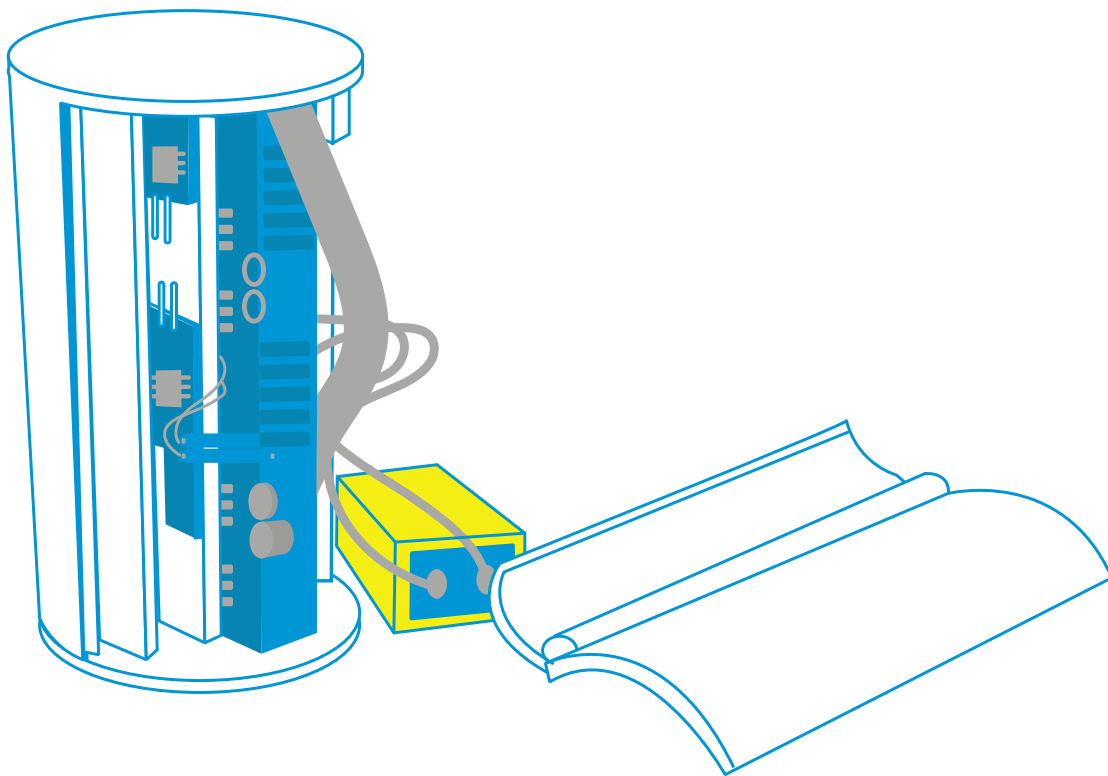
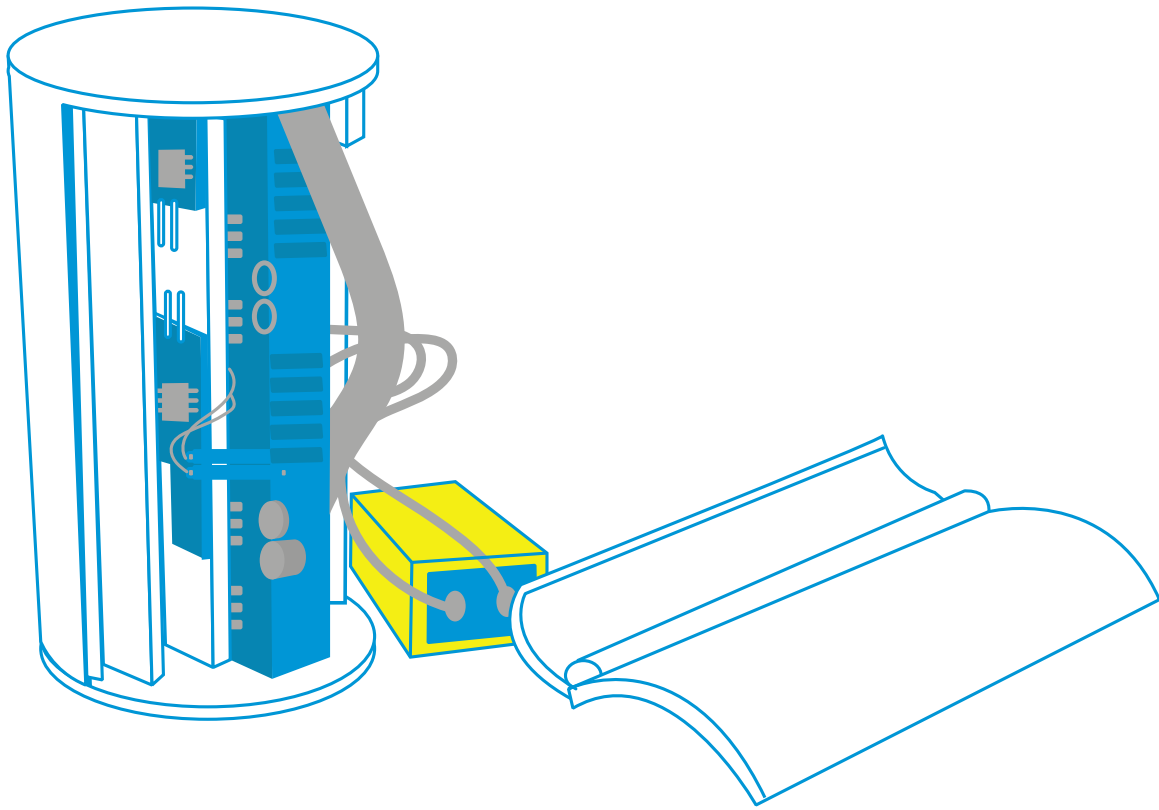


Lehren mit dem All

→ CANSAT: erste Schritte

Handbuch für die Hauptmission





Aufgabe 1: Die Hauptbauteile

Seite 3

Aufgabe 2: Die Elektronik

Seite 9

Aufgabe 3: Kommunikation mit dem CanSat

Seite 13

Aufgabe 4: Montage

Seite 17

Lehren mit dem All – CanSat: erste Schritte | T08

www.esa.int/education

Das ESA Education Office freut sich über Feedback und Kommentare

cansat@esa.int

Eine Produktion von ESA Education in Zusammenarbeit mit ESERO Irland und ESERO Belgien

Copyright 2017 © European Space Agency

Eine Übersetzung von ESERO Germany

→ CANSAT: ERSTE SCHRITTE

Anleitung für die Hauptmission

→ Aufgabe 1: Einführung für die Hauptbauteile

Die für die primäre Mission benötigten Hauptbauteile teilen sich auf in Komponenten für den CanSat und für die Bodenkontrollstation. Während der CanSat mithilfe einer Rakete, eines Ballons oder einer Drohne, durch die Luft fliegen wird, wird sich die Bodenkontrollstation am Boden befinden. Hier werden mithilfe einer Antenne die Daten vom CanSat empfangen.

CanSat Komponenten:

- Ein geeigneter Mikroprozessor oder Computer (z.B. ein Arduino oder Raspberry Pi)
- Ein Temperatursensor (z.B. ein Thermistor)
- Ein Umgebungsdrucksensor (z.B. ein MPX4115A)
- Ein drahtloser Sendeempfänger (z.B. ein APC220, X-Bee oder LoRa)
- Eine Antenne (normalerweise eine Viertelwellenantenne)
- Ein Fallschirm oder eine ähnliche Apparatur, die einen sicheren, kontrollierten Abstieg ermöglicht
- Eine Stromquelle

Komponenten für die Bodenkontrollstation:

- Ein drahtloser Sendeempfänger
- Eine Antenne (normalerweise eine Yagi Antenne)
- Ein geeigneter Mikroprozessor oder Computer (z.B. ein Arduino, Raspberry Pi oder Laptop)

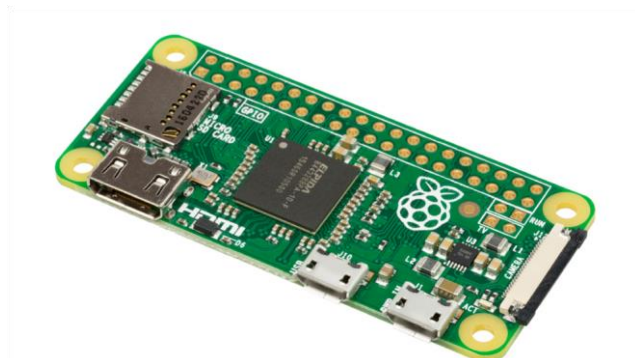
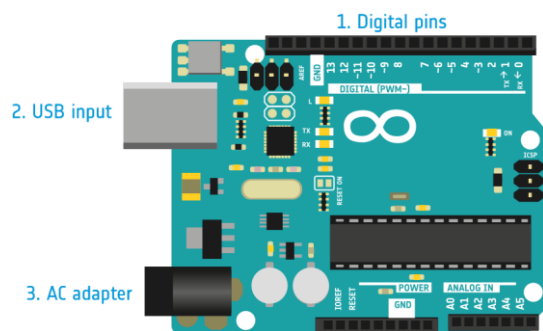
Abgesehen vom Fallschirm müssen all diese Bauteile in eine 330 ml Coladose passen (max. Durchmesser = 66 mm; max. Höhe = 115 mm; max. Gewicht = 300 – 350 g). GPS Module und Radioantennen können an der Außenhülle des CanSat befestigt werden, vorausgesetzt die max. Größe wird nicht überschritten.

Hinweis: Schau dir die Voraussetzungen im Handbuch genau an!

Mikroprozessoren und Computer

Mikroprozessoren haben ein breites Spektrum an Funktionen. Sie unterscheiden sich von anderen Produkten, mit denen du u.U. schon vertraut bist (wie z.B. das Raspberry Pi), weil es zunächst Input von einem Computer braucht, bevor es funktionieren kann. Der Mikroprozessor ist somit kein eigenständiges Gerät. Ein beliebter Typ eines Mikroprozessors ist der Arduino. Hat man erst einmal seinen Quelltext auf ihn hochgeladen, kann er unabhängig von einem Computer funktionieren.

Ein Raspberry Pi unterscheidet sich insofern von einem Mikroprozessor, als dass er ein eigenständiger Computer ist. Auf der Platine eines Raspberry Pi befindet sich bereits alles, was man braucht, um einen Quelltext auszuführen. Eine eingebaute CPU (Zentraleinheit) sorgt dafür, dass der Raspberry Pi über mehr Rechenleistung verfügt als ein Mikroprozessor. Der Raspberry Pi Zero ist die günstige Miniaturausführung, weshalb er regelmäßig bei CanSat-Projekten verbaut wird. Die Wahl des Mikroprozessors oder Miniaturcomputers liegt allerdings bei dir! Du wirst die Kompatibilität mit den ausgewählten Sensoren prüfen müssen sowie mit der ausgewählten Programmiersprache. Am Ende dieser Arbeitsblätterammlung findest du Links zu den Arduino- und Raspberry Pi-Webseiten, wo du dir zusätzliche Informationen beschaffen kannst.



Das Board des Arduino Uno teilt sich in diese 5 Hauptbestandteile auf:

1. **Digital Pins** – Es hat 13 Pins für digitalen Input*. 6 davon (3, 5, 6, 9, 10 and 11) sind PWM Pins. (Mehr Informationen zu PWM findest du in den Arbeitsblättern zur Radiokommunikation)
2. **USB Input** – zum Verbinden des Arduino mit einem Computer
3. **AC Adapter** – zur Stromversorgung jenseits von 5 V
4. **Strom Pins** – Stromversorgung bis zu 5 V
5. **Analoge Pins** – für analogen Input*

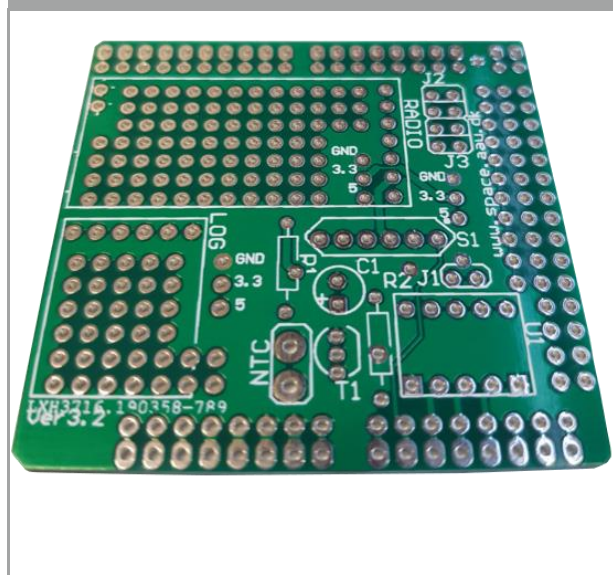
*Voreingestellt als Input können sie bei Bedarf auch als Output verwendet werden; mehr Informationen unter: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/DigitalPins>

Die Lochrasterplatte

Um die Grundlagen zur Verwendung des Arduino und der Sensoren zu erlernen, verwendet man am besten eine Lochrasterplatte, bei der nicht gelötet werden muss. Auf diese Weise können Fehler beim Bau des Schaltkreises jederzeit einfach behoben werden. Eine Lochrasterplatte ist ein einfaches Werkzeug, mit dem man elektrische Komponenten miteinander verbinden kann.

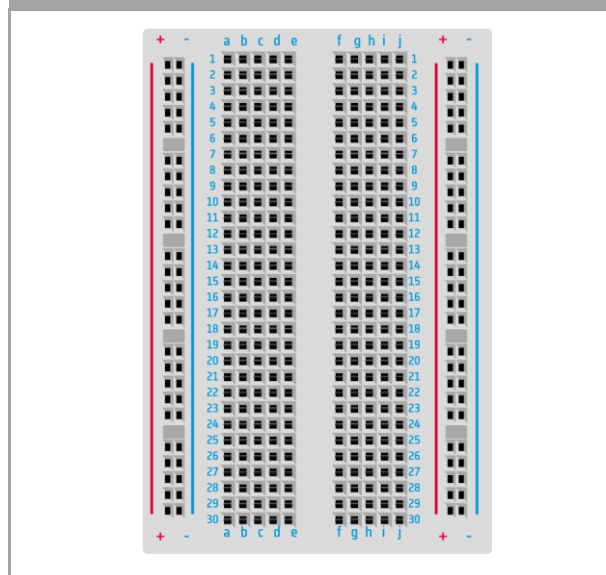
Hinweis: Schaue dir noch einmal die Richtlinien für die Voraussetzungen an.

Abbildung A1



↑ Platine zum löten

Abbildung A2



↑ Lochrasterplatte ohne Löten

Pins von elektronischen Bauteilen können in die Terminals der Lochrasterplatte eingesteckt werden. Die Reihen sind hier zentral verbaut. D.h., dass z.B. die beiden Pins eines Widerstands auf unterschiedlichen Reihen platziert werden sollten, um einen geschlossenen Kreislauf herzustellen.

Es ist sehr wichtig eine Zeichnung des Schaltkreises anzufertigen, bevor man ihn zusammensetzt und antreibt, weil man sonst riskiert, die Bauteile zu beschädigen. Die äußeren Reihen der Platte werden typischerweise dazu verwendet, Erdung und Stromversorgung bereitzustellen. Dies soll die Komplexität des Aufbaus verringern.

Für die finale Version des CanSat muss man eine typische Platine zum Lötén verwenden. Mehr dazu in Aufgabe 4!

Der Temperatursensor

Temperatursensoren kann man in die folgenden Kategorien aufteilen:

- Thermistoren
- analoge Sensoren
- Thermoelemente

Ein typischer ‚zweibeiniger‘ Thermistor ist ein negativer Temperaturkoeffizientthermistor (NTC). Er basiert auf dem Prinzip, dass eine Temperaturveränderung beim Thermistor eine Veränderung seines elektrischen Widerstands hervorruft. NTC bedeutet an dieser Stelle, dass wenn die Temperatur ansteigt, der elektrische Widerstand abnimmt (und andersherum). Die Widerstandsveränderung kann direkt mit einem Mehrfachmessgerät gemessen werden. Um dies jedoch vom Arduino ablesen lassen zu können, müssen wir die Widerstandsveränderung in eine Spannungsänderung umwandeln – mehr dazu später.

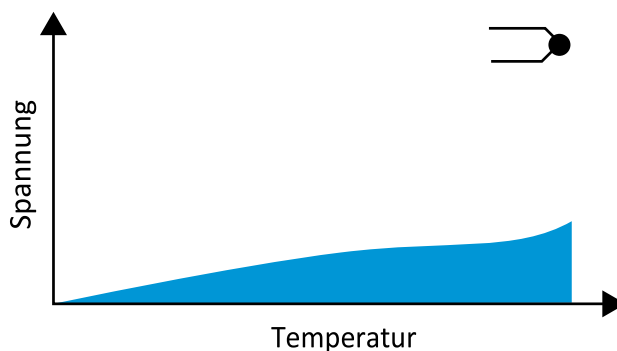
Analoge Sensoren sind kostengünstig und erfordern keinerlei Kalibrierung. Sie verwenden für die Temperaturmessung kontaktlose Technologie anstelle von temperaturempfindlichen Widerständen. Wir müssen die Funktionsweise dieser Sensoren nicht detailliert besprechen. Bei Interesse kann man [hier](#)¹ jedoch weitere Informationen finden.

Thermoelemente messen Temperatur unter Verwendung des thermoelektrischen Effekts zwischen zwei unterschiedlichen Metallen. Dieser Effekt ist von Thomas Seebeck entdeckt worden. Die Details der Funktionsweise sind nicht besonders wichtig. Bei Interesse kann man jedoch [hier](#) weitere Informationen finden.

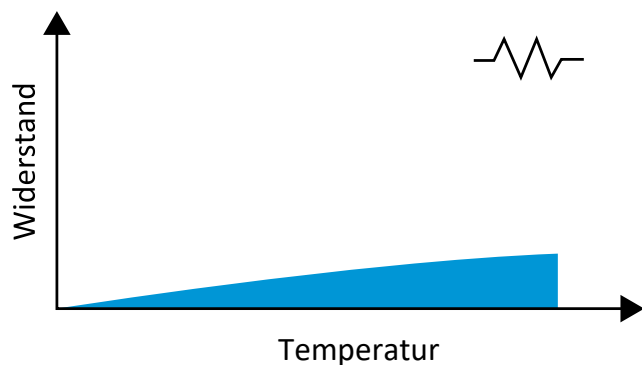
¹ Alle Links stehen am Ende dieser Materialsammlung
Lehren mit dem All- CanSat: erste Schritte | T08

Die untenstehenden Graphen zeigen, wie die Temperatur die Spannung und den Widerstand bei den drei unterschiedlichen Typen von Temperatursensoren beeinflusst. Einen weiteren Vergleich von NTC Thermistoren und analogen Temperatursensoren findet man [hier](#).

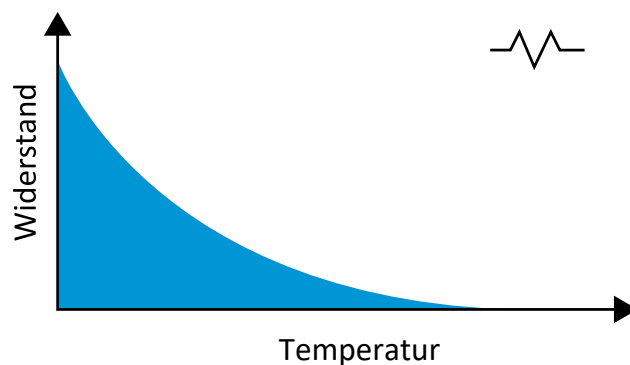
THERMOELEMENTE



RTD



THERMISTOR



Bei der Wahl des Sensors sollte man immer auch seine technischen Spezifikationen bedenken. Eine detaillierte Auflistung befindet sich auf dem Datenblatt des Herstellers. Der beste Sensor ist natürlich der Sensor, der der Hauptmission am zuträglichsten ist. Wichtig ist auch, die Anzahl der verfügbaren Pins im Auge zu behalten. Ein Arduino z.B. hat mehr digitale Pins als analoge. Abhängig von der sekundären Nebenmission müssen an dieser Stelle u.U. Prioritäten bzgl. der Pins gesetzt werden.

Aufgabe 1

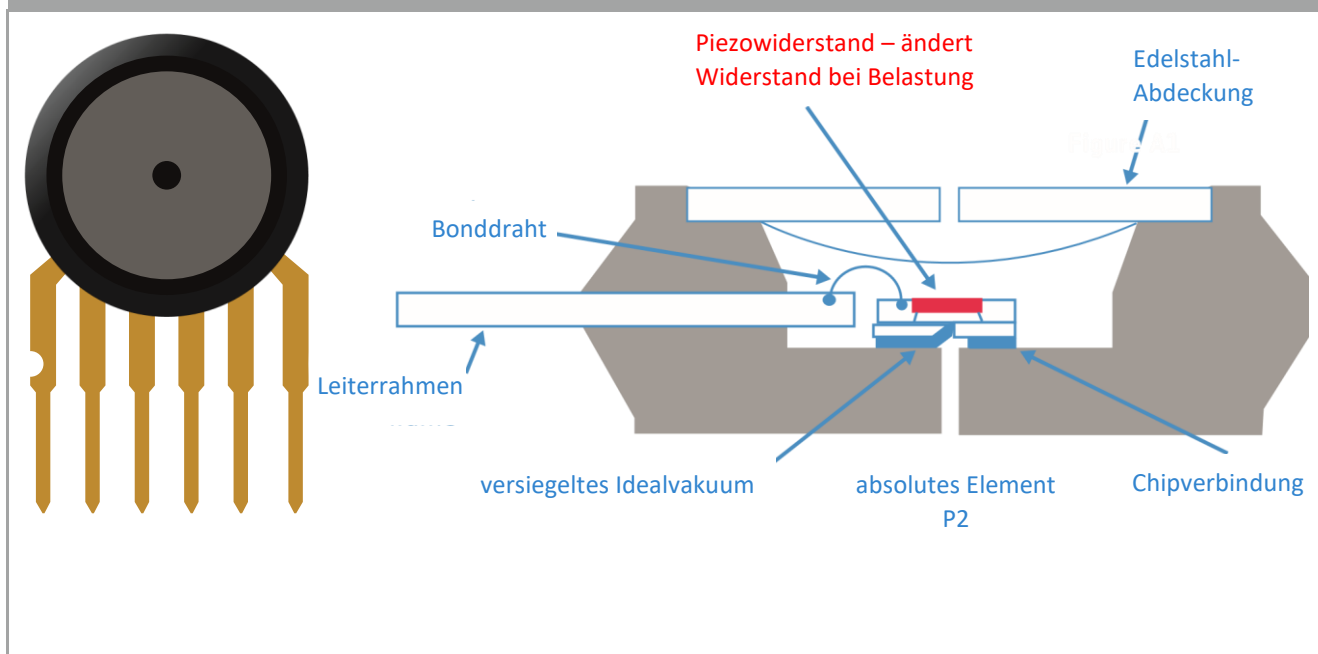
1. Fallen dir weitere mögliche Probleme bei der Verwendung eines Thermistors zur Messung der Lufttemperatur ein?

Hinweis: Was wird generiert, wenn ein Strom durch ein Material fließt (widerstandsfähig oder nicht)?

Atmosphärischer Drucksensor

Der atmosphärische Drucksensor MPX4115A ist ein ‚sechsbeiniges‘ Bauteil, bei dem lediglich drei Pins für Messungen verwendet werden. Dieser Sensor wird häufig für CanSats verwendet. Der Sensor besteht aus einem kleinen **Piezowiderstand**, der eine kleine Mulde versiegelt. Solltest du einen anderen Sensor verwenden, schau dir dessen Datenblatt für weitere Informationen genau an.

Abbildung A3



↑ MPX4115A-Sensor für Atmosphärendruck und eine Skizze seines Inneren inklusive Piezowiderstand

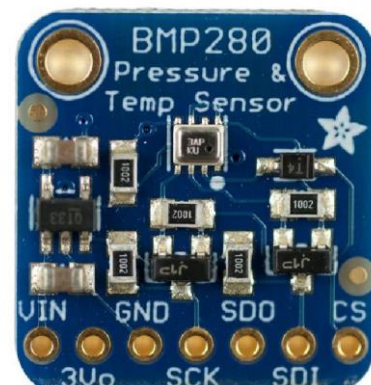
Aber was genau ist ein Piezowiderstand?

Ein Piezowiderstand ist ein Widerstand dessen Widerstandsfähigkeit, je nach mechanischer Beanspruchung, variiert. Wenn sich der Atmosphärendruck verändert, verbiegt sich der Piezowiderstand leicht und dieses Verbiegen verursacht eine Beanspruchung in seinem Inneren, was dafür sorgt, dass sich seine elektrische Widerstandsfähigkeit verändert.

Beim MPX4115A-Sensor wird die Veränderung der Widerstandsfähigkeit in Spannung umgewandelt. Diese Spannung kann dann vom Benutzer als Input in den Arduino eingegeben werden. Lösungen mit anderen Drucksensoren sind denkbar. Während der MPX4115A der gängigste Sensor ist, könnte es sein, dass er für die individuellen CanSats, je nach Konstruktion, unbrauchbar ist!

Andere Sensoren

Eine sehr beliebte Alternative zu den oben vorgestellten Temperatur- und Drucksensoren ist der digitale BMP280-Drucksensor. Dieser bietet einen Druck- und einen Temperatursensor in nur einem Bauteil und ist deshalb perfekt für die CanSat-Hauptmission geeignet. Er ist kostengünstig und sehr klein, weswegen er wenig vom zur Verfügung stehenden Budget verbraucht und mit der Maximalgröße des CanSat konform ist. Außerdem wird so eine aufregendere Nebenmission möglich!



Der Sensor ist in der Lage auf 1 hPa Druck genau und 1°C Temperatur genau zu messen. Der vielleicht größte Vorteil für die Verwendung eines solch beliebten Sensors jedoch ist es, dass man einfach an guten Support kommt, falls man einmal Schwierigkeiten bekommt!

Der Temperatursensor im BMP280 ist nah bei den elektronischen Komponenten, die Strom leiten und Wärme generieren. Dadurch kann die gemessene Temperatur u.U. höher sein als die Umgebungstemperatur – dies sollte bei den Messungen immer berücksichtigt werden!

Was man bei der Wahl des Sensors beachten muss:

Empfindlichkeit: Was ist die minimale Veränderung, die der Sensor messen kann?

Reaktionszeit: Wie schnell reagiert der Sensor bei Veränderungen der Umgebung?

Linearität: Ist die Reaktion linear (in der Bandbreite, die für die Messungen benötigt wird)?

Messbereich: Was ist der min./max. Wert, der vom Sensor gemessen werden kann?

Hysterese: Hat der Sensor immer denselben Output bei gleichbleibenden Bedingungen; würde der Sensor z.B. dieselbe Temperatur messen, egal ob die Temperatur gerade steigt oder fällt? Dieses Phänomen wird vom natürlichen Magnetismus begünstigt.

Aufgabe 2

Schau dir das Datenblatt des BMP280, eines Drucksensors (z.B. MPX4115A) sowie eines Temperatursensors (z.B. Thermistor) an und notiere ihre Eigenschaften in der untenstehenden Tabelle. In die zwei leeren Spalten kannst du noch die Daten zweier anderer Sensoren eintragen.

	BMP280	MPX4115A	Thermistor		
Arbeitsbereich					
Genauigkeit					
Reaktionszeit					
Kosten					
Erforderliche Leistung					

→ Aufgabe 2: Die Elektronik

Einführung

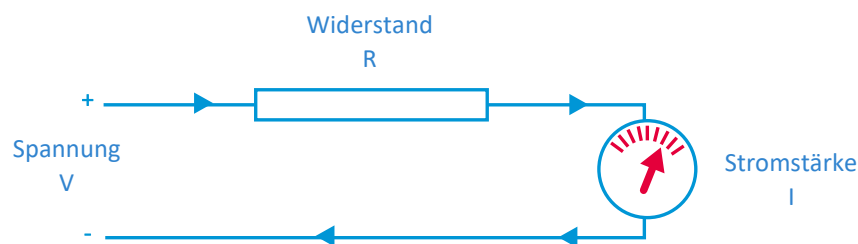
Nun, da wir ein grundsätzliches Verständnis der unterschiedlichen, für die Hauptmission benötigten Bauteile haben, müssen wir uns anschauen, wie diese Bauteile genau funktionieren. Der folgende Abschnitt befasst sich mit den grundlegenden, in der Elektronik verwendeten Gleichungen, die sich von den Sensoren zunutze gemacht werden.

Spannung & Stromstärke: Das Ohm'sche Gesetz

Bevor wir mit der Hauptmission beginnen, ist es ratsam, dass wir uns zunächst mit den grundlegenden Konzepten der Elektronik befassen. Das Ohm'sche Gesetz beschreibt wie die Haupteigenschaften eines elektronischen Schaltkreises miteinander verbunden sind: genauer gesagt die Spannung, die Stromstärke und der Widerstand.

Bei normalen stromleitenden Materialien wie Kupfer, Gold, Silber etc. können Elektronen einfach durch das Material fließen – dabei liefert die Spannung V potentielle Energie und den ‚Schub‘, der dafür gebraucht wird, die Elektronen durch einen Stromkreis fließen zu lassen (Durchflussmenge = Stromstärke I).

Das Ohm'sche Gesetz erlaubt uns den Stromfluss (I) durch einen Widerstand (R) zu messen, wenn die Spannung so angelegt ist, wie in dem untenstehenden Diagramm.



Ohm'sches Gesetz:

$$V = IR$$

welches umgestellt werden kann zu:

$$I = \frac{V}{R}$$

Demnach können wir, wenn wir gleichbleibende Spannung beim Stromkreis anwenden, den fließenden Strom anpassen, indem wir den elektrischen Widerstand verändern.


Widerstände

Widerstände sind wichtige Bauteile eines jeden CanSats. Wir haben bereits eine spezielle Art von Widerstand besprochen, den Thermistor. Mit normalen Widerständen kann man an sich keine Messungen vornehmen. Man benutzt sie lediglich, um Spannung und Stromfluss innerhalb von Bauteilen von Stromkreisen zu kontrollieren. Die Widerstandsfähigkeit des verwendeten Widerstands, die in Ohm

gemessen wird, muss angemessen sein. Aber woher weiß man, was eine adäquate Widerstandsfähigkeit ist? Für einen typischen Thermistor könnte man einen tiefohmigen Widerstand mit z.B. 220 k Ω verwenden, während eine typische LED einen viel hochohmigeren Widerstand (z.B. 10 k Ω) benötigen würde. Solltest du den falschen Widerstand wählen, wird sich der Schaltkreis u.U. nicht so verhalten, wie erwartet.

Eine einfache Lösung ist die Verwendung eines Ohmmeters, da es unverzüglich den richtigen Wert misst. Außerdem lässt sich der Widerstand dadurch berechnen, indem man sich die farbigen Bänder auf dem Widerstand anschaut.

Die nachstehende Abbildung zeigt, wie man einen Widerstand mit 4 oder 5 Bändern abliest. Die ‚Toleranz‘ zeigt die Breite an in der sich der tatsächliche Widerstandswert befinden muss.



Farbe	erstes Band	zweites Band	drittes Band	Multiplikator	Toleranz
Schwarz	0	0	0	1 Ω	
Braun	1	1	1	10 Ω	$\pm 1\%$
Rot	2	2	2	100 Ω	$\pm 2\%$
Orange	3	3	3	1K Ω	
Gelb	4	4	4	10K Ω	
Grün	5	5	5	100K Ω	$\pm 0.5\%$
Blau	6	6	6	1M Ω	$\pm 0.25\%$
Violett	7	7	7	10M Ω	$\pm 0.10\%$
Grau	8	8	8		$\pm 0.05\%$
Weiß	9	9	9		
Gold				0.1 Ω	$\pm 5\%$
Silber				0.01 Ω	$\pm 10\%$

So haben z.B. die zwei Widerstände in der Abbildung eine Widerstandsfähigkeit von 339 $\Omega \pm 1\%$ (oben) und 390,000 Ω (390 M Ω) $\pm 10\%$ (unten).

Übung

1) Was ist die Widerstandsfähigkeit des untenstehenden Widerstands?

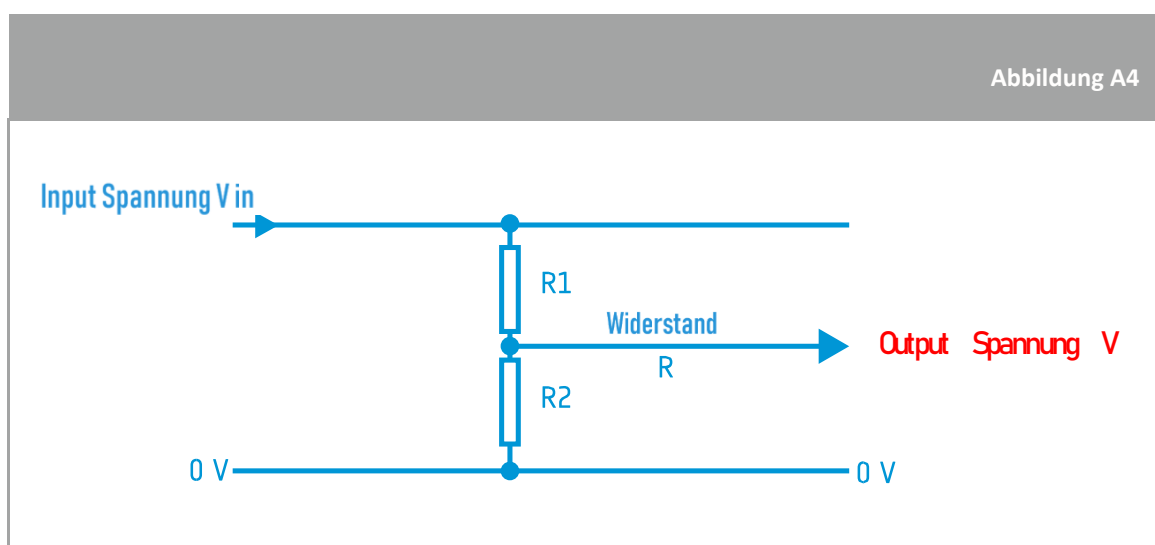


Der Spannungsteilerschaltkreis

Viele Sensoren zeigen eine Veränderung des elektrischen Widerstands proportional zur Veränderung des gemessenen Parameters an. So verändert sich z.B. die Widerstandsfähigkeit eines Thermistors in einer Reaktion zur Veränderung der Außentemperatur. Der Arduino jedoch, ist nicht in der Lage eine sich verändernde Widerstandsfähigkeit direkt zu messen, sondern lediglich eine Veränderung der Spannung. Da wir wollen, dass der Thermistor direkt mit dem Arduino kommuniziert, müssen wir den Output von einer sich verändernden Spannung hin zu einer sich verändernden Widerstandsfähigkeit verändern.

Dies wird durch die Verwendung eines Spannungsteilerschaltkreises erreicht. Indem man einen Widerstand auf einem festen Wert hält, muss die veränderte Spannung, die man misst (V_{out}), vom Thermistor verursacht werden. Diese Anstiege oder Abfälle können dann mittels der Transferfunktion zu Anstiegen oder Abfällen der Temperatur umgeschrieben werden. Eine Transferfunktion ist eine einfache Gleichung, die uns die Beziehung zwischen gemessener Spannung und der tatsächlichen Temperatur anzeigt.

Um die Transferfunktion zu berechnen, müssen wir zunächst den Schaltkreis analysieren und schließlich die Temperatur als Funktion der Spannung festlegen. Um die Transferfunktion korrekt einzustellen, kann es helfen das Datenblatt des Herstellers heranzuziehen.



↑ Diagramm eines Spannungsteilerschaltkreises

R_1 und R_2 könnten in diesem Schaltkreis jeweils durch einen Thermistor ersetzt werden.

Zusatzaufgabe

Der Strom (**I**), der durch die Widerstände (**R1** & **R2**) fließt, kann mit dem Ohm'schen Gesetz (**V=IR**) berechnet werden. Stelle nun die untenstehenden Gleichungen um, kombiniere sie und gib die finale Gleichung für **V_{out}** an.

Wenn:

$$V_{in} = I (R1 + R2) \text{ und } V_{out} = I(R2)$$

$$I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ und } I = \underline{\hspace{2cm}}$$

dann kann man die Gleichungen kombinieren, um **I** zu entfernen:

=

Aber wir möchten wissen, wie **V_{out}** von den anderen Parametern abhängt. Demnach gibt uns die Umstellung der Gleichung:

$$V_{out} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Weil **V_{in}** (gemeinsam mit **R1**) feststeht, können wir den **sich verändernden Widerstand (R2)** mithilfe des Spannungsteilerschaltkreises zu einer **sich verändernden Spannung** konvertieren.

Hinweis: fließender Strom generiert Abwärme in dem Material, das er passiert (z.B. im Thermistor Material) und das wiederum verändert dessen elektrischen Widerstand. Um diesen ungewollten Effekt zu minimieren, solltest du den Schaltkreis am besten erst kurz vor der Messung einschalten. Nimm die Messung dann so schnell wie möglich vor und schalte den Schaltkreis dann unverzüglich wieder aus. Dies minimiert die Zeitspanne, in der der Strom fließt und demnach wird weniger Wärme generiert.

→ Aufgabe 3: Kommunikation mit dem CanSat

Einführung

Nun solltest du bereit sein die Elektronik, die für die Hauptmission benötigt wird, herzustellen. Es fehlt nur noch ein wichtiger Schritt: Die Daten, die der CanSat aufzeichnet, müssen an die Bodenkontrollstation gesendet werden. Um dies zu erreichen, müssen wir uns genauer mit den Bauteilen befassen, die man zum Kommunizieren verwendet. Außerdem müssen wir herausfinden, wie elektronische Bauteile untereinander kommunizieren.

Sende- Empfangsgeräte (oder Radiomodule)

Wir wissen bereits, wie man einen Arduino und Temperatur- und Drucksensoren verwendet. Aber wie empfangen wir die Daten, die unser CanSat sammelt? Wir könnten natürlich den CanSat die Daten abspeichern lassen und diese dann später auslesen, wenn wir den CanSat geborgen haben. Teil der Hauptmission ist es jedoch den CanSat im Sekundentakt Informationen an eure Bodenkontrollstation übermitteln zu lassen. Dies wird aus zwei Gründen vorausgesetzt.

Erstens, so wird eine echte Satellitenmission auf authentische Art und Weise simuliert! Zweitens, wir können nicht alle Bedingungen beim Raketenstart kontrollieren und manchmal bedeutet dies, dass wir nicht ausnahmslos jeden CanSat bergen können. Wenn die Daten allerdings an eine Bodenkontrollstation übertragen werden, kann die Analysephase des Projekts dennoch durchgeführt werden.

Um die gesammelten Daten zwischen dem CanSat und der Bodenkontrollstation zu übertragen, werden kabellose Sende-Empfangsgeräte eingesetzt. Diese arbeiten als Paar, in derselben Art und Weise wie Walkie-Talkies. Sowohl der CanSat als auch die Bodenkontrollstation sind mit einer Antenne ausgestattet. Die CanSat-Antenne übermittelt Daten und die Antenne der Bodenkontrollstation empfängt diese. Um Störungen und Interferenzen vorzubeugen, erhält jedes Team im Wettbewerb eine eigene Frequenz – genauso wie die unterschiedlichen Kanäle bei einem Walkie-Talkie. So empfängt man ausschließlich die Daten des eigenen CanSat und von keinen anderen Quellen.

Die unterschiedlichen Wahlmöglichkeiten bei Sende-Empfangsgeräten und eventuelle Auswahlkriterien sollten ebenfalls besprochen werden.

Die wichtigsten Auswahlkriterien sind die Betriebsfrequenzen, die geforderte Stromleistung, die physische Größe des Geräts und die Kosten. Bei der Zusammenstellung eines so komplexen Projekts muss man häufig Kompromisse eingehen. Die Komponenten, die für die einzelnen Aufgaben perfekt geeignet sind, sind unter Umständen untereinander nicht kompatibel. Die Gründe dafür können vielfältig sein.

Abbildung A5



↑ APC220 Modul

Abbildung A6



↑ RFM95 LoRa Modul

Abbildung A7



↑ XBee Modul

Häufig wird das APC220 gewählt. Es ist in der Lage über eine Distanz von 1000 m zu kommunizieren und es kann im Frequenzbereich zwischen 418 MHz und 455 MHz betrieben werden. Eine beliebte Alternative stellt das LoRa-Modul dar. Es verfügt über eine längere Reichweite (bis zu 2000 m), arbeitet dabei aber auf einer festen Einzelfrequenz. Zuletzt wird dann noch das XBee Modul vorgestellt. Das XBee unterscheidet sich signifikant von den beiden anderen Geräten, da man es in der Wifi Bandbreite von 2.4 Ghz betreiben kann. Ein klarer Nachteil dieses Geräts ist, dass mobile Geräte in der Nähe für Interferenzen sorgen könnten. Je nach Modell variiert die Reichweite des Moduls zwischen 400 m und 1600 m.

Was das optimale Sende-Empfangsgerät für den jeweiligen CanSat ist, wird von Team zu Team verschieden sein. Deshalb sollte man das Datenblatt jedes Geräts aufmerksam lesen und bei der Entscheidung miteinbeziehen! Weitere Informationen hierzu findest du auf den Arbeitsblättern zu ‚Kommunikation über Radio‘.

Kommunikationsprotokolle

Alle elektronischen Geräte benutzen eines von mehreren möglichen Systemen, um zwischen einzelnen Bauteilen zu kommunizieren. Die drei für CanSats gängigste Systeme sind UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), SPI (serial peripheral interface) und I2C (Inter-Integrated circuit).

UART Kommunikation

UART steht für 'universal asynchronous receiver-transmitter' (universell asynchroner Sende-Empfänger). Der Hauptunterschied zwischen UART und SPI und I2C ist die 'Asynchronität' (das Gegenteil von Synchronität)! Aber was soll das überhaupt heißen?

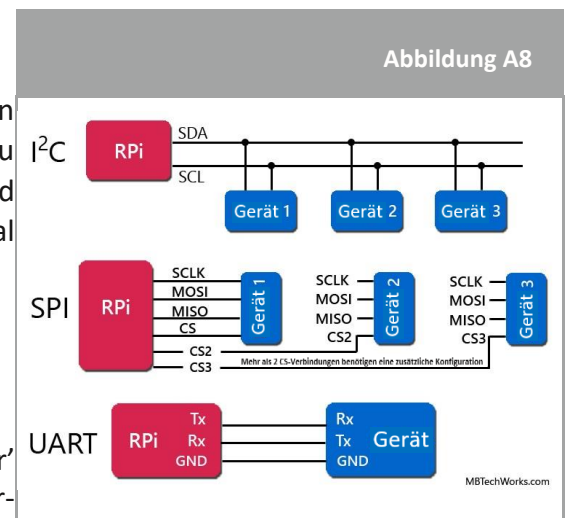
Synchrone Kommunikation ist so, als würde man jemanden über das Telefon anrufen. Erst wählt man eine Nummer, dann wartet man darauf, dass jemand am anderen Ende den Hörer abnimmt. Ab dem Moment, wenn du deine Daten übermittelst (oder sprichst), ist der Empfänger unverzüglich in der Lage die Daten zu empfangen (oder zu hören) und dann seine eigenen Daten zu übermitteln (oder zu sprechen), die du dann wieder empfangst (oder hörst). Wenn du schließlich aufhören möchtest deine Daten zu übermitteln, übermittelst du dem Empfänger eine Nachricht, um dies klarzumachen (du sagst 'Tschüss') und dann widmest du dich anderen Aufgaben.

Asynchrone Kommunikation funktioniert eher wie das Verschicken eines Briefes. Nachdem du den Brief verschickt hast, steht dir als Sender sofort wieder frei dich anderen Aufgaben zu widmen, während du auf eine Antwort wartest. Später kannst du in deinem Briefkasten nachschauen, ob du eine Antwort erhalten hast und dich dementsprechend verhalten!

UART wird sehr häufig genutzt, weil es einfach zu benutzen und eher unkompliziert ist. Dafür hat es aber auch seine Einschränkungen:

1. UART ist entwickelt worden, um die Kommunikation zwischen genau zwei Geräten zu ermöglichen, was es nicht sonderlich brauchbar für komplexere CanSats macht. Weil das Protokoll lediglich Bits verschickt, die den Anfang, den Inhalt und das Ende einer Nachricht anzeigen, ist es unmöglich mehrere Geräte auf derselben Leitung zu betreiben. Wenn mehr als ein Gerät versucht Daten zu übermitteln, tritt ein sog. 'Buskonflikt' auf: mehrere Geräte an Bord des 'Busses' versuchen gleichzeitig ihre Daten zu übermitteln und alles was empfangen wird, sind unbrauchbare Daten!
2. UART ist ein 'Halbduplex', d.h. obwohl Daten in beide Richtungen übertragen werden können, kann dies niemals gleichzeitig geschehen. Bei einem Projektaufbau, bei dem zwei Arduinos verwendet werden würde dies z.B. bedeuten, dass immer nur genau ein Arduino an den anderen senden kann. Das stellt aber nicht unbedingt einen Nachteil für ein CanSat-Projekt dar.

Typischerweise wird UART bei CanSat folgendermaßen verwendet: Versenden von Nachrichten zur Fehlerbereinigung (Debugging) und Programmentwicklung an PCs, zur Kommunikation mit GPS-Sensoren und zur Kommunikation mit externem Wifi und mit GPRS (3G) Modems.



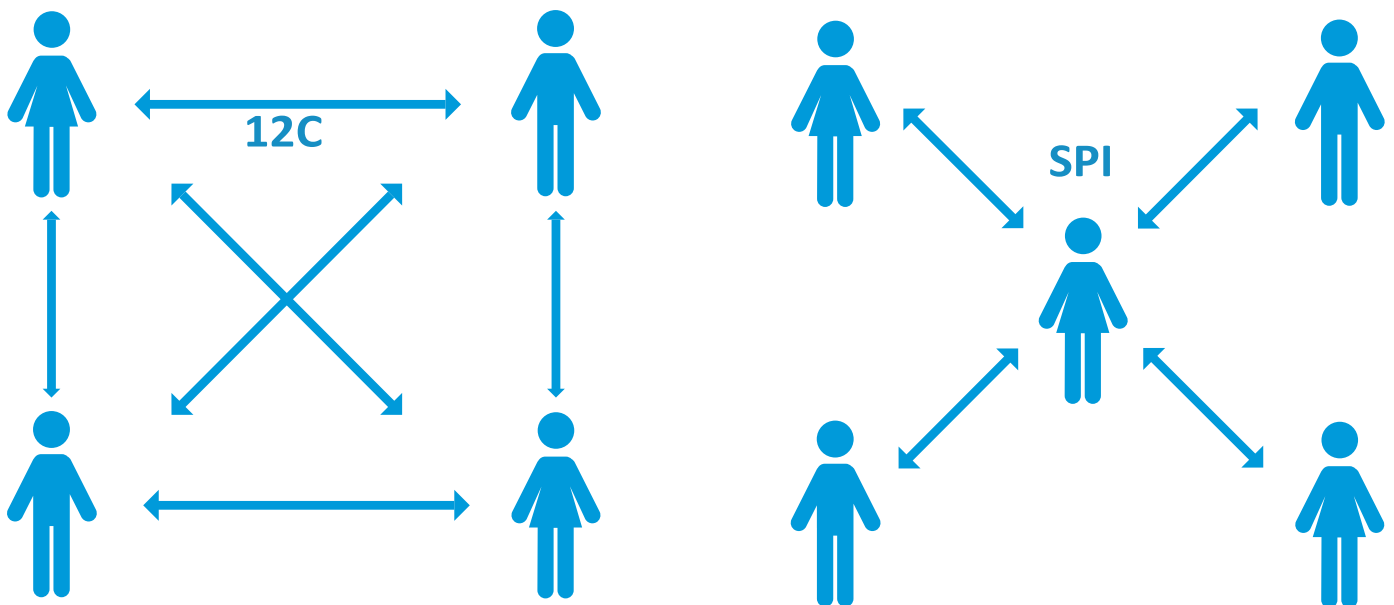
↑ Schaubild der unterschiedlichen Kommunikationsprotokolle

I2C und SPI Kommunikation

I2C erlaubt es uns mehrere Geräte (bis zu 1008!) mit demselben I2C-Interface zu verbinden, welches eigentlich nur aus ein paar Drähten besteht. Es erlaubt uns außerdem Zweiwegekommunikation und ist somit ideal geeignet für die Kommunikation mit Sensoren. **Typischerweise wird I2C bei CanSat folgendermaßen verwendet:** "Smartere" Sensoren (z.B. der BMP 280), Beschleunigungsmesser, Analog-Digital Konverter, Digital-Analog Konverter, LCD-Bildschirme, Batterie Controller.

Auf der anderen Seite ist **SPI** das komplexeste Interface, das von der Arduino Hardware unterstützt wird. **I2C** hingegen unterstützt Zweiwegekommunikation mit mehreren Geräten und bietet eine viel höhere Übertragungsrate. Deshalb ist es geeignet auch mit den komplexesten Geräten zu kommunizieren, die du womöglich mit deinem CanSat verwenden willst. **Typischerweise wird SPI bei CanSat folgendermaßen verwendet:** Kameras, Speicherkarten (z.B. SD-Karten), GPS Module, WiFi Modems.

Wir verwenden einen einfachen Vergleich, um zu erklären, wie sich die unterschiedlichen Komponenten in einem SPI-System und einem I2C-System verhalten. SPI steht für 'Serial Peripheral Interface'. I2C steht für 'Inter-Integrated Circuit'. Die Namen sind erst einmal egal, wichtiger ist die Funktionsweise mit unseren CanSats.



Die obenstehende Abbildung zeigt einen Vergleich. Auf der rechten Seite steht das SPI-System, auf der linken das I2C-System. Bei diesem Vergleich sind die elektronischen Komponenten durch Menschen ersetzt worden. Die Pfeile zeigen die Kommunikationsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Personen an. Beim SPI-System ist demnach eine einzige Komponente zuständig für die gesamte Kommunikation. Sie wird ‚Master‘ (Meister) genannt. Die anderen Komponenten sind passend dazu die ‚Slaves‘ (Sklaven). Beim I2C-System kann jede Komponente mit jeder anderen kommunizieren. Jedoch kann immer nur eine Komponente gleichzeitig Master sein. Der Master entscheidet hier mit welcher anderen Komponente Daten ausgetauscht werden. Der Slave wiederum gehorcht dem Master und sendet oder empfängt Daten. Beim I2C-Protokoll ist die Situation dynamisch. Alle Komponenten können den Zuhörbefehl ‚listen‘ senden und Master werden.

Auf den ersten Blick scheint das I2C-Protokoll oft besser, aber in der Realität funktionieren Schaltkreise nicht so einfach wie unser Vergleich. I2C ist zwar einfach zu installieren, die Datentransferrate ist aber langsamer als die von SPI und es wird mehr Strom verbraucht. Die Wahl des Kommunikationsprotokolls muss demnach, wie die Wahl jedes anderen Bauteils auch, immer abgewogen werden. Die Tabelle unten gibt hilfreiche Schlüsseleigenschaften der einzelnen Kommunikationsprotokolle an.

Tabelle A1

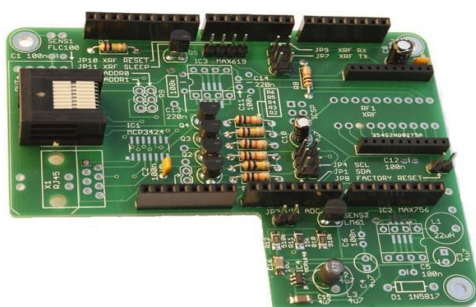
	Protokoll		
	I2C	SPI	UART
Aufbau	Viele Master, viele Slaves	1 Master, viele Slaves	1 Master, 1 Slave
	simpel – benötigt 2 Pins	komplex – benötigt 4 Pins	simpel – benötigt 2 Pins
Datentransferrate	langsam	schnell	langsam
Energieverbrauch	hoch	niedrig	hoch

→ Aufgabe 4: Einführung - Zusammenbau

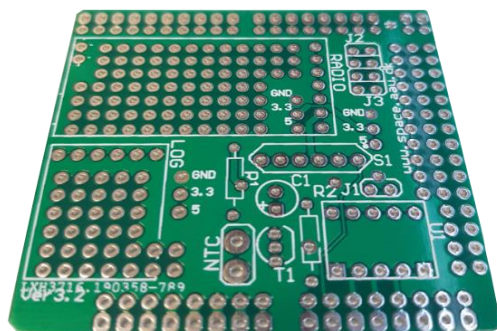
Fast geschafft! Jetzt da du die Bauteile für die CanSat-Mission alle verstehst, musst du sie nur noch zusammenbauen! Der CanSat-Wettbewerb stellt dich vor einzigartige Herausforderungen, da du in deinem CanSat nur begrenzten Platz für die zahlreichen Bauteile zur Verfügung hast. Wir werden nun einen Blick auf die Montage des CanSat werfen und auf die unterschiedlichen Arten, wie man ihn mit Strom versorgen kann.

Die Leiterplatte

Solltest du den CanSat dazu verwenden wollen auch die zusätzlichen Nebenmissionen anzugehen, wirst du immer zusätzliche Sensoren an die Hauptplatine anschließen müssen. Da verliert man schnell den Überblick. Zwei mögliche Lösungen sind die Verwendung einer Lochrasterplatte oder eines ‚Sensor-Shield‘. Das Sensor-Shield verhält sich sehr ähnlich zur Lochrasterplatte. Es ist jedoch so konstruiert, dass man es mühelos mit der Hauptplatine verbinden kann. Unten kannst du eine Abbildung eines Sensor-Shields sehen. Sensor-Shields sind aber häufig teurer als Lochrasterplatten, da sie maßgefertigt für die Verwendung mit spezifischen Mikrokontrollern sind.



Leiterplatten hingegen sind sehr günstig und vielseitig einsetzbar. Sie ähneln den Lochrasterplatten zum Stecken, die wir bereits besprochen haben. Der hauptsächliche Unterschied besteht darin, dass die elektrischen Verbindungen durch Löten hergestellt werden. Unten seht ihr ein Beispiel für eine solche Lötplatte.



Obwohl wir uns auf diesen Arbeitsblättern ausschließlich mit der Hauptmission beschäftigen, musst du dir immer auch darüber im Klaren sein, welche Richtung dein Projekt nach der Hauptmission einschlagen wird. Arbeite also zukunftsorientiert! Die Wahl einer geeigneten Erweiterung für die Hauptplatine ist sehr wichtig.

Löten

Der Start des CanSat ist mit beachtlicher Beschleunigung und den damit entsprechenden G-Kräften verbunden. Dies könnte zu Problemen führen, falls die Verbindungen in deiner Elektronik nicht stark genug sein sollten. Um dieses Problem zu lösen, sollten wir am besten löten. So können wir eine stabile elektrische Verbindung zwischen den Komponenten garantieren. Dabei wird ein Metall geschmolzen, um elektronische Verbindungen herzustellen.

Das Metall, das zur Herstellung der Verbindungen verwendet wird, heißt Lötzinn. Es ist wichtig, dass dieses Metall einen niedrigeren Schmelzpunkt hat als die Drähte oder Komponenten, die verbunden werden sollen. Schließlich wollen wir nicht, dass diese ebenfalls schmelzen! Das Lötzinn wird durch Zuhilfenahme eines LötKolbens auf die Verbindungsstellen aufgetragen. Dies scheint im Vergleich zum Schreiben des Quelltexts oder zur Wahl der Sensoren banal, aber eine schlechte Lötverbindung ist das erste was bei einem Start versagen wird und mit einem fehlerhaften Schaltkreis bringt man die gesamte Hauptmission in Gefahr!

Der große Vorteil von Lötverbindungen ist, dass sie langlebiger und zuverlässiger sind als Steckverbindungen. Aufgrund von Vibrationen und G-Kräften während Raketenstarts, sind qualitativ hochwertige Lötverbindungen unabdingbar.

Abbildung A9



↑ Beispiel für eine Lötstation

Sicherheit:

- LötKolben erreichen eine Temperatur zwischen **300-400°C**.
- **Trage zu jeder Zeit eine Schutzbrille** und stelle sicher, dass du nichts in der Nähe des LötKolbens abstellst.
- Achte darauf, dass der LötKolben **vollständig** abgekühlt ist, bevor du ihn wegräumst.

Eine **gute Technik beim Löten** ist wichtig, wenn man gute Lötverbindungen herstellen möchte:

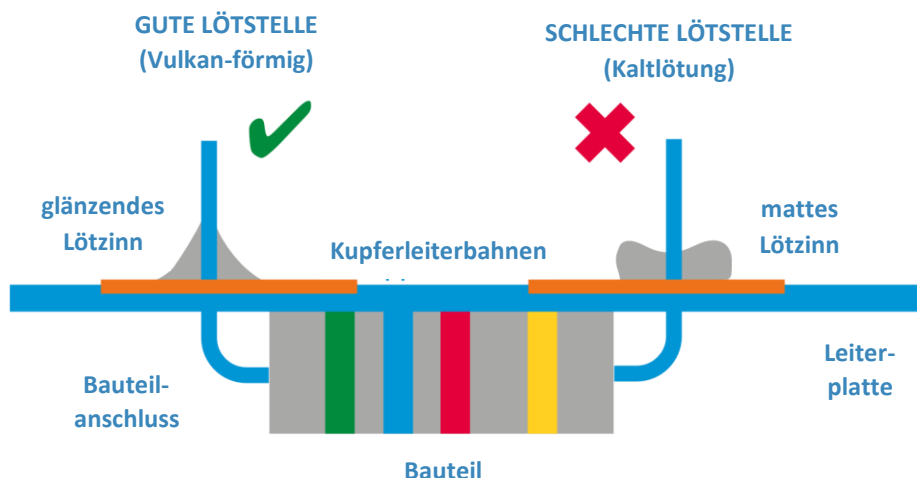
- Berühre mit dem LötKolben den Kontakt des Bauteils, der gelötet werden soll; warte 2 -3 Sekunden, bis er sich erhitzt hat und trage dann eine kleine Menge Lötzinn auf.
- Das Lötzinn sollte schmelzen und den Kontakt vollständig umschließen; entferne anschließend den LötKolben und das restliche Lötzinn.
- Stelle sicher, dass die Bauteile vollständig abgekühlt sind, bevor du mit dem nächsten Kontakt weitermachst.

Eine **gute Lötverbindung** erhält man, wenn das Lötzinn die zu verbindenden Oberflächen ‚benetzt‘. Die Form ähnelt dabei einem Vulkan.

Schlechte Lötverbindungen entstehen aus vielerlei Gründen, z.B. wenn zu viel Lötzinn verwendet wurde, der LötKolben zuerst das Lötzinn erhitzt und nicht den Kontakt des Bauteils oder wenn die zu löten Oberflächen nicht sauber sind.

Bevor wir die Komponenten löten, ist es ratsam, auf einem überschüssigen Stück Platine das Löten erst einmal zu üben. Eine schlechte Lötverbindung ist erfahrungsgemäß das allererste, was beim Start eines CanSat versagt und dies kann dazu führen, dass keinerlei Daten gesammelt werden können!

Am Ende dieser Sammlung von Arbeitsblättern stehen Links, die dir mit deiner Löttechnik helfen können.



Stromversorgung des CanSat

Nun hast du das Grundlagenwissen, das du brauchst, um einen eigenen CanSat für deine Hauptmission zu bauen. Aber es gibt noch ein wichtiges Charakteristikum eines jeden CanSats, das wir noch nicht besprochen haben, die Stromversorgung! Natürlich kann dein CanSat während des Starts nicht weiter mit dem USB-Port verbunden bleiben; er braucht eine interne Stromquelle. Normalerweise werden Satelliten durch Solarzellen betrieben. Beim CanSat-Wettbewerb ist dies leider nicht möglich.

Aufgabe 1

1. Warum werden Solarzellen für herkömmliche Satelliten verwendet und warum sind sie für einen CanSat weniger geeignet?

Bevor du dich für eine Stromquelle entscheidest, solltest du folgende Fragen beantworten:

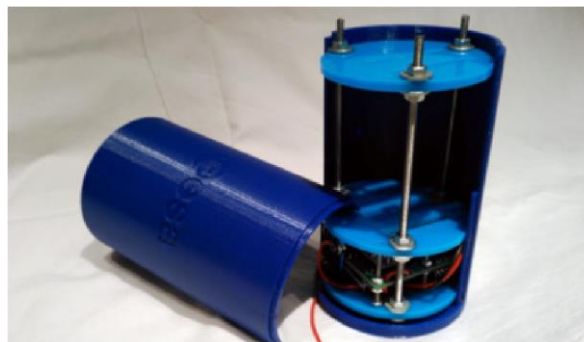
- Welche Spannung musst du bereitstellen?
- Wie viel Volumen darf die Batterie haben?
- Welche Batteriekapazität brauchst du (mAh)?
- Wie schwer darf die Batterie maximal sein?

Viele Mikroprozessoren sind in der Lage entweder 3.3V oder 5V bereitzustellen. Höhere Spannungen (z.B. 9V – Batterien) können aber auch verwendet werden, da viele Platinen Regulatoren haben, die die Spannung reduzieren. Leider wird dabei aber auch Energie verschwendet. Dieser Energieverlust muss bei der Konstruktion des CanSat mitbedacht werden. In den meisten Fällen wird dieser Energieverlust aber nicht wesentlich sein, da der Flug des CanSat relativ kurz ist. Dennoch sollte dies in die Berechnungen miteinbezogen werden.

Eine Power Bank kann ebenfalls eine geeignete Lösung sein. Diese gibt es in verschiedenen Formen und Größen und mit unterschiedlichen Speicherkapazitäten. Manche Power Banks sind mit ‚smarter‘ Elektronik ausgestattet, die dafür sorgt, dass der Stromfluss nicht unterbrochen wird.

Das Gehäuse

Der letzte, aber nicht unwichtigste Schritt zur Fertigstellung des CanSat ist der Zusammenbau des Gehäuses, das all unsere elektronischen Komponenten, die für die Haupt- und Nebenmission benötigt werden, beherbergen soll. Das Gehäuse muss die Messinstrumente sowohl vor den beim Start auftretenden Kräften, als auch gegen das Wetter (Regen / tiefe Temperaturen) schützen.



Die Benutzung eines 3D-Druckers erlaubt es uns genauso ein Gehäuse zu bauen, wie unsere Spezifikationen es verlangen. Oft wird ein Design gewählt, das mit mehreren Ebenen arbeitet. So kann man z.B. auch Bauteile voneinander trennen, die für die Haupt- oder Nebenmission gebraucht werden. Ein einfach zu entfernendes Gehäuse erleichtert es kurzfristige Änderungen oder Reparaturen durchzuführen. [Hier](#) kannst du .stl-Dateien herunterladen, mit denen du die Gehäuseteile, die oben abgebildet sind drucken kannst.

Diese Arbeitsblätter waren als Einführung zur Elektronik und zu den Sensoren gedacht, die für die Hauptmission benötigt werden. Jetzt kannst du endlich loslegen!

Aufgabe 2

Sobald du weißt, wie die unterschiedlichen Komponenten, die du für die Hauptmission brauchst, funktionieren, solltest du damit beginnen die Produktion zu planen. Eine solche Tabelle könnte dir dabei helfen:

Tabelle A2			
Element	Gewähltes Bauteil	Gründe für die Wahl	Nächstbeste Alternative
Microprozessor			
Temperatursensor			
Drucksensor			
Transceiver			
Strom			

Viel Erfolg!

