexperimente gegeben.



Abbildung 13: Oben: Eine fertige Sensorbox mit Deckel für mobile Messungen und seitlichen Bohrungen zum Anbringen eines PVC-Blocks mit Schraubgewinde zur Befestigung an Stativmaterial. An den Boden und eine Seite der Box wurden Moosgummi-Platten geklebt, um die Rutschfestigkeit der Box zu erhöhen. – Unten: Geöffnete Sensorbox mit Deckel für Abstandsmessungen mit dem Ultraschallsensor HC-SR 04. Das Aufsteckboard (gelbe Lochrasterplatine), das auf das Datalogging Shield gesteckt wird, ist durch Kabel fest mit dem Deckel verbunden, an dem der Sensor fixiert ist.

Schritt 1: Bau der allgemeinen Sensorbox für mobile Messungen

Eine allgemeine Sensorbox besteht aus einem Gehäuse mit darin befestigtem Arduino-Board und einigen Bohrungen. Für mobile Messungen werden zusätzlich eine 9 V-Blockbatterie und ein Ein-/Ausschalter, die ebenfalls am Gehäuse festgeschraubt werden, sowie ein Datalogging Shield von Adafruit mit SD-Speicherkarte benötigt. Für den Bau der hier gezeigten Sensorbox für mobile Messungen müssen daher insgesamt folgende Materialien bereitliegen:

- Plastikgehäuse (z.B. Strapubox 1006; Außenmaße 149 x 74 x 48 mm)¹⁵
- Arduino UNO (verschiedene Bezugsquellen)
- Adafruit Datalogging Shield (z.B. bei mouser.de, Teilenummer 485-1141), zusätzlich eine Standard-SD-Karte
- Arduino-Sockelleisten¹⁶ (Shield stacking headers, z.B. mouser.de, Teilenummer 782-A000084 und 782-A000085, beide werden je 2 mal benötigt)
- Für Batteriefach und Arduino-Befestigung: 2 Schrauben M3x15, 2 Schrauben M3x8, 6 Muttern M3, 2 Plastik-Abstandshalter (5 mm hoch, bei einem anderen Gehäuse so wählen, dass das Arduino-Board in der Box eben aufliegt)
- Schiebeschalter¹⁷; für das hier gezeigte Modell werden zur Befestigung 2 Schrauben M2x5, 2 Federringe M2 und 2 Muttern M2 benötigt
- 9 V-Blockbatterie mit Halterung (z.B. mouser.de, Teilenummer 534-1295)
- Schrumpfschläuche verschiedener Größen
- Lautsprecherkabel oder dicke Schaltlitze für die Spannungsversorgung (ca. 20 cm)
- evtl. Moosgummi-Platte für Standfestigkeit, doppelseitiges Klebeband

¹⁵Eine von den Maßen her passende Alternative konnte das Euro-Gehause Nr. 1010 von WeroPlast sein, das jedoch nicht von mir getestet wurde. Dieses ist gunstig .B. bei Conrad erhaltlich: http:// www.conrad.de/ce/de/product/520586/Euro-Gehaeuse-ABS-Grau-NA-WeroPlast-1010-1-St, Abruf 29.07.2015.

¹⁶Auch andere Sockelleisten (auch Pfostenstecker, Buchsenleisten, etc. genannt) sind geeignet, *y*enn sie im 2.54 mm-Raster angeordnet sind und ihre Beine lang genug fur einen stapelbaren Aufbau der Shields sind. In Abbildung 19 ist .B. eine andere Art von Sockelleisten ge eigt.

¹⁷Der verwendete und daher hier ge eigte Schalter erwies sich im Test als un ufriedenstellend. Andere Modelle wurden um Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit noch nicht getestet, weswegen keine Empfehlung gegeben werden kann. Sinnvoll ware ein Schiebeschalter, der am Gehause festgeschraubt werden kann, aber nicht weit aus dem Bohrloch heraussteht.

Zunächst werden die benötigten Bohrschablonen von der Projektwebseite heruntergeladen. Für die mobile Sensorbox werden Schablonen für die Frontseite, das Arduino-Board UNO und den Deckel für mobile Messungen benötigt; diese Schablonen sind – verkleinert – in Abbildung 14 dargestellt. Die Positionen der Bohrlöcher für den Batteriehalter werden durch die im Halter vorgebohrten Löcher hindurch angezeichnet. An einer Stirnseite des Gehäuses wird die Mitte ausgemessen und markiert; an diese Markierung werden die Bohrschablonen mit ihren Mittellinien angelegt (siehe Abbildung 15). Dann werden die Schablonen mit den darauf notierten Bohrern durchbohrt; die größeren Löcher werden nach einer Vorbohrung mit einem Schälbohrer bis zum benötigten Durchmesser erweitert. Für den SD-Kartenslot werden mehrere Löcher nebeneinander gebohrt und dann mit einer Feile der Schlitz hergestellt. Alternativ kann der Slot auch gefräst werden.

Nachdem die Bohrungen fertiggestellt sind, sieht das Gehäuse etwa aus wie in Abbildung 16. An die Unterseite der Box sowie eine Seitenwand wurde bereits jetzt mit doppelseitigem Klebeband Moosgummi aufgeklebt, um die Rutschfestigkeit zu erhöhen und etwaige Höhendifferenzen durch herausstehende Schrauben auszugleichen. An den Bohrlöchern muss die Moosgummiplatte ausgespart werden, da an der Unterseite der Box noch die Muttern angeschraubt werden.

Nun wird das Arduino-Board für mobile Messungen vorbereitet (siehe Abbildung 17). Dazu wird an den Batteriehalter ein Lautsprecherkabel (2-adriges, dickeres Kabel) angelötet. Um die Kontakte vor Kurzschluss zu schützen, wird vor dem Verlöten jeweils ein Stück Schrumpfschlauch auf die Kabel aufgeschoben, das nach dem Löten an den Halter herangeschoben und durch Erwärmen mit z.B. einem Feuerzeug geschrumpft wird. In das Kabel, das mit der Anode der Batterie verbunden ist, wird der Stromschalter (Unterbrecher) eingelötet. Auch hier wird Schrumpfschlauch verwendet, um einem Kurz-

Deckel für mobile Sensorbox



Abbildung 14: Beispiele für Bohrschablonen, die den Nachbau einer Arduino-Sensorbox erleichtern sollen. Durch die Schablonen muss die Box nicht erneut ausgemessen werden, wodurch viel Zeit gespart werden kann. Für den SD-Slot werden mehrere Löcher nebeneinander gebohrt und anschließend der Schlitz mit einer Feile hergestellt. Die Schablonen sind hier verkleinert dargestellt; nach dem Ausdrucken einer Vorlage sollte daher immer die Bemaßung überprüft werden, bevor die Bohrschablonen verwendet werden.



Abbildung 15: Oben: Sensorbox (links) und Deckel (rechts) mit aufgeklebten Bohrschablonen für Frontseite, Arduino-Board, Stromschalter und Deckel für mobile Messungen. Die meisten Schablonen haben eine eingezeichnete Mittellinie, mit der das Zentrieren der Bauteile in der Box vereinfacht wird. Auch breitere Boxen können so problemlos mit den selben Schablonen verwendet werden. – Unten: Verschiedene Bohrer, mit denen die Bohrschablonen durchbohrt werden. Größere Löcher (für den USB-Anschluss und die externe Stromversorgung) werden nach Vorbohren mit einem Schälbohrer erweitert. Der SD-Slot kann durch mehrere kleine Bohrungen nebeneinander, die dann ausgefeilt werden, realisiert werden.



Abbildung 16: Gehäuse der Sensorbox nach Bohren und Aufbringen einer Moosgummi-Platte unter dem Boden und an einer Seitenwand. Das Moosgummi sorgt für erhöhte Rutschfestigkeit und gleicht die Schrauben aus, die später zur Befestigung mit Schraubmuttern aus dem Boden des Gehäuses herausragen. Board kann nun in das Gehäuse eingesetzt werden, zunächst mit den Steckern durch die Frontseite des Gehäuses, dann mit den Schrauben durch die Bohrlöcher im Boden. Von der Unterseite des Gehäuses wird die Anordnung mit zwei weiteren M3-Muttern fixiert. Auch der Batteriehalter und der Einschalter werden mit je zwei Schrauben und Muttern am Gehäuse fixiert. Das Ergebnis ist in Abbildung 18 gezeigt.

Für die meisten Demonstrationsversuche wäre dieser Aufbau bereits ausreichend. Die Box soll aber auch für mobile Messungen genutzt werden können, weswegen im letzten Teilschritt noch das Adafruit Datalogging Shield vorbereitet und eingesetzt werden muss. Die meisten Komponenten des Shields sind bereits firmenseitig vormontiert, lediglich m¨



Abbildung 17: Anschluss des Batteriehalters mit Unterbrecher-Schalter an das Arduino-Board. Es ist auf die richtige Polung der Anschlüsse zu achten. Um das Arduino-Board gerade im Gehäuse zu fixieren, werden an der den Steckern abgewandten Seite von oben zwei M3-Flachkopfschrauben durchgesteckt, die jeweils von unten mit einem 5 mm-Plastikabstandshalter und einer M3-Mutter bestückt und so fest mit dem Board verschraubt werden (oben links). Diese Anordnung kann in das Gehäuse gesetzt und unterhalb der Box von außen mit zwei weiteren M3-Muttern fixiert werden.



Abbildung 18: Sensorbox nach Einbau und Fixierung des Arduino-Boards, des Batteriehalters und des Einschalters. Das Arduino-Board liegt an seiner Vorderseite (links) mit dem USB-Stecker im Bohrloch auf, an seiner Rückseite (rechts) ist es mit dem Gehäuse verschraubt.



Abbildung 19: Datalogging Shield mit in zwei Reihen aufgelöteten Pfostensteckern. Die innere Reihe ist für Aufsteckboards mit einer Breite von 17 Löchern, die äußere Reihe für Aufsteckboards mit einer Breite von 20 Löchern geeignet. Durch das Anbringen zweier Reihen muss das Datalogging Shield für die zwei verschiedenen Aufsteckboardbreiten nicht ständig ein- und ausgebaut werden. Für den Nachbau empfehle ich, alle Aufsteckboards in der breiteren Variante zu bauen, sodass die innere Reihe Pfostenstecker nicht mehr benötigt wird. Die Batterie für die Echtzeituhr wird in die vorgesehene Halterung (unten links) geschoben.



Abbildung 20: Die Sensorbox für mobile Messungen ist mit dem eingesetzten Datalogging Shield fertiggestellt. Für eine Messung muss im zweiten der vier Schritte zur eigenen Sensorbox ein Aufsteckboard mit Sensor hergestellt werden.

Schritt 2: Bau des Sensor-Aufsteckboards

Nachdem im ersten Schritt eine allgemein nutzbare Arduino-Messbox für mobile Messungen gebaut wurde, soll nun ein Sensor-Aufsteckboard hergestellt werden, mit dem die ersten tatsächlichen Messungen durchgeführt werden können. An dieser Stelle soll der Bau beispielhaft an einem Aufsteckboard zur Messung des Luftdrucks dargestellt werden. Analoge Bauanleitungen für die anderen verwendeten Sensor-Aufsteckboards sind auf der Projektwebseite verfügbar, wo sich auch die entsprechenden Bauteilelisten befinden.

Die Sensor-Aufsteckboards werden grundsätzlich auf Basis von Lochrasterplatinen hergestellt, die typischerweise im Format $100 \ge 160$ mm verkauft werden. Für die in dieser Arbeit gezeigten Aufsteckboards wurden Platinenausschnitte mit $17 \ge 13$ Löchern und mit $17 \ge 15$ Löchern verwendet; ich empfehle für den Nachbau jedoch allgemein Platinen, die statt 17 Löchern 20 Löcher breit und 15 Löcher hoch sind, da diese dann auch ohne Datalogging Shield direkt auf das Arduino-Board aufgesteckt werden könnten, falls nur Live-Messungen durchgeführt werden, und genug Platz auch für größere Sensormodule bieten. Die Stiftleisten, mit denen die Verbindung zwischen dem Aufsteckboard und dem darunter befindlichen Arduino bzw. Datalogging Shield hergestellt wird, müssen entsprechend bis an den Rand der Platinen verschoben und vorm Verlöten testweise auf das Arduino-Board aufgesetzt werden. Die anderen Komponenten sollten aber wegen der Löcher auf den Bohrschablonen die gleichen Positionen behalten wie in diesem Abschnitt dargestellt.

Die verwendeten Lochrasterplatinen bestehen aus Hartpapier mit Epoxidharz-Überzug und sind auf der Unterseite mit sogenannten Lötaugen aus Kupfer versehen, an denen die Komponenten verlötet werden können. Beim Löten muss immer darauf geachtet werden, dass die Lötaugen nicht zu lange oder mit zu hohen Temperaturen erhitzt werden, da sie sich sonst von der Lochrasterplatine ablösen und die Komponenten dadurch nicht mehr fest mit der Platine verbunden werden können.

Für das hier gezeigte Aufsteckboard für mobile Luftdruckmessungen werden neben dem schon verwendeten Lötzubehör folgende Materialien und Bauteile benötigt:

- Luftdrucksensormodul BMP180 (z.B. mouser.de, Teilenummer 485-1603)
- Lochrasterplatine (Epoxidharzbeschichtetes Hartpapier, Format 160 x 100 mm, z.B. reichelt.de, Artikelnummer HPR 160X100)
- Stiftleisten (z.B. bei mouser.de, Teilenummer 538-22-30-3364)

- 2 Micro-Taster (z.B. bei mouser.de, Teilenummer 506-2-1437565-8)
- 2 Leuchtdioden, Durchmesser 3 mm (1x gelb, 1x rot; verschiedene Bezugsquellen)
- 2 Widerstände (220 Ohm; verschiedene Bezugsquellen)
- Schaltdraht (oder Schaltlitze, d.h. dünnes Kabel mit Kunststoffisolation)
- evtl. Schrumpfschlauch (ist bei unvermeidbaren Drahtkreuzungen hilfreich)

Zunächst muss die viel zu große Lochrasterplatine auf die gewünschte Größe von $17 \ge 13$ (bzw. besser $20 \ge 15$) Löchern verkleinert werden. Dazu wird mit einer Anreißnadel entlang einer Lochreihe die Plastikseite (d.h. die Seite ohne Kupfer-Lötaugen) mehrfach eingeritzt. Ist keine Anreißnadel verfügbar, sind auch ein scharfes Teppichmesser oder ein Skalpell als Alternative geeignet. Nach dem Anreißen kann die Platine sehr einfach durchgebrochen werden, z.B. an der Tischkante. Die Bruchstellen sollten danach mit einer Feile geglättet werden, um die Verletzungsgefahr zu minimieren (Abbildung 21).



Abbildung 21: Links: Zum Abtrennen eines kleinen Abschnittes der großen Lochrasterplatine zeichnet man mit einem Marker die Schnittlinie entlang einer Lochreihe vor und zählt erneut nach, ob genug Löcher für das gewünschte Board übrig sind. Dann zieht man die Linie mit einer Anreißnadel, einem Skalpell oder einem Cutter mehrfach nach und bricht die Platine z.B. an der Tischkante ab. – Rechts: Die Bruchstellen haben scharfe Kanten und sollten mit einer Feile geglättet werden, bevor weitergearbeitet wird.

Sobald die Lochrasterplatine die richtige Größe hat, kann sie mit den entsprechenden Komponenten bestückt werden. Abbildung 22 zeigt die Bauelemente, die nach und nach auf die Platine aufgebracht werden. Besonders zu beachten ist dabei einerseits die Polung der Leuchtdioden, deren Kathode (erkennbar am kürzeren Bein oder der abgeflachten Seite des Diodengehäuses) immer an den Minuspol (GND) des Arduino-Boards angeschlossen werden muss. Andererseits haben die Microtaster vier Beine, von denen jeweils zwei im Innern des Tasters miteinander verbunden sind. Eine Einkerbung auf der Rückseite der Taster zeigt an, wie die elektrische Trennung verläuft (siehe Abbildung 22, unten rechts). Im Zweifelsfall sollte mit einem Multimeter überprüft werden, welche Beine elektrisch miteinander verbunden sind, bevor die Taster eingebaut werden.



Abbildung 22: Lochrasterplatine und Komponenten für den Bau eines Aufsteckboards für mobile Luftdruckmessungen. Besonders zu beachten sind die korrekte Polung der Leuchtdioden (Kathode am Minuspol (GND) des Arduino-Boards, d.h. die kurzen Beine liegen einander zugewandt in der Mitte, vergleiche Abbildung 24) und der korrekte Einbau der Microtaster, da hier der Skizze in Abbildung 24 auf der Lochrasterplatine angeordnet werden. Nutzt man eine breitere Lochrasterplatine (20 Löcher statt 17 Löcher), müssen diese Stiftleisten auf gleicher Höhe jeweils bis an den äußeren Rand der Platine verschoben werden. Die Leisten werden zunächst jeweils nur an einem einzigen Bein verlötet. Danach können sie noch ohne großen Aufwand begradigt und bis zum Anschlag eingeschoben werden, indem die Lötstelle erneut verflüssigt wird (nicht zu lange, da sich sonst das Lötauge lösen kann). Erst wenn die Position und die senkrechte Ausrichtung der Stiftleiste überprüft wurden, sollten die anderen Beine ebenfalls verlötet werden.

Nach dem Verlöten der Stiftleisten werden die Widerstände sowie die Leuchtdioden eingesetzt und durch leichtes Abwinkeln ihrer Beine fixiert. Die Micro-Taster werden ebenfalls in die Platine eingesteckt. Auf die Hinweise zum Einbau der Leuchtdioden und Taster in Abbildung 22 muss unbedingt geachtet werden, da das Aufsteckboard sonst nicht funktioniert und möglicherweise sogar die Sensoren oder der Arduino beschädigt werden könnten. Die bis auf den Sensor fertig bestückte Platine ist in Abbildung 23 rechts gezeigt; die Komponenten können nun an den Lötaugen an der Unterseite der Platine festgelötet werden. Für alle Sensorboards, die mobil genutzt werden sollen, ist der Bau der Platine bis hier identisch.

Als letzte Komponente muss nun noch der Sensor auf das Board gesteckt werden. Die Richtung, in der das schematische Bauteil BMP180 in Abbildung 24 eingesteckt ist, entspricht auch der Richtung, in der das tatsächliche Sensormodul aufgesteckt wird. Die Beine zeigen zu den Tastern, die Schraublöcher zu den Steckverbindungen am linken Rand der Platine. Der Pin mit der Beschriftung "VCC" sollte sich nun am unteren Rand des Luftdrucksensor-Moduls befinden, der Pin "SDA" am oberen Rand (siehe Abbildung 26, unten links). Nachdem das erste Bein angelötet und der feste und gerade Sitz des Moduls überprüft wurden, können auch hier wieder die restlichen vier Beine verlötet werden.

Damit das Aufsteckboard für Messungen benutzt werden kann, müssen nun noch die Verbindungen der Komponenten untereinander und mit den Anschlüssen des Arduino hergestellt werden. Hierfür kann die in Abbildung 25 dargestellte Löthilfe genutzt werden. Sie zeigt die Ober- und die Unterseite des Boards mit allen herzustellenden Verbindungen. Diese Verbindungen können entweder mit Schaltdraht oder mit isolierter Schaltlitze hergestellt werden. Die noch vorhandenen langen Beinchen der festgelöteten Komponenten können auch als Drahtverbindung genutzt werden, indem sie mit einer Zange vorsichtig in die gewünschte Richtung umgebogen werden. Die Verwendung festen Schaltdrahtes hat den Vorteil, dass dieser recht stabil ist und an Eckpunkten oder auf



Abbildung 23: Links: Anordnung der Stiftleisten auf der Lochrasterplatine. Am linken Rand werden von der unteren Kante gesehen erst 6 Pins eingesteckt, dann mit einem Loch Abstand weitere 5 Pins. Am rechten Rand werden von der unteren Kante gesehen 8 Pins eingesteckt. Die Stiftleisten werden von der Oberseite der Platine eingesteckt und dann an der Unterseite mit den Lötaugen verbunden, wobei zunächst nur je ein Stift festgelötet werden sollte. Dadurch können die korrekte Positionierung und die senkrechte Ausrichtung der Stiftleiste noch einmal überprüft und gegebenenfalls verändert werden, bevor die anderen Stifte ebenfalls verlötet werden. – Rechts: Mit den weiteren Komponenten bestückte Lochrasterplatine. Damit die Komponenten in ihrer Position bleiben, können ihre Beine unter der Platine abgewinkelt werden. Dies vereinfacht das Verlöten der Komponenten stark. Hier fehlt lediglich noch das Luftdrucksensormodul. Die Hinweise zum Einsetzen der Leuchtdioden und Taster in Abbildung 22 müssen beim Bestücken der Platine unbedingt beachtet werden.



Abbildung 24: Schematische Skizze der Bestückung der Lochrasterplatine für ein Aufsteckboard für mobile Luftdruckmessungen. – Links: Positionen aller Komponenten auf der Lochrasterplatine. – Rechts: Zusätzlich sind hier die Verbindungen der Komponenten eingezeichnet, die unterhalb der Lochrasterplatine hergestellt werden müssen. Die Drahtfarben zeigen hier an, zu welchen Anschlüssen (Pins) die Verbindungen gehören. Rot entspricht +5V, schwarz GND, blau sind jeweils Anschlüsse an den digitalen (rechts) bzw. analogen (links unten) Datenpins des Arduino-Boards. Weiß dargestellt sind Verbindungen der einzelnen Komponenten untereinander (hier existieren solche Verbindungen lediglich zwischen den zwei Widerständen und den Anoden der zugehörigen Leuchtdioden.

langen geraden Strecken zwischendurch an einzelnen Lötaugen befestigt werden kann; Kreuzungen zweier Drähte sind hier jedoch sehr problematisch (roter Pfeil in Abbildung 25). Schaltlitze hat demgegenüber den Vorteil, dass die Kabel sich problemlos überkreuzen können; die Litze ist allerdings deutlich flexibler als der Schaltdraht und kann nicht an Eckpunkten oder Biegungen verlötet werden, weswegen sie sehr schnell zu unordentlichem "Kabelsalat" unter der Platine führen kann. Für die Wahl des Verdrahtungsmaterials sind daher einzig die persönlichen Vorlieben des Anwenders ausschlaggebend; ich bevorzuge die Schaltdraht-Variante mit Schrumpfschlauch; für sehr kompliziert herzustellende Verbindungen verwende ich auch vereinzelt Schaltlitze.



Abbildung 25: Löthilfe zum Herstellen eines Aufsteckboards für mobile Luftdruckmessungen. Die Komponenten sind bereits mit der Platine verlötet. Um nun die korrekten Verbindungen herzustellen, müssen die Beine noch miteinander verdrahtet werden. – Links: Bestückte Oberseite der Lochrasterplatine (schematisch). – Rechts: Unterseite der Lochrasterplatine. Wird die best

Masse-Leitung (GND, schwarz) über einen kleinen Umweg verlegt wurde. Da Kreuzungen der Drähte jedoch nicht immer vermieden werden können, wurden hier zwei mögliche Lösungsansätze, nämlich die Verwendung von Schrumpfschläuchen und das Ausweichen auf Schaltlitze, gezeigt.

Nachdem jetzt alle Verbindungen hergestellt sind, können zum Abschluss alle überflüssigen langen Beinchen der einzelnen Komponenten mit einer Kneifzange oder einem Seitenschneider entfernt werden. Dabei dürfen die Steckverbindungen (Stiftleisten) am Rand des Aufsteckboards natürlich nicht entfernt werden, da sie zur Verbindung mit den Sockelleisten auf dem Datalogging Shield benötigt werden. Das fertige Aufsteckboard kann dann auf das Datalogging Shield in der im ersten Schritt hergestellten Sensorbox aufgesteckt werden (siehe Abbildung 5, hier ist jedoch ein Beschleunigungssensor aufgesteckt). Damit mit der fertigen Sensorbox Messungen durchgeführt werden können, müssen nun im dritten der vier Schritte zur eigenen Sensorbox die Arduino-Software und die benötigten Arduino-Bibliotheken installiert werden.



Abbildung 26: Oben: Verschiedene Materialien zur Verdrahtung der Komponenten auf der Lochrasterplatine. Hierzu gehören Schaltdraht, Schaltlitze, Schrumpfschläuche sowie eine Zange und ein Seitenschneider. – Unten links: Oberseite des fertig bestückten Luftdrucksensor-Aufsteckboards. In dieser Version wurden einige der nicht benötigten Stiftleisten wegge-lassen; für die Stabilität der Steckverbindung ist es jedoch sinnvoll, alle Stiftleisten wie oben gezeigt zu verwenden. – Unten Mitte: Unterseite der Platine mit Verdrahtung der Komponenten; in diesem Fall wurde Schaltdraht verwendet. Die Problematik sich überkreuzender Leitungen wurde hier gelöst, indem der GND-Draht auf einen Umweg verlegt wurde.
– Unten rechts: Verdeutlichung der Verdrahtung mit der in Abbildung 24 verwendeten Farbcodierung. Hier ist der Umweg der GND-Leitung (schwarz) zur Vermeidung einer Kreuzung mit der +5V-Leitung (rot) gut erkennbar.

Schritt 3: Installation der Arduino-Software und der benötigten Bibliotheken

Zunächst muss die Arduino-Software installiert werden. Dazu wird die aktuelle Version von der Webseite der Entwickler, https://www.arduino.cc/en/Main/Software, heruntergeladen.¹⁹ Je nach verwendetem Betriebssystem bietet Arduino eigene Installationsanleitungen, weswegen an dieser Stelle darauf verzichtet wird, eine genaue Beschreibung zu geben. Für Windows ist die Installationsanleitung unter https://www.arduino. cc/en/Guide/Windows zu finden, für Mac unter https://www.arduino.cc/en/Guide/ MacOSX und für verschiedene Linux-Systeme unter http://playground.arduino.cc/ Learning/Linux.

Wenn die Software ordnungsgemäß installiert ist, werden zur Nutzung der Sensoren und des Datalogging Shields noch einige Bibliotheken benötigt. Arduino-Bibliotheken enthalten sehr ausführliche und häufig kompliziertere Quelltexte, die der Anwender nutzen kann, um zusätzliche Sensoren, Displays oder Ähnliches zu verwenden, ohne die Kommunikation mit diesen selbst programmieren zu müssen. Die Bibliotheken werden einfach im Messprogramm "geladen" und können dann ohne Detailkenntnisse über ihre Funktionsweise verwendet werden. Viele Boardhersteller bieten selbst solche Bibliotheken an, weitere werden von Privatpersonen erstellt und in der Arduino-Community mit anderen Nutzern geteilt. Für die vorliegende Arbeit wurden mehrere solche Arduino-Bibliotheken genutzt, die auch auf der Projektwebseite verlinkt sind oder zum Herunterladen angeboten werden:

- Die Bibliotheken zur Kommunikation mit den verschiedenen Sensoren via I2C-Bus (Wire) und SPI-Bus (SPI) sind standardmäßig in der Arduino-Software enthalten und müssen nicht neu installiert werden.
- Beschleunigungssensor BMA020 (Modul von ELV): Original-Bibliothek von Robin Gerhartz (http://www.mikrocontroller.net/topic/268214); diese Bibliothek wurde von mir leicht verändert, da eine Variablendefinition sich mit einer anderen Bibliothek überschnitten hat. Die veränderte Bibliothek kann von der Projektwebseite heruntergeladen werden.
- Drucksensor BMP180 (Modul von Adafruit): Bibliothek von Sparkfun Electronics/Mike Grusin (https://github.com/sparkfun/BMP180_Breakout).
- Luftfeuchtigkeitssensor HDC1008 (Modul von Watterott): Bibliothek von Adafruit (https://github.com/adafruit/Adafruit_HDC1000_Library). Der hier ge-

 $^{^{19}\}mathrm{Alle}$ in diesem Abschnitt genannten Internetadressen
 \checkmark ulet t am 19.07.2015 abgerufen.

nutzte Sensor HDC1008 hat die gleichen Funktionen wie das Vorgängermodell HDC1000, weswegen auch die gleiche Bibliothek verwendet werden kann.

• Soll die Echtzeituhr des Datalogging Shield genutzt werden: Bibliothek RTClib von Adafruit (https://learn.adafruit.com/adafruit-data-logger-shield/ downloads).

Die oben genannten Bibliotheken haben alle das *.zip-Format, sodass sie direkt in der Arduino-Programmieroberfläche installiert werden können. Eine ausführliche Anleitung zur Installation solcher Bibliotheken ist auf der Arduino-Seite unter https: //www.arduino.cc/en/Guide/Libraries#toc4 zu finden. Bevor neu installierte Bibliotheken benutzt werden können, muss die Arduino-Umgebung zunächst neu gestartet werden.

Wird das Datalogging Shield zum ersten Mal eingesetzt, muss die Uhrzeit der Echtzeituhr gesetzt werden. Eine Anleitung hierzu findet sich auf der Webseite des Herstellers Adafruit.²⁰ Zuvor sollte man jedoch sicherstellen, dass die Uhrzeit des benutzten Computers korrekt ist, da diese auf die Echtzeituhr geschrieben wird.

Sobald die Software und die Bibliotheken installiert sind, können endlich Messprogramme auf das Arduino-Board geladen und Messungen durchgeführt werden. Dies wird im letzten der vier Schritte zum eigenen Messsystem beschrieben.

²⁰https://learn.adafruit.com/adafruit-data-logger-shield/using-the-real-time-clock, Abruf 19.07.2015

Schritt 4: Hochladen eines Messprogrammes

Nachdem die Sensorbox mit einem zugehörigen Sensor-Aufsteckboard gebaut und die Arduino-Software mit den benötigten Bibliotheken erfolgreich installiert wurden, kann im letzten der vier Schritte ein Messprogramm auf das Arduino-Board hochgeladen und eine Messung durchgeführt werden. Alle im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Messprogramme können von der Projektwebseite im Arduino-Format (*.ino) heruntergeladen werden; sie können an einem beliebigen Ort auf dem PC gespeichert werden, wobei eine *.ino-Datei sich immer in einem eigenen Ordner befinden muss, der genauso heißt wie die Datei selbst (z.B. "Luftdruck.ino" im Ordner "Luftdruck"). Bei der Standardinstallation von Arduino wird der *.ino-Dateityp mit der Arduino-Software verknüpft, sodass die Dateien durch einen Doppelklick in der Arduino-Programmierumgebung geöffnet werden können.

Abbildung 27 zeigt die Arduino-Benutzeroberfläche mit geöffneten Werkzeug-Menü. Dort können der Boardtyp (Arduino UNO) sowie der COM-Port des anschlossenen Arduino-Boards eingestellt werden; jedem Board wird beim ersten Anschließen an den PC ein solcher Port zugewiesen. Die Portadresse ist insbesondere für die Demonstrationsversuche mit ProfiLab-Programmen wichtig, da dort ebenfalls der korrekte COM-Port des Messboards eingestellt werden muss. In der Abbildung ist darüber hinaus zu sehen, wie die Messeinstellungen innerhalb der bereitgestellten Arduino-Programmes verändert werden können (roter Rahmen). Änderung dieser Messeinstellungen der Messprogramme können direkt unter deren Beschreibung, die sich zwischen den Zeichen /* ... */ befindet, vorgenommen werden. Sie werden dann im Arduino-Sketch²¹ gespeichert, bis sie erneut vom Anwender bearbeitet werden. Eine Übersicht über die veränderbaren Messeinstellungen der angebotenen Programme ist in Tabelle 2 gegeben; meist handelt es sich dabei um das Messintervall, also den zeitlichen Abstand, in dem das Board Messungen durchführt und über die serielle Schnittstelle sendet (Live-Messungen) bzw. auf der SD-Karte speichert (Standalone-Anwendungen). An dieser Stelle kann auch die Baudrate²² geändert werden, die für die Kommunikation über die Serielle Schnittstelle wichtig ist. Eine Veränderung dieser Einstellung ist in der Regel jedoch nicht nötig.

Wenn alle gewünschten Änderungen vorgenommen wurden, kann das Programm dann auf das angeschlossene Arduino-Board hochgeladen werden. Hierzu wird einfach der Bedienknopf mit dem Pfeilsymbol betätigt (siehe Abbildung 27). Sobald das Hochladen erfolgreich beendet ist, erscheint im unteren Bereich des Fensters der Hinweis "Hoch-

²¹Sketch ist die offi ielle Be eichnung der Arduino-Quellte te.

 $^{^{22}}$ Baudrate ist die Rate, mit der S
 mbole uber die Schnittstelle ubertragen $\not\!\!\!\!\!\!\!\!\!\!\!\!\!\!\!\!$ erden.



Abbildung 27: Screenshot der Arduino-Programmierumgebung mit Schaltflächen zum Hochladen eines Arduino-Programms auf ein angeschlossenes Board. Der COM-Port des Boards, der hier angezeigt wird, muss auch in den ProfiLab-Programmen als Serielle Schnittstelle eingestellt werden, damit diese auf die Daten des angeschlossenen Boards zugreifen können (siehe hierzu die Kurzanleitung zu den Einstellungen der ProfiLab-Programme im letzten Abschnitt dieses Kapitels). Sollen Messeinstellungen (z.B. Messbereich des Beschleunigungssensors) verändert werden, wird direkt in den Arduino-Programmen die entsprechende Zeile geändert (rot eingekreist). Tabelle 2: Liste der Arduino-Messprogramme, die von der Projektwebseite heruntergeladen werden können, sowie der darin veränderbaren Messeinstellungen mit deren Standardeinstellung. Die *.ino-Dateien werden bei einer Standardinstallation der Arduino-Software mit Arduino verküpft, sodass die Dateien durch Doppelklick geöffnet und nach eventuellem Anpassen der Messeinstellungen direkt auf das Board hochgeladen werden können.

Messung	Messprogramm	Messeinstellungen (Standard)
Ultraschall-Abstand	Ultraschall.ino	Messintervall (20 ms)
		Temperatur $(20.0 ^{\circ}\mathrm{C})$
Luftdruck (Standalone)	Luftdruck.ino	Messintervall (2000 ms)
Fahrrad-Geschwindigkeit	Fahrrad.ino	Messintervall (5000 ms)
(Standalone)		Reifenradius $(35.56 \mathrm{cm}/28 \mathrm{Zoll})$
Beschleunigungen (Stand-	Beschleunigung.ino	Messintervall (20 ms)
alone)		Messbereich $(\pm 8g)$
Physikalisches Pendel	PhysPendel.ino	Messintervall (20 ms)

laden abgeschlossen". Dann kann das Arduino-Board vom PC getrennt und eine erste Testmessung durchgeführt werden.

Die Messprogramme dürfen durch den Anwender jederzeit verändert werden; hierzu ist es sinnvoll, sich zunächst mit den Arduino-Befehlen vertraut zu machen und etwas einfachere Programme zu verstehen. Dabei kann die Arduino-Referenz, https://www. arduino.cc/en/Reference/HomePage (Abruf 19.07.2015), sehr hilfreich sein. Ist man mit den Befehlen vertraut, ist eine Modifikation der Programme in wenigen Stunden oder sogar Minuten möglich.

Da bei den mobilen Messungen keine Fehlermeldungen in Textform angezeigt werden können, werden zwei Leuchtdioden als Statusanzeigen genutzt. Ihr Verhalten zeigt dem Benutzer den Status des Messsystems und eventuelle Fehler an:

•

- Wird eine Messung gestartet, blinkt die gelbe Leuchtdiode bei jedem aufgenommenen Messwert kurz auf. Bei Beschleunigungsmessungen bleibt die LED durchgehend eingeschaltet, da sonst gerade bei sehr kleinen Messintervallen zu viel Rechenzeit verloren geht.
- Wird die Messung beendet, blinken beide Leuchtdioden gemeinsam zweimal auf und bleiben dann dunkel. Nun können die Box ausgeschaltet und die aufgenommenen Messdaten von der Speicherkarte ausgelesen werden. Hierzu können Excel-Tabellen oder ein bereitgestelltes ProfiLab-Programm zur Datenauslese genutzt werden. Beide Möglichkeiten werden im nächsten Abschnitt kurz erklärt.