Hands-On Computer Science

Nicolas Meseth

1. Dezember 2025

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Glückwunsch, ihr seid angekommen! Egal, wie euer Weg hierher aussah: Ihr habt dieses Buch geöffnet – und damit den ersten Schritt getan. Vielleicht studiert ihr an der Hochschule Osnabrück und seid im Modul dabei, vielleicht seid ihr aus Neugier hier. So oder so: Willkommen!

Dieses Buch ist aus meiner Lehrpraxis an der Hochschule Osnabrück entstanden. Es dient als Hauptlektüre in meinen Veranstaltungen, als Nachschlagewerk für verpasste Sitzungen und als kompakte, praxisnahe Einführung für alle, die sich eigenständig in die digitale Welt einarbeiten wollen. Die wissenschaftliche Disziplin dahinter heißt auf Deutsch Informatik, international Computer Science. Der Titel Hands-On Computer Science verrät schon den Ansatz: Wir lernen praktisch – von Anfang an.

Für wen ist dieses Buch gedacht?

Lehrbücher zur Informatik gibt es viele. Doch nicht jedes passt zu dem, was ich mit meinen Studierenden erreichen möchte. Meine Zielgruppe seid ihr:

- Studierende aus Studiengängen wie Management nachhaltiger Ernährungssysteme, Lebensmittelproduktion oder Agrarsystemtechnologien.
- Quereinsteiger:innen, Wiederholer:innen und neugierige Menschen – auch ohne Bezug zur Hochschule Osnabrück.

Kurz gesagt: Dieses Buch ist für alle, die in die digitale Welt eintauchen wollen, ohne sich in Details zu verlieren. Ihr braucht keinen dicken Wälzer, sondern einen roten Faden, der euch Schritt für Schritt zu den grundlegenden Konzepten führt – mit Spaß und Erfolgserlebnissen.

Was macht dieses Buch anders?

Viele Bücher versprechen Praxisnähe, enden aber in abstrakten Übungen am Kapitelende. Hier gehen wir es anders an:

1. Ihr entdeckt informatische Konzepte über Experimente mit Microcontrollern, Sensoren, Buttons, LEDs und Displays.

2. Wichtige Ideen führen wir früh ein, vertiefen sie nach und nach und wiederholen sie regelmäßig.
3. Theorie und Praxis gehören zusammen: Ihr lernt Programmieren und Informatik-Grundlagen gleichzeitig.

Hands-on von Anfang an

Habt ihr euch schon einmal gefragt, wie man Informationen mit Licht überträgt? Wie man mit Licht den Puls messen kann? Oder wie man mit zwei einfachen Kabeln einen Wasserstandssensor baut? Genau solche Fragen beantworten wir – nicht nur theoretisch, sondern praktisch.

In jedem Kapitel erproben wir ein neues Experiment und lernen dabei eine Facette der digitalen Welt kennen. Gleichzeitig wächst euer Programmierwissen organisch mit. Wenn alles gut läuft, merkt ihr kaum, wie schnell ihr vorankommt.

Experimente im Überblick

Kapitel für Kapitel arbeitet ihr an Experimenten, die Hardware und Software verbinden. Dabei geht es um mehr als das Zusammenschrauben von Komponenten: Ihr lernt, Computer als universelle Problemlösungsmaschinen zu nutzen – für eure eigenen Ideen.

Kapitel	Experiment(e)
Kapitel 1	Wir lassen eine LED einen Regenbogenfarbverlauf über die Zeit erzeugen.
Kapitel 2	Wir entwickeln einen Dimmer für die LED, der über einen Drehknopf gesteuert wird.
Kapitel 3	Wir lernen, wie man Texte ganz ohne Tastatur eingeben kann – über Handgesten.
Kapitel 4	Wir verbinden Tabellenkalkulation mit Bildern und Displays
?@sec-sound	Das Kapitel ist noch in Arbeit…
?@sec-analog-digital	Wir basteln ein Pulsmessgerät aus einem einfachen Lichtsensor

Die Hardware: unser Experimentier-Set

Hier seht ihr die Geräte, mit denen wir experimentieren. Zusammen kosten alle Komponenten ca. 249 €. Keine Sorge: Wenn ihr dieses Buch im Rahmen meines Moduls „Digitalisierung und

Programmierung“ an der Hochschule Osnabrück nutzt, erhaltet ihr für die Zeit des Semesters ein komplettes Hardware-Kit kostenlos.

Was?	Bauteil	Anzahl	Preis pro Stück
Bunte LED	RGB LED Bricklet 2.0	1	8 €
Drehknopf mit Zählerfunktion	Rotary Encoder Bricklet	1	8 €
Infrarot-Entfernungsmesser	Distance IR 4-30cm Bricklet 2.0	1	20 €
OLED Display	OLED 128x64 Bricklet	1	25 €
Button mit integrierter, bunter LED	RGB LED Button Bricklet	1	15 €
Licht- und Farbsensor	Color Bricklet 2.0	1	17 €
Piezo Lautsprecher	Piezo Speaker Bricklet 2.0	1	19 €
Analoger Spannungssensor	Analog In Bricklet 3.0	1	14 €
Schalldruckpegelsensor	Sound Pressure Level Bricklet	1	35 €
Mikrocontroller	Master Brick 3.2	2	35 €
Anschlusskabel 15 cm	Bricklet Kabel 15cm (7p-7p)	8	1 €
USB-A-auf-USB-C-Kabel	USB-A auf USB-C Kabel 100 cm	1	6 €
Montageplatte	Montageplatte 22x22 (12x12cm)	2	7 €
Schrauben, Abstandshalter und Muttern	Befestigungskit 12mm	4	2 €

So nutzt ihr dieses Buch am besten

Weil es hier viel ums Programmieren geht, findet ihr zahlreiche Codebeispiele. Wir verwenden als Einstiegssprache Python. Warum Python? Weil es in der Praxis weit verbreitet ist, eine klare, leicht lesbare Syntax hat und viele nützliche Bibliotheken den Einstieg erleichtern.

Codeblöcke sind im Text deutlich abgesetzt (grau hinterlegt, Schreibmaschinenschrift). Ein Beispiel mit Annotationen:

```
led.set_rgb_value(0, 0, 0)                                                    ①
led.set_rgb_value(255, 255, 255)                                              ②

print("Diese Zeile hat keine Annotation")

# Lasse die LED blau aufleuchten                                              ③
led.set_rgb_value(0, 0, 255)
```

① Schaltet die LED aus, weil der RGB-Code (0, 0, 0) die Farbe Schwarz ergibt.
② Schaltet die LED auf weißes Licht, weil dreimal 255 die Farbe Weiß ergibt.
③ Auch Kommentare sind für kurze Erläuterungen nützlich.

Wenn ihr das Buch online lest, erscheinen zu den kleinen Ziffern im Code beim Darüberfahren Tooltips mit Erklärungen. In der PDF- oder Druckversion stehen die Erläuterungen unter dem Codeblock.

Damit der Fokus beim schrittweisen Entwickeln auf den neuen Teilen liegt, lasse ich gelegentlich Abschnitte im Code aus und markiere das mit drei Punkten (`...`). Den vollständigen Code findet ihr am Ende eines Abschnitts und im GitHub-Repository zum Buch:

https://github.com/winf-hsos/hands-on-computer-science-code

Noch ein Tipp: Wenn ihr mit der Maus über einen Codeblock fahrt, erscheint rechts oben ein Clipboard-Symbol. Ein Klick darauf kopiert den Code in eure Zwischenablage – ideal, um ihn in Visual Studio Code oder eine andere IDE einzufügen. In der Online-Version lassen sich manche Codeblöcke einklappen, damit ihr weniger scrollen müsst.

Fehler als Lernmotor: Frust gehört dazu

Eins vorweg: Beim Programmierenlernen ist Frust normal – und nützlich. Computer sind präzise, gnadenlose Lehrer. Ein vergessener Punkt, ein Buchstabe zu viel, ein Zahlendreher: Sofort gibt es Feedback. Das kann nerven, beschleunigt aber euren Lernprozess enorm. Sobald ihr Fehlermeldungen als Hinweise versteht und gezielt damit umgeht, kommen die Erfolgserlebnisse schnell.

Wenn etwas nicht klappt: Atmet durch, nehmt es nicht persönlich und versucht es erneut. Fehler sind unvermeidbar – und wichtig. Es lohnt sich!

Empfehlenswerte Bücher

Auch wenn dieses Buch einen eigenen Weg geht, haben mich andere Werke inspiriert:

Abbildung 1: Ein frustrierter Frosch

- Code: The Hidden Language of Computer Hardware and Software von Charles Petzold: Ein Klassiker, der von einfachen Konzepten schrittweise zu komplexeren Themen führt – bis ihr gedanklich einen Computer nachgebaut habt.
- Abenteuer Informatik von Jens Gallenbacher.
- Computer Science: An Overview von J. Glenn Brookshear und Dennis Brylow: Ein umfassendes Lehrbuch mit breitem Überblick und klarer Struktur.
- The Way Things Work von David Macaulay: Erklärt Technologien unterhaltsam. Der Teil „The Digital Domain“ mit den Abschnitten „Making Bits“, „Storing Bits“, „Processing Bits“ und „Sending Bits“ hat die Struktur dieses Buches beeinflusst.

Auf geht's

Alles klar? Dann machen wir uns startklar für die Experimente! Dazu müssen wir ein paar Dinge auf unserem Rechner installieren.

Vorbereitung

Benötigte Software

Um die Experimente in diesem Buch selbst durchführen zu können, benötigt ihr folgende Software auf eurem Computer.

Software	Was ist das?	Download-Link
Visual Studio Code	Eine beliebte und kostenlose Entwicklungsugebung. Damit schreiben wir unsere Programme.	Download-Seite
Python	Die Programmiersprache, die wir in diesem Buch verwenden. Ebenfalls weit verbreitet und kostenlos.	Download-Seite
Git	Ein kleines Werkzeug, mit dem wir Codestände verwalten können. Damit kommt ihr am einfachsten an die Codebeispiele aus diesem Buch.	Download Seite
Brick Daemon	Ein Hintergrundprozess, der die Kommunikation mit der Tinkerforge-Hardware ermöglicht.	Download-Seite
Brick Viewer	Ein Tool, das eine grafische Benutzeroberfläche für die Interaktion mit der Tinkerforge-Hardware bietet.	Download-Seite

Klickt jeweils auf den Downloadlink, speichert die Installationsdatei auf eurem Computer, und installiert das Programm. Sobald ihr alles fertig installiert habt, macht ihr hier weiter.

Erweiterung für Visual Studio Code

Damit Visual Studio Code mit Python umgehen kann, benötigt ihr noch die Python-Erweiterung. Öffnet Visual Studio Code, klickt links auf das Erweiterungssymbol (das Quadrat-Symbol) und sucht nach "Python". Installiert die Erweiterung von Microsoft. Solltet ihr sie nicht finden, könnt ihr auch hier klicken.

Beispielcode herunterladen

Ich stelle für dieses Buch die fertigen Programme nach jedem Abschnitt auf GitHub bereit. Ihr könnt euch den Code von dort ganz einfach auf euren Rechner herunterladen und jederzeit darauf zugreifen. Um den Code herunterzuladen, gibt es zwei Wege.

Code über Git herunterladen (empfohlen)

Wenn ihr Git erfolgreich installiert habt, könnt ihr den Code über die Kommandozeile (Terminal) herunterladen. Öffnet dazu ein Terminalfenster (unter Windows: PowerShell oder Command Line, unter macOS: Terminal), wechselt in ein Verzeichnis, in dem ihr den Code speichern möchtet, und gebt folgenden Befehl ein:

```
git clone https://github.com/winf-hsos/hands-on-computer-science-code
```

Bei funktionierender Internetverbindung wird der Code heruntergeladen und in einem neuen Ordner namens `hands-on-computer-science-code` gespeichert. Ihr könnt diesen Ordner dann in Visual Studio Code öffnen, um auf die Codebeispiele zuzugreifen.

Code als ZIP-Datei herunterladen

Ihr könnt den aktuellen Stand von GitHub über herunterladen, indem ihr hier klickt. Speichert die ZIP-Datei auf eurem Computer und entpackt sie an einen Ort eurer Wahl. Anschließend könnt ihr den Ordner mit den Codebeispielen in Visual Studio Code öffnen.

Virtuelle Python-Umgebung einrichten (optional)

Um die Abhängigkeiten für die Codebeispiele zu installieren, ist es eine gute Idee, eine virtuelle Python-Umgebung zu verwenden. Dadurch wird sichergestellt, dass die benötigten Pakete isoliert von anderen Projekten installiert werden. Hier sind die Schritte, um eine virtuelle Umgebung einzurichten:

1. Öffnet ein Terminalfenster in Visual Studio Code (Terminal > Neues Terminal)
2. Navigiert zu dem Verzeichnis, in dem ihr den Code gespeichert habt.
3. Führt den folgenden Befehl aus, um eine virtuelle Umgebung zu erstellen:

```
python -m venv .python-env
```

Wenn ihr einen Mac-Rechner verwendet, müsst ihr anstelle des `python`-Befehls `python3` verwenden:

```
python3 -m venv .python-env
```

4. Aktiviert die virtuelle Umgebung mit dem folgenden Befehl:

Unter Windows:

```
.python-env\Scripts\activate
```

Unter macOS und Linux:

```
source .python-env/bin/activate
```

Abhängigkeiten installieren

Die Codebeispiele in diesem Buch verwenden (unter anderem) die Tinkerforge-Python-Bibliothek, um mit der Hardware zu kommunizieren. Diese Bibliothek müsst ihr einmalig installieren. Öffnet dazu ein Terminalfenster in Visual Studio Code (Terminal > Neues Terminal) und gebt folgenden Befehl ein:

```
pip install tinkerforge
```

Alternativ könnt ihr auch folgenden Befehl verwenden:

```
pip install -r requirements.txt
```

Damit installiert ihr alle Abhängigkeiten, die in der Datei `requirements.txt` aufgelistet sind. Damit seid ihr für die Experimente in diesem Buch bestens gerüstet.

Auch hier unterscheidet sich der Befehl auf einem Mac-Rechner. Dort müsst ihr `pip3` anstelle von `pip` verwenden:

```
pip3 install tinkerforge
```

Alternativ könnt ihr auch folgenden Befehl verwenden:

```
pip3 install -r requirements.txt
```

Umgebung testen

Um sicherzustellen, dass alles korrekt eingerichtet ist, könnt ihr ein kleines Testprogramm schreiben und ausführen. Erstellt eine neue Python-Datei in Visual Studio Code im Unterordner `workspace` und benennte es `my_first_program.py`. Öffnet die neue Datei mit einem Doppelklick und fügt folgenden Code ein:

```
print("Hello, World!")
```

Speichert die Datei und führt sie aus, indem ihr im Terminal folgenden Befehl eingebt:

```
python my_first_program.py
```

Und für alle Mac-Nutzer unter uns:

```
python3 my_first_program.py
```

Es sollte nun die Ausgabe `Hello, World!` im Terminal erscheinen. Wenn das funktioniert, seid ihr bereit für die nächsten Schritte!

Los geht's!

Jetzt seid ihr bereit, mit den Experimenten zu starten! Viel Spaß beim Lernen und Experimentieren!

1 Farben

Zusammenfassung

Im ersten Kapitel steigen wir gleich voll ein und schreiben unser erstes Programm. Unser Ziel ist es, eine LED nacheinander in allen Farben des Regenbogens leuchten zu lassen.

Auf dem Weg dorthin gehen wir die folgenden Schritte.

#	Was?	Wo?
1	Wir lernen, wie man eine LED aus einem Programm heraus steuert.	Abschnitt 1.2
2	Wir werfen einen kurzen Blick auf Farben und wie sie im Computer erzeugt werden. Dabei lernen wir den Unterschied zwischen additiver und subtraktiver Farbmischung kennen.	Abschnitt 1.3
3	Wir programmieren eine pulsierende LED als erster Schritt in Richtung Regenbogenverlauf.	Abschnitt 1.4
4	Wir lernen den Hue-Farbverlauf kennen, weil wir den für einen schönen Regenbogen benötigen.	Abschnitt 1.5
5	Endlich - wir schreiben das Programm für den Regenbogenverlauf.	Abschnitt 1.6

1.1 Experimentaufbau

1.1.1 Hardware

Bereit für euer erstes Hardware-Experiment? Perfekt! Ihr braucht dafür eine LED (RGB LED Bricklet 2.0) und einen Mikrocontroller (Master Brick 3.2). Befestigt beide Bauteile mit Abstandshaltern auf einer Montageplatte, wie in Abbildung 1.1 gezeigt. Zwei Schrauben pro Gerät reichen völlig. Denkt an die kleinen, weißen Unterlegscheiben aus Kunststoff. Sie schützen eure Platinen vor Druckstellen.

Die vollsändige Hardwareliste für dieses Kapitel sieht so aus:

- 1 x Master Brick 3.2
- 1 x RGB LED Bricklet 2.0

- 1 x Montageplatte 22x10
- 1 x Brickletkabel 15cm (7p-7p)
- 1 x Befestigungskit 12 mm

Neben der Hardware benötigt ihr auch die passende Software. Diese solltet ihr bereits installiert haben. Falls nicht, schaut im Abschnitt zu den Voraussetzungen vorbei. Dort ist alles genau beschrieben. Im Folgenden gehe ich davon aus, dass ihr alles am Laufen habt.

1.1.2 Erste Schritte mit der LED

Im ersten Schritt wollen wir die LED und ihre Funktionen testen! Das geht ganz leicht mit dem Brick Viewer. Schließt zuerst den Master Brick über das USB-Kabel an euren Computer an und öffnet den Brick Viewer. Klickt dann auf den Connect-Button.

Wenn alles geklappt hat, zeigt euch der Brick Viewer alle angeschlossenen Geräte in Tabs an. Schaut euch Abbildung 1.3 an – so etwa sollte es aussehen.

Wechselt nun zum Tab der RGB LED. Hier könnt ihr auf unterschiedlichen Wegen die Farbe der LED einstellen. Mehr kann eine LED nicht!

Mit den drei Schiebereglern steuert ihr die einzelnen Farbkanäle – Rot, Grün, Blau. Der Wertebereich: 0 bis 255. Warum gerade diese Farben und diese Zahlen? Gute Frage. Die Antwort kommt weiter unten.

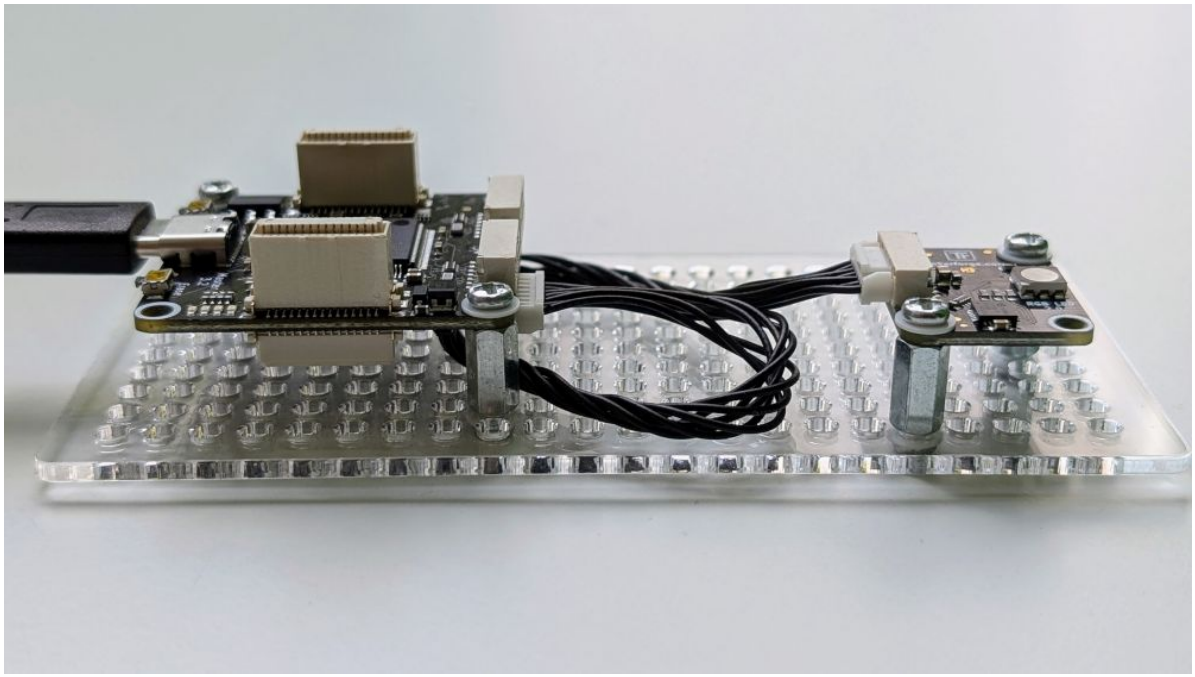
Fazit: Der Brick Viewer ist ideal zum Ausprobieren. Aber wenn ihr echte Projekte umsetzen wollt, müsst ihr programmieren lernen. Also los!

1.2 Erstes Programm: LED ansteuern

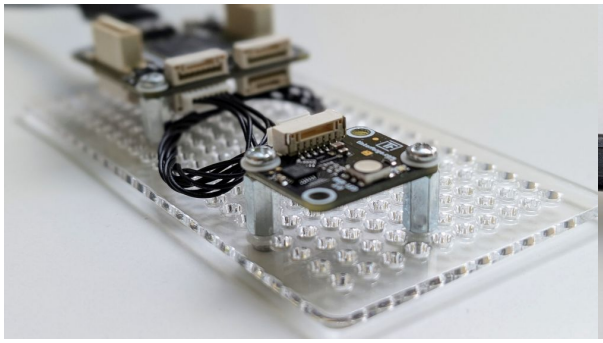
Wie verbinden wir uns über ein Programm mit der LED und setzen ihre Farbe? Die Antwort darauf findet ihr im folgenden kurzen Codebeispiel.

Listing 1.1 Der Boilerplate-Code für die Verbindung mit den Geräten am Beispiel der RGB LED.

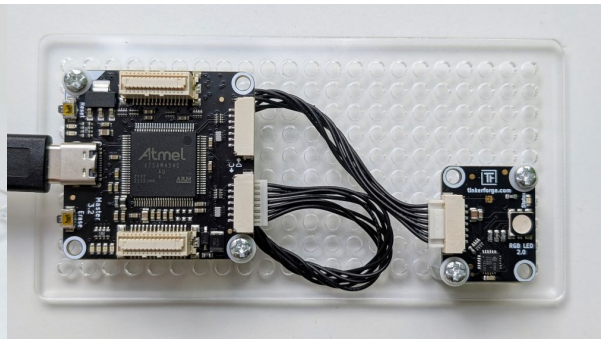
```
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection                    ①
from tinkerforge.bricklet_rgb_led_v2 import BrickletRGBLEDV2          ②

ipcon = IPConnection()                                                ③
ipcon.connect("localhost", 4223)                                      ④
led = BrickletRGBLEDV2("<YOUR_LED_UID>", ipcon)                       ⑤
```



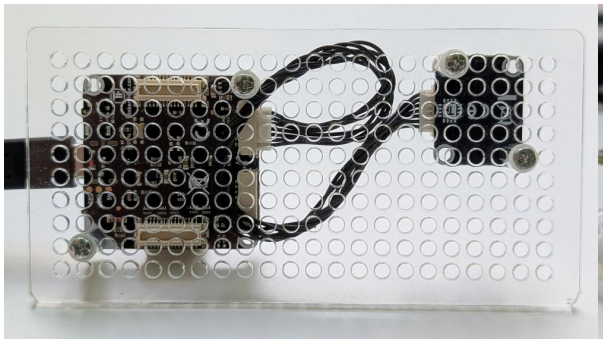
(a) Seitenansicht.



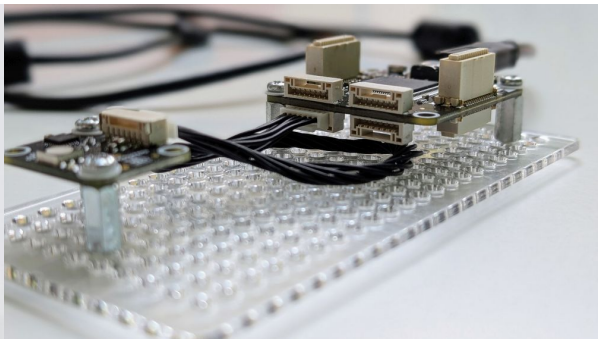
(b) Nahaufnahme der LED.



(c) Montageplatte mit allen Komponenten.



(d) Untenansicht.



(e) Ansicht der vier Steckplätze.

Abbildung 1.1: Einfaches Setup mit einem Mikrocontroller und einer LED.

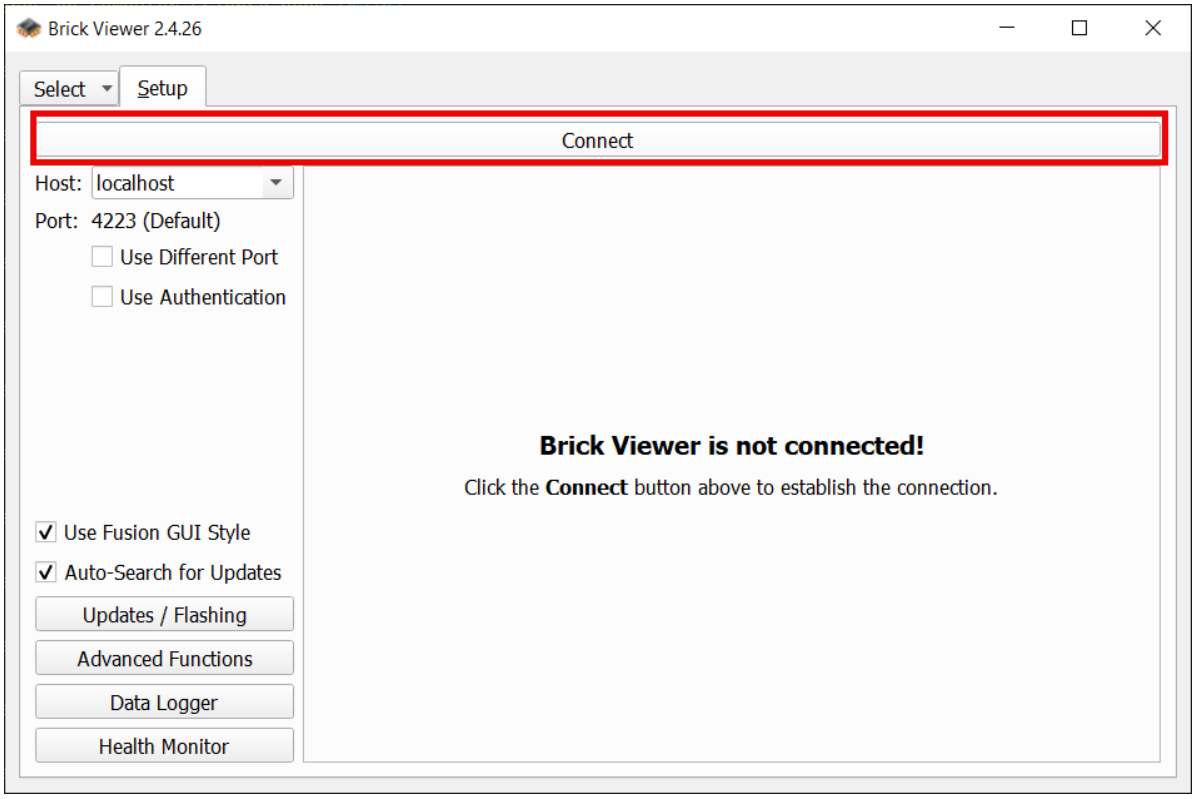


Abbildung 1.2: Über den Connect-Button verbindet ihr den Brick Viewer mit dem angeschlossenen Master Brick.

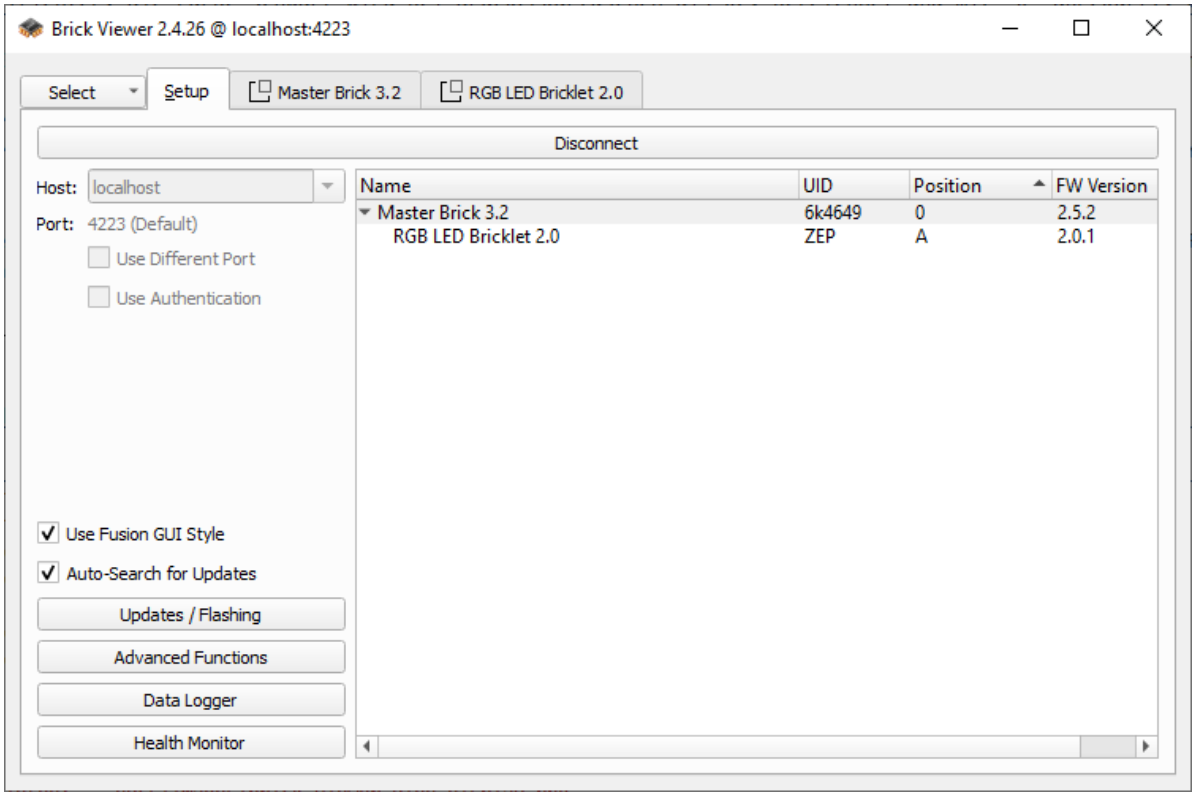


Abbildung 1.3: Der Brick Viewer, nachdem ihr mit dem Master Brick verbunden seid.

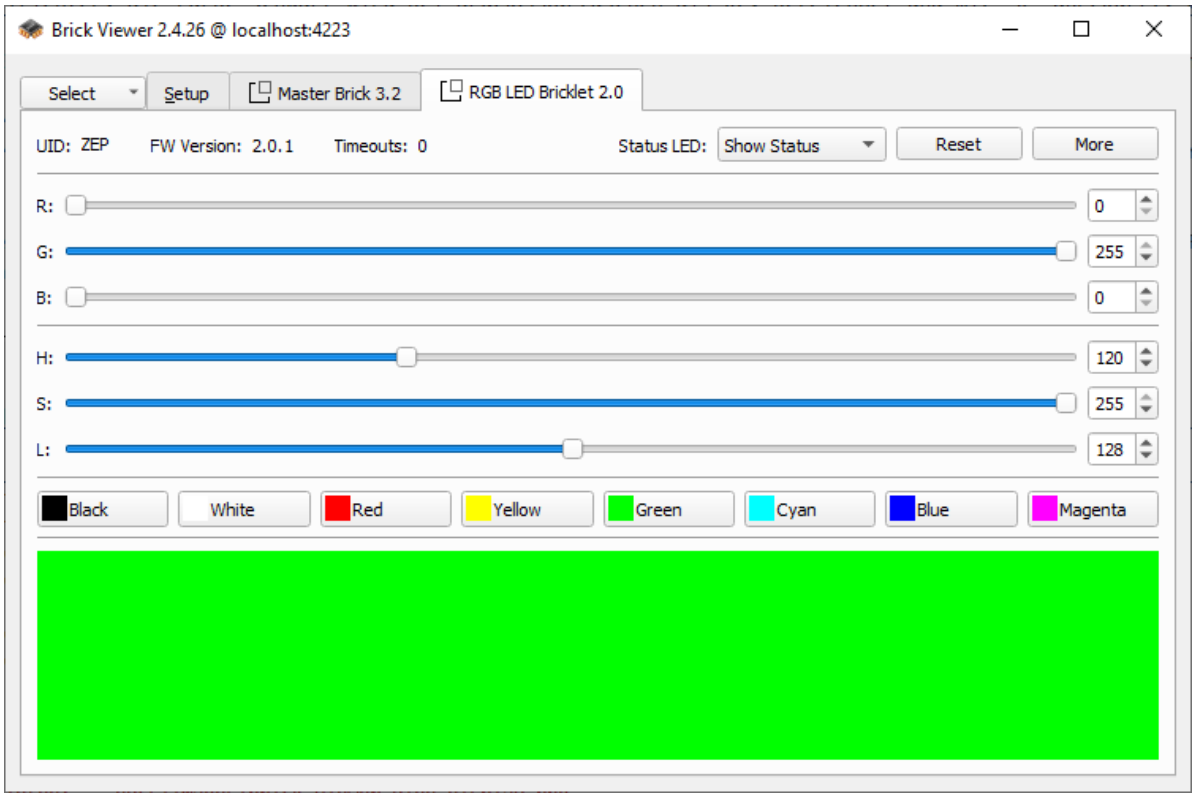


Abbildung 1.4: Die Ansicht für die RGB LED im Brick Viewer, in der ihr alle Funktionen per Klick im Zugriff habt.

① Hier importieren wir ein Objekt aus einer Bibliothek zum Herstellen einer Verbindung mit dem Master Brick.
② Hier importieren wir ein weiteres Objekt, das wir zur Darstellung der LED als Python-Objekt benötigen.
③ Die Verbindung erfolgt über eine sogenannte IP-Verbindung, die wir hier als Objekt erstellen.
④ Mit `connect` stellen wir eine Verbindung zum angeschlossenen Master Brick her.
⑤ Schließlich holen wir uns eine virtuelle Instanz des RGB LED Bricklets, indem wir die UID nennen und sagen, welche Verbindung (`ipcon`) genutzt werden soll.

1.2.1 Programme

Zunächst klären wir den Begriff Programm. Ein Programm ist eine Abfolge von Anweisungen, die ein Computer ausführt, um eine bestimmte Aufgabe zu erledigen. In unserem Fall ist das Programm später dafür zuständig, mit der LED zu interagieren und sie in verschiedenen Farben leuchten zu lassen. Programme werden in Programmiersprachen geschrieben, die es uns ermöglichen, dem Computer präzise Anweisungen zu geben. Wir verwenden in diesem Buch die Programmiersprache Python, die sich besonders gut für Einsteiger eignet und gleichzeitig mächtig genug ist, um komplexe Aufgaben zu lösen.

Wenn wir ein Programm ausführen, arbeitet der Computer die Anweisungen Schritt für Schritt von oben nach unten ab. Die Nummerierung der Zeilen verdeutlicht das sehr schön. Der Computer beginnt bei Zeile 1 und arbeitet die Befehle Zeile für Zeile bis nach unten ab.

Es gibt Befehle, die den Computer von dieser linearen Abfolge abweichen lassen, etwa Schleifen oder Verzweigungen. Diese lernen wir später kennen.

1.2.2 Boilerplate Code

Der Codeausschnitt in Listing 1.1 wird uns im Verlauf dieses Buches immer wieder begegnen. Wir benötigen ihn, um uns am Anfang des Programms mit den Geräten zu verbinden, die wir für unsere Anwendung benötigen. In der Informatik nennen wir solchen Code, den wir häufig in der gleichen Form benötigen und fast eins zu eins kopieren können, auch Boilerplate-Code. Wundert euch also nicht, wenn ich diesen Begriff ab und an mal verwende. Jetzt wisst ihr, was gemeint ist.

1.2.3 Bibliotheken

Beginnen wir in den ersten beiden Zeilen. Hier seht ihr zwei sehr ähnliche Befehle, die mit dem Schlüsselwort `from` beginnen. Nach dem Schlüsselwort `from` folgt der Name einer Bibliothek, aus der wir ein für unser Programm benötigtes Objekt importieren. Die Kombination der

Schlüsselwörter `from ... import` lässt sich also wörtlich übersetzen: “Aus der Bibliothek X importiere das Objekt Y”.

Eine *Bibliothek* in einer Programmiersprache ist die Bündelung und Bereitstellung von Funktionen, Klassen oder Konstanten. Eine Bibliothek könnt ihr euch vorstellen wie einen Werkzeugkasten: Sie enthält fertige Werkzeuge (Funktionen und Klassen), damit ihr nicht alles von Grund auf selbst programmieren müsst. Tinkerforge stellt uns genau solche Werkzeuge bereit, damit wir schnell und unkompliziert mit den Geräten loslegen können. Für jedes Gerät gibt es in der Tinkerforge-Bibliothek eine eigene Klasse, über die wir auf die Funktionen jedes Geräts zugreifen können.

1.2.4 Klassen und Objekte

Mit `from ... import` importieren wir also etwas aus einer Bibliothek. Soweit so gut. Aber was bedeutet das genau? Mit *importieren* ist konkret gemeint, dass wir dem Programm mitteilen, dass wir vorhaben, die genannten Dinge in unserem Programm zu verwenden, und dass sie deshalb am besten schon einmal geladen werden sollten. Ob wir diese Dinge später wirklich nutzen, steht auf einem anderen Blatt.

In dem Fall der ersten beiden Zeilen unseres Programms von oben sind es zwei Klassen, deren Verwendung wir ankündigen. Die erste Klasse heißt `IPConnection` und die zweite `BrickletRGBLEDV2`. Der Begriff Klasse ist hier analog zum Begriff *Kategorie* zu verstehen. Wir können zu einer Klasse gehörige Objekte erzeugen, und alle Objekte derselben Klasse verhalten sich gleich und haben die gleichen Funktionen. Das verstehen wir am besten an einem einfachen Beispiel.

Stellt euch vor, ihr habt eine Klasse namens `Auto`. Diese Klasse beschreibt alle Eigenschaften und Funktionen, die ein Auto haben kann, wie etwa `fahren()`, `bremsen()` oder `tanken()`. Diese Dinge sollen für jedes Auto gleich ablaufen. Jedes konkrete Auto in der Welt ist ein Objekt dieser Klasse. Wir können also sagen: “Mein Auto ist ein Objekt der Klasse `Auto`.” Jedes `Auto` hat neben den Funktionen die gleichen Eigenschaften wie Farbe, Marke und Modell. Aber jedes Auto kann andere Werte für diese Eigenschaften haben.

Genauso verhält es sich mit den Klassen, die Tinkerforge für uns bereitgestellt hat. Die Klasse `IPConnection` beschreibt, wie wir eine Verbindung zu einem Mikrocontroller herstellen können, und die Klasse `BrickletRGBLEDV2` beschreibt, wie wir mit der LED interagieren können. Wenn wir ein Objekt dieser Klasse erstellen, können wir alle Funktionen nutzen, die in der Klasse definiert sind. Eine LED muss nicht fahren oder bremsen wie ein Auto. Dafür hat sie andere Funktionen, wie etwa `set_rgb_value()`, die uns erlaubt, die Farbe der LED zu ändern. Eine Eigenschaft jeder LED ist ihre UID, die eindeutig ist und uns hilft, sie im System zu identifizieren.

1.2.5 Schlüsselwörter

Soeben haben wir mit `from` und `import` unsere ersten beiden Schlüsselwörter in Python kennengelernt! Aber was bedeutet das genau? Ein Schlüsselwort, das wir im Englischen auch *keyword* oder *reserved keyword* nennen, ist ein Begriff, der in der jeweiligen Programmiersprache eine feste Bedeutung hat und deshalb nicht anderweitig verwendet werden darf. Wir werden gleich noch sehen, dass wir bei der Programmierung auch häufig Namen vergeben müssen, etwa für Variablen oder Funktionen. Diese Namen dürfen nicht wie ein Schlüsselwort lauten, ansonsten funktioniert unser Programm nicht wie gewünscht. Welche Schlüsselwörter es in Python gibt, könnt ihr hier nachschauen.

Im Codeausschnitt oben laden wir zuerst das Objekt für die Verbindung zum angeschlossenen Mikrocontroller, die über eine IP-Verbindung hergestellt wird. Was das genau ist? Später mehr dazu. Zusätzlich zur `IPConnection` laden wir anschließend noch die benötigten Klassen für die Geräte, die wir in unserem aktuellen Setup verwenden wollen. In diesem Kapitel ist das nur die LED, in späteren Experimenten werden es auch mal mehrere Geräte sein.

1.2.6 Objekte erzeugen

In Listing 1.1 in Zeile 4 erzeugen wir ein Objekt der Klasse `IPConnection`. Die fertige Instanz – so nennen wir ein Objekt, das aus einer Klasse erzeugt wurde – speichern wir auf einer *Variable* mit dem Namen `ipcon`. Diesen Namen haben wir uns selbst ausgedacht, damit wir später darauf zugreifen können. Wir hätten auch einen anderen Namen wählen können. Eine Variable ist also ein Platzhalter für einen Wert, den wir später im Programm verwenden wollen. In diesem Fall ist `ipcon` der Platzhalter für die Verbindung zu unserem Mikrocontroller. Was eine Variable technisch ist, lernen wir später noch genauer kennen.

1.2.7 Methoden

Über das Objekt `ipcon` können wir nun eine Verbindung zu unserem Mikrocontroller herstellen. Das geschieht in Zeile 5 mit der Methode `connect()`. Eine Methode ist eine Funktion, die zu einem Objekt gehört – wie etwa `fahren()` oder `bremsen()` in unserem Auto-Beispiel.

Wir können Methoden aufrufen, um eine bestimmte Aktion auszuführen. In diesem case stellen wir eine Verbindung zum Mikrocontroller her, indem wir die Adresse und den Port angeben, über den die Verbindung hergestellt werden soll. In unserem Fall ist das “localhost”, was für die lokale Maschine steht, und Port 4223, der durch den Brick Daemon standardmäßig so konfiguriert ist. Der Aufruf einer Methode erfolgt immer mit dem Punkt `.` nach dem Objekt, gefolgt vom Namen der Methode und den Klammern `()`, in denen wir eventuell benötigte Parameter angeben.

Eine Methode ist letztlich eine Funktion, die zu einem Objekt gehört. Zu einem späteren Zeitpunkt schreiben wir unsere eigenen Funktionen und lernen dann noch viel mehr darüber.

1.2.8 Ein Objekt für die LED

In Zeile 6 erzeugen wir schließlich ein Objekt der Klasse `BrickletRGBLEDV2`. Dieses Objekt repräsentiert unsere LED und ermöglicht es uns, mit ihr zu interagieren. Wir nennen das Objekt `led`, was kurz und klar ist. Auch hier haben wir uns den Namen selbst ausgedacht, um später darauf zugreifen zu können. Auch wenn wir grundsätzlich Variablennamen frei wählen können, sollten sie immer so gewählt werden, dass sie den Inhalt der Variable beschreiben. Das macht es später einfacher, den Code zu verstehen. Gleichzeitig gibt es in Python einige Regeln, die wir bei der Benennung von Variablen beachten müssen. Dazu gehören etwa, dass Variablennamen nicht mit einer Zahl beginnen dürfen und keine Leerzeichen enthalten dürfen. Eine ausführliche Liste der Regeln findet ihr hier.

1.2.9 Zusammenfassung unseres ersten Programms

Damit haben wir unser erstes Programm von oben nach unten erläutert und dabei schon viele wichtige Konzepte der Programmierung kennengelernt:

Programme	Abfolge von Anweisungen, die nacheinander ausgeführt werden.
Boilerplate Code	Standard-Code, den man immer wieder braucht.
Importieren von Bibliotheken	Sammlung von fertigen Code-Elementen.
Schlüsselwörter	Reservierte Begriffe der Programmiersprache.
Klassen und Objekte	Kategorien und deren konkrete Instanzen.
Methoden und Funktionen	Funktionen, die zu einem Objekt gehören.
Variablen	Platzhalter für Werte.

1.2.10 Und jetzt?

Wir haben nun eine digitale Repräsentation unserer LED in Python. Wir können die LED jetzt zum Leuchten bringen, indem wir eine Methode der Klasse `BrickletRGBLEDV2`, die `set_rgb_value()` heißt, verwenden. Diese Methode erwartet drei Parameter: Rot, Grün und Blau. Mit diesen Parametern können wir die Farbe der LED einstellen.

```
led.set_rgb_value(0, 255, 0)                                    ①
```

① Setzt die LED auf grün. R = 0, G = 255, B = 0. Logisch, oder?

Moment mal … Wo steht hier eigentlich *grün*? Steht da gar nicht. Stattdessen drei Zahlen. Willkommen bei der RGB-Farbkodierung. Jede Farbe besteht aus drei Werten zwischen 0 und

255: Rot, Grün, Blau. Null ist nix. 255 ist volle Power. Alles 0? Schwarz. Alles 255? Weiß. Nur Grün auf 255? Na klar: grün.

Aber warum machen wir das mit Zahlen? Weil Computer nun mal mit Zahlen arbeiten. Das ist einer der zentralen Gedanken dieses Buches: Wie übersetzen wir die Welt in etwas, das ein Computer versteht?

Warum aber ist das so? Warum kodieren wir in der Informatik jede Farbe mit *drei* Zahlen? Warum überhaupt mit Zahlen? Hier kommen wir zu einer zentralen Frage dieses Buches: Wie bilden Computer Informationen ab?

Vorher müssen wir aber kurz zurück in die Schule.

> **Tipp**
>
> Das Codebeispiel aus diesem Abschnitt findet ihr auf GitHub.

1.3 Licht und Farben

1.3.1 Blick auf die Physik

Physik ist vielleicht schon eine Weile her. Erinnern wir uns dennoch kurz, was Licht ist und wie Farben damit zusammenhängen. Licht ist elektromagnetische Strahlung. Das bedeutet, es handelt sich um gekoppelte Schwingungen elektrischer und magnetischer Felder, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Vereinfacht können wir uns Licht als Wellen vorstellen, die sich durch den Raum bewegen. Diese Wellen haben unterschiedliche Frequenzen und Wellenlängen. Das sichtbare Licht ist nur ein kleiner Teil des gesamten elektromagnetischen Spektrums, das von Radiowellen über Infrarotstrahlung bis hin zu Röntgenstrahlen und Gammastrahlen reicht.

Bei Wellen unterscheiden wir zwischen der Frequenz (wie oft die Welle pro Sekunde schwingt) und der Wellenlänge (der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellenbergen). Die Frequenz und die Wellenlänge sind umgekehrt proportional: Je höher die Frequenz, desto kürzer die Wellenlänge und umgekehrt.

Frequenzen messen wir in Hertz (Hz), wobei 1 Hz einer Schwingung pro Sekunde entspricht. Das sichtbare Licht hat Frequenzen im Bereich von etwa 430 THz (Terahertz) bis 750 THz. Die Wellenlängen des sichtbaren Lichts liegen zwischen etwa 400 nm (Nanometer) für violettes Licht und etwa 700 nm für rotes Licht. Um sich das vorzustellen: Ein Nanometer ist ein Milliardstel Meter. Zum Vergleich: Ein menschliches Haar hat einen Durchmesser von etwa 80.000 bis 100.000 Nanometern. Die Abstände zwischen den Wellenlängen des sichtbaren Lichts sind also extrem klein.

Was bedeutet das nun für eine LED? Eine LED (Light Emitting Diode) ist ein Halbleiterbauelement, das Licht erzeugt, wenn elektrischer Strom hindurchfließt. Die Farbe des Lichts hängt von Eigenschaften des Halbleitermaterials ab, aus dem die LED besteht. Verschiedene Materialien emittieren Licht bei unterschiedlichen Wellenlängen, was zu verschiedenen Farben führt. Zum Beispiel emittiert eine rote LED Licht mit einer Wellenlänge von etwa 620–750 nm, während eine grüne LED Licht mit einer Wellenlänge von etwa 495–570 nm emittiert.

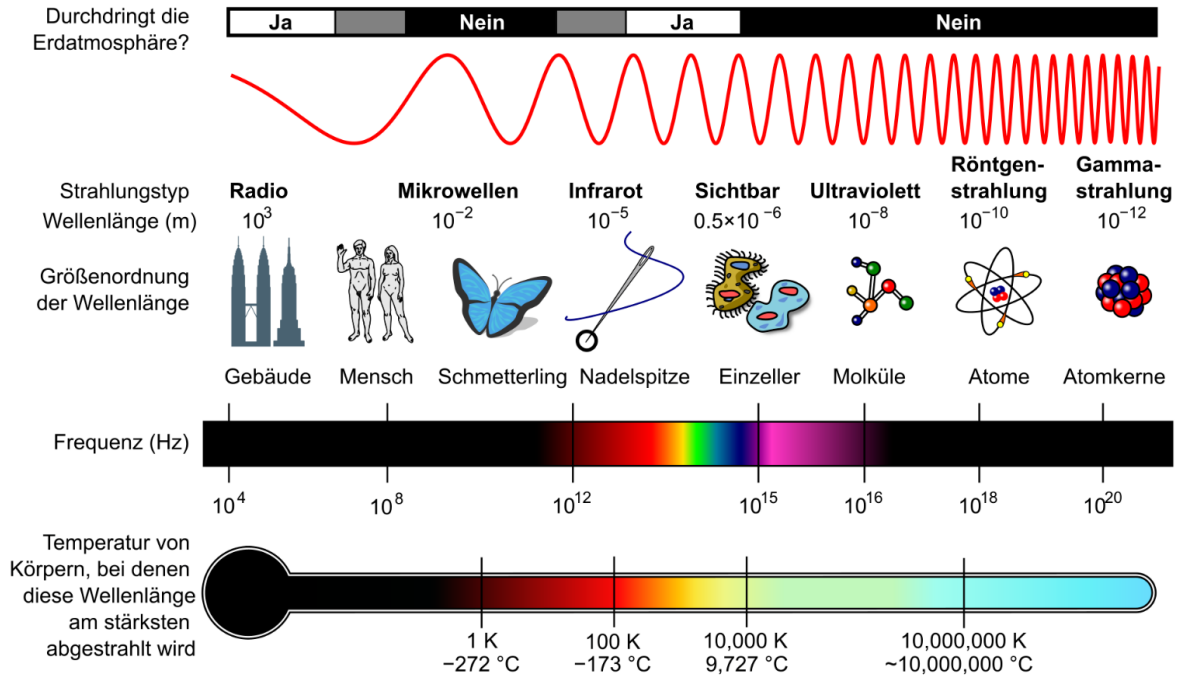


Abbildung 1.5: Das elektromagnetische Spektrum, von dem das sichtbare Licht ein kleiner Teil ist. (Quelle: Wikipedia)

Die RGB LED besteht in Wirklichkeit aus drei einzelnen LEDs: einer roten, einer grünen und einer blauen. Jede dieser LEDs kann unabhängig voneinander angesteuert werden, um verschiedene Farben zu erzeugen. Mehr Stromstärke bedeutet mehr Intensität der jeweiligen Farbe. Durch die Kombination der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau in unterschiedlichen Intensitäten können wir eine Vielzahl von Farben mischen. Das ist das Prinzip der additiven Farbmischung: Wenn wir alle drei Farben mit voller Intensität leuchten lassen, erhalten wir Weiß. Wenn wir keine Farbe leuchten lassen, erhalten wir Schwarz. Klar, die LEDs sind dann alle aus.

Jetzt wissen wir, warum die Methode `set_rgb_value()` drei Parameter erwartet: Rot, Grün und Blau. Diese Parameter sind die Intensitäten der jeweiligen Farbe, die wir in unserem Programm angeben. Mit den Werten 0 bis 255 können wir jede Farbe im sichtbaren Spektrum erzeugen.

Ein Farbwert im Computer besteht also aus drei Zahlen besteht, die jeweils zwischen 0 und 255 liegen. Das gilt für unsere LED, aber auch für Pixel in TVs, Smartphones, digitalen Fotos oder Monitoren. Wie kommt es aber zu der merkwürdigen Zahl 255? Warum nicht einfach 0 bis 100? Das liegt daran, wie ein Computer grundsätzlich Werte speichert und wie dieser Speicher organisiert ist. Genaueres erfahren wir schon in Kapitel 2.

Klingt alles theoretisch sehr gut. Aber wie sieht es mit der Praxis aus? Probieren wir es aus und mischen zwei Farben mit voller Intensität!

```
led.set_rgb_value(255, 255, 0)
```

Was macht der Befehl? Welche Farbe kommt dabei heraus? Probiert es einfach mal aus!

1.3.2 Additive Farbmischung

Ihr solltet alle eure LEDs in Gelb aufleuchten sehen. In der additiven Farbmischung* mischen wir Rot und Grün und erhalten dadurch Gelb. Gelb ist heller als die beiden Farben Rot und Grün, was kein Zufall ist. Das ist das Prinzip der additiven Farbmischung: Wenn wir zwei Farben mit voller Intensität leuchten lassen, erhalten wir eine neue Farbe, die stets heller ist als die Ursprungsfarben. Wir fügen mehr Licht hinzu. Wenn wir alle drei Farben mit voller Intensität mischen, erhalten wir schließlich Weiß.

```
led.set_rgb_value(255, 255, 255)
```

Am anderen Ende des Spektrums erzeugen drei Nullen die Farbe Schwarz:

```
led.set_rgb_value(0, 0, 0)
```

1.3.3 Subtraktive Farbmischung

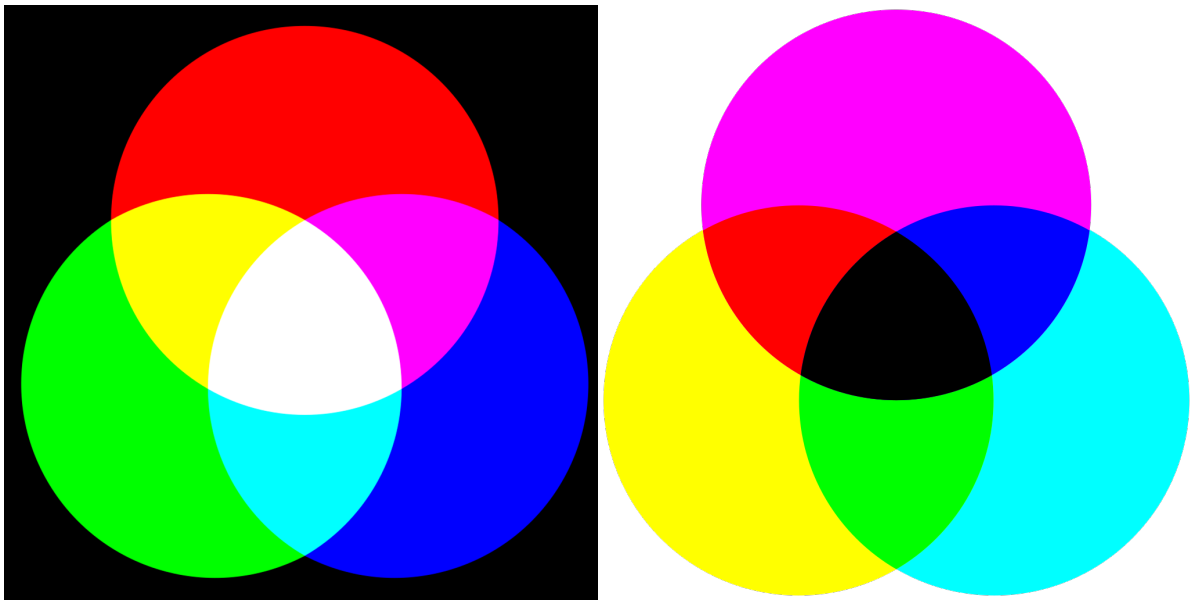
Ihr könnt euch merken, dass wir im Kontext von Computern oft von *additiver Farbmischung* sprechen, weil Bildschirme Licht erzeugen. Durch das Mischen der drei Farbkanäle entstehen neue Farben gemäß der additiven Farbmischung, also stets heller als ihre Grundfarben. Daneben gibt es aber noch die subtraktive Farbmischung. Sie funktioniert anders, nämlich genau umgekehrt. Statt beim Mischen Licht hinzuzufügen, nehmen wir Licht weg.

Erinnert ihr euch an euren Farbkasten aus der Grundschule? Dort habt ihr auch Farben gemischt, um neue Farben zu erzeugen, die euer Farbkasten nicht direkt mitgeliefert hat. Was hat im Farbkasten die Mischung aus Rot und Grün ergeben? Sicher nicht Gelb – eher Braun. Eine dunklere Farbe. Das liegt daran, dass wir es hier nicht mit additiver, sondern mit subtraktiver Farbmischung zu tun haben. Bei der subtraktiven Farbmischung mischen wir Pigmente,

die Licht *absorbieren* und *reflektieren*. Das Mischen von Farben fungiert hier wie ein Filter: Bestimmte Teile des Lichtspektrums werden nicht mehr reflektiert, sondern absorbiert und sind damit nicht mehr sichtbar. Das Ergebnis einer Mischung zweier Farben ergibt in der subtraktiven Farbmischung also stets eine dunklere Farbe – genau umgekehrt zur additiven Farbmischung.

Was passiert mit dem absorbierten Licht? Es wird in eine andere Form der Energie umgewandelt, nämlich Wärme. Deshalb wird eine schwarze Oberfläche auch besonders heiß, wenn die Sonne darauf knallt. Sie absorbiert das gesamte Lichtspektrum und wandelt es in Wärme um. Dagegen wirken weiße Oberflächen fast wie Klimaanlagen. Es ist kein Zufall, dass wir in sonnigen Erdteilen viele weiße Fassaden sehen.

Wenn wir alle Farben mischen, ergibt die subtraktive Farbmischung Schwarz, weil kein Licht mehr reflektiert wird. Alles Licht wird aufgesogen und nichts kommt mehr zurück. Das ist ein anderes Prinzip als bei der additiven Farbmischung, bei der wir Lichtquellen *kombinieren*, um neue Farben zu erhalten.



(a) Additive Farbmischung (b) Subtraktive Farbmischung

Abbildung 1.6: Additive und subtraktive Farbmischung.

In Abbildung 1.6 sehen wir die beiden Farbmischungsarten im Vergleich. In Abbildung 1.6b sehen wir die drei Grundfarben, die wir bei der subtraktiven Variante benötigen, um daraus alle weiteren Farben zu erhalten. Das sind Cyan, Magenta und Gelb. Im Englischen ist die Abkürzung CMY, wo das "Y" für *Yellow* steht. In der additiven Farbmischung sind es, wie oben schon gesehen, Rot, Grün und Blau. Wenn ihr Abbildung 1.6a betrachtet, dann erkennt ihr, dass genau diese drei Farben durch das Mischen jeweils zweier Grundfarben in der additiven Farbmischung entstehen. Und umgekehrt gilt das gleiche Prinzip! Ob das Zufall ist?

In der additiven Farbmischung entsteht Gelb durch das Mischen von Rot und Grün, wobei Blau fehlt. Im Umkehrschluss bedeutet das: Gelbes Licht enthält keine blaue Komponente, es reflektiert also kein Blau. In der subtraktiven Farbmischung (wie beim Farbkasten) wird Gelb erzeugt, indem Blau aus weißem Licht herausgefiltert wird – Gelb reflektiert also kein Blau, sondern absorbiert es. Gelb kann also auch als Blaufilter gesehen werden. Das erklärt, warum ein gelber Gegenstand unter blauem Licht dunkel erscheint: Er kann das blaue Licht nicht reflektieren.

Jetzt können wir auch erklären, warum Farbdrucker vier unterschiedliche Kartuschen benötigen (Abbildung 1.7). Mit den Grundfarben der subtraktiven Farbmischung Cyan, Magenta und Gelb können wir jede beliebige Farbe mischen. Zusätzlich haben Drucker eine Kartusche für Schwarz, um erstens ein sattes Schwarz drucken zu können und zweitens die Farbkartuschen zu schonen. Denn schließlich müssen alle drei Farben gemischt werden, um Schwarz zu erhalten. Und weil viele Drucksachen Schwarz enthalten (oder sogar ausschließlich), ist eine schwarze Kartusche einfach effizienter. Die Farbe Schwarz wird bei Druckerkartuschen als Key bezeichnet und mit "K" abgekürzt. Wir sprechen daher auch von CMYK.

Farben spielen eine so wichtige Rolle bei der Arbeit mit Computern. Deshalb lohnt es sich, ein wenig über die Hintergründe von Farben und deren Mischung zu verstehen. Wir werden später noch lernen, wie Bildschirme Farben darstellen. Spätestens dann wird uns das Thema der Farbmischung wieder begegnen.

Ab jetzt wollen wir weiter mit unserer LED experimentieren und den RGB-Code, mit dem Computer Farben abbilden, praxisnah verstehen. Bisher haben wir gelernt, dass wir die Farbe der LED über die Methode `set_rgb_value()` verändern können, wenn wir wissen, welcher RGB-Code unsere gewünschte Farbe repräsentiert. Da wir jetzt mehr über die Farbmischung wissen, können wir die LED also ganz einfach in der Farbe Magenta leuchten lassen:

```
led.set_rgb_value(255, 0, 255)
```

Gemäß der Theorie der additiven Farbmischung (Abbildung 1.6a) müssten Rot und Blau Magenta ergeben. Probiert es aus!

1.4 Pulsierende LED

Das deklarierte Ziel unseres ersten Experiments ist es, einen Regenbogenfarbverlauf zu erzeugen. Dazu müssen wir die Farbe der LED kontinuierlich ändern, sodass sie von Rot über Gelb, Grün, Cyan, Blau und Violett wieder zurück zu Rot wechselt.

Lasst uns aber möglichst einfach anfangen und uns dem Regenbogen schrittweise annähern. Zunächst wäre es schön, wenn wir die LED einfach Rot pulsieren lassen könnten. Dazu müssen wir nämlich nur den Rot-Kanal und nicht alle drei Kanäle der LED ansteuern. Gleichzeitig

Abbildung 1.7: Ein typisches Set mit CMY-Druckerkartuschen inklusive Schwarz.

lernen wir schon hier ein Problem kennen, das uns in der Programmierung häufig begegnet und für das es eine elegante Lösung gibt.

1.4.1 Abzählbare Wiederholungen

Was bedeutet es, die LED pulsieren zu lassen? Und was müssen wir dafür tun? Pulsieren bedeutet, dass die LED über einen kurzen Zeitraum immer heller wird, kurz in der vollen Helligkeit verweilt und dann sofort wieder kontinuierlich dunkler wird. Sobald sie schwarz ist, fängt der Zyklus von vorne an.

Den Ausdruck *immer heller werden* können wir bezogen auf die LED so übersetzen, dass wir den Anteil des Rot-Kanals schrittweise erhöhen. Wenn die LED zu Beginn aus ist, also alle Kanäle auf 0 stehen, können wir den Rot-Kanal von 0 auf 255 erhöhen und so die LED immer heller in Rot aufleuchten lassen.

Wir beginnen also mit einer schwarzen LED:

```
led.set_rgb_value(0, 0, 0)
```

Anschließend setzen wir den Wert für Rot auf 1:

```
led.set_rgb_value(1, 0, 0)
```

Und erhöhen ihn schrittweise:

```
led.set_rgb_value(2, 0, 0)
led.set_rgb_value(3, 0, 0)
led.set_rgb_value(4, 0, 0)
# ...
```

Wenn wir nach diesem Muster fortfahren, hätten wir bis zum vollen Rot 255 Zeilen Code geschrieben, eine Zeile für jeden Erhöhungsschritt. Und anschließend das Gleiche nochmal rückwärts, damit wir wieder zu Schwarz kommen. Mit 510 Zeilen Code hätten wir dann einen Pulsierungszyklus durchlaufen. Wollen wir die LED öfter pulsieren lassen, vervielfacht sich unser Code entsprechend. Das kann nicht die Lösung für ein so einfaches Problem sein.

Und tatsächlich gibt es in der Programmierung eine bessere Möglichkeit, um sich wiederholende Abläufe abzubilden: die Schleife. In einem Fall, bei dem wir genau wissen, wie oft wir etwas wiederholen wollen, bietet sich eine Zählerschleife an:

```
for r in range(256):
    led.set_rgb_value(r, 0, 0)
```

Voilà! Unsere 510 Zeilen Code können wir mit einer Schleife auf zwei Zeilen reduzieren! Dazu müssen wir im Kopf der Schleife (`for ... in ...`) festlegen, wie oft der eingerückte Codeblock nach dem Doppelpunkt ausgeführt werden soll. In Python funktioniert das über die Angabe einer Folge, für die jedes Element einmal durchlaufen wird. Das aktuelle Element ist in der Schleife als `r` verfügbar. Und `r` nimmt nacheinander jeden Wert der Folge an, die nach dem Schlüsselwort `in` folgt. Diese Folge erzeugt hier die Funktion `range(256)`, die – wie der Name preisgibt – eine Zahlenfolge von 0 bis zum angegebenen Wert minus eins erzeugt. In unserem Fall also von 0 bis 255.

Um das besser nachvollziehen zu können, geben wir den Wert für `r` einfach mal aus:

```
for r in range(256):
    led.set_rgb_value(r, 0, 0)
    print(r)                                                    ①
```

① Mit `print()` geben wir einen Wert auf der Konsole aus.

Jetzt wird es deutlich: Mit jedem Durchlauf der Schleife wird ein neuer Wert für `r` gesetzt und ausgegeben. Und zwar jeweils um eins erhöht. Die Funktion `range(256)` erzeugt genau gesagt eine sortierte Reihe mit den Zahlen von 0 bis 255. Das sieht in Python dann so aus:

```
list_of_numbers = range(256)
print(list(list_of_numbers))                                    ①
```

① Mit der `list()`-Funktion wandeln wir die von `range()` erzeugte Folge in eine Liste um, die wir dann ausgeben können.

```
[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25
```

Rückwärts erreichen wir das gleiche Ergebnis mit einer weiteren Schleife, deren Folge wir umkehren, sodass sie von 255 bis 0 geht:

```
for r in range(255, -1, -1):
    led.set_rgb_value(r, 0, 0)
```

Warum hat `range()` auf einmal drei Argumente? Ganz einfach: Standardmäßig erstellt die Funktion eine Folge von 0 bis zur angegebenen Zahl minus eins. Wir können die Folge aber beeinflussen, indem wir einen Startwert und einen Schrittwert angeben. In unserem Fall oben beginnen wir bei 255 (erster Parameter) und gehen bis -1 (zweiter Parameter), wobei wir in jedem Schritt um -1 verringern (dritter Parameter). Warum zählen wir bis -1, wo wir doch eigentlich die 0 als kleinste Zahl benötigen? Das liegt daran, dass die Folge von `range()` immer

bis zum zweiten Parameter minus eins geht. Wenn wir also 0 als kleinste Zahl benötigen, müssen wir bis -1 zählen.

Fassen wir unsere Erkenntnis zusammen und lassen die LED pulsieren:

```
import time

# Increase red step by step
for r in range(256):
    led.set_rgb_value(r, 0, 0)
    time.sleep(0.001)

# Stay at full brightness for a bit
time.sleep(0.25)

# Decrease red step by step
for r in range(255, -1, -1):
    led.set_rgb_value(r, 0, 0)
    time.sleep(0.001)
```

Soweit bekannt? Fast – eine kleine Neuerung habe ich gerade eingebaut, nämlich die Funktion `time.sleep()`. Diese Funktion pausiert das Programm für die angegebene Zeit in Sekunden. In unserem Fall pausieren wir für 0,001 Sekunden, also 1 Millisekunde. Dadurch wird die LED langsamer heller und dunkler, was den Puls-Effekt verstärkt. Ohne diese Pause würde die LED so schnell aufleuchten, dass es für das menschliche Auge nicht mehr wahrnehmbar wäre. Tatsächlich würden wir auch die Hardware überfordern, weil die LED gar nicht so schnell die Farbe wechseln kann. Das Programm würde abstürzen.

Am Höhepunkt warten wir erneut – dieses Mal eine Viertelsekunde –, bevor wir die LED langsam ausgehen lassen und den Rotanteil schrittweise wieder auf Null setzen. Dann endet unser Programm, leider viel zu früh. Die LED soll doch eigentlich weiter pulsieren, bis … ja, bis wann überhaupt?

1.4.2 Bedingte Wiederholungen

Beim Lösen von Problemen stoßen wir häufig auf Situationen, in denen wir bestimmte Schritte wiederholt ausführen möchten, aber nur unter bestimmten Bedingungen. Hier kommen bedingte Wiederholungen ins Spiel, die es uns ermöglichen, Schleifen zu erstellen, die nur dann fortgesetzt werden, wenn eine bestimmte Bedingung noch erfüllt ist.

Das können wir auf unsere pulsierende LED anwenden. Sie soll ihren Pulsierzyklus Dunkel–Hell–Dunkel wiederholen, solange der Benutzer nicht unterbricht. Das ist zumindest ein pragmatisches Abbruchkriterium für unseren Fall. Wir definieren also hier keine feste Anzahl Wie-

derholungen wie bei der `for ... in`-Schleife, sondern wir wollen festlegen, unter welcher *Bedingung* die Schleife fortgesetzt wird. Wir könnten also sagen: *solange* die Bedingung X erfüllt ist, wiederhole die aufgeführten Schritte. Und weil Programmiersprachen für Menschen gemacht sind, klingt es im echten Programm auch so ähnlich:

```
while 1==1:
    print("This condition is always true")
    time.sleep(1)
```

Das Schlüsselwort `while` führt eine bedingte Schleife ein, gefolgt von der Bedingung, die die Schleife steuert. Die Bedingung wird vor jedem neuen Schleifendurchlauf geprüft (auch vor dem ersten) und sollte sie falsch (`false`) sein, wird die Schleife beendet.

Wann wird die Schleife oben also beendet? Richtig – niemals. Die Bedingung `1==1` ist immer wahr, die Schleife läuft somit endlos. Wir sprechen auch von einer Endlosschleife, die wir in der Programmierung unbedingt vermeiden wollen, es sei denn, sie ist explizit gewollt und nicht versehentlich entstanden. Das kurze Programm oben schreibt also in Abständen von einer Sekunde den Text “This condition is always true” auf die Konsole.

Eine Bedingung ist in Python und anderen Programmiersprachen ein wichtiges Konzept, das es uns ermöglicht, Entscheidungen zu treffen und den Programmfluss zu steuern. In unserem Fall könnte die Bedingung lauten: “Solange der Benutzer nicht stoppt, wiederhole den Pulsierzyklus”. Eine Bedingung hat die Eigenschaft, dass sie jederzeit ausgewertet werden kann und entweder den Wert wahr (true) oder falsch (false) annimmt. Wie aber drücken wir das in Python aus?

```
while True:
    print("I will loop forever")
    time.sleep(1)
```

Die einfachste Möglichkeit ist es, das Ergebnis der Evaluation direkt hinzuschreiben. Die obige Schleife prüft in jedem Durchgang, ob der Wert `True` wahr ist - was er natürlich ist. Das ist also so ähnlich wie bei der Schleife weiter oben, die die Bedingung `1==1` geprüft hat. Die ist ebenfalls immer `True` oder wahr.

Wir lernen im Laufe des Buches noch viele echte Bedingungen kennen, deren Ergebnis nicht von Vornherein bekannt ist. Für unsere pulsierende LED reicht es aber aus, wenn wir eine gewollte Endlosschleife verwenden. Denn auch eine Endlosschleife können wir jederzeit verlassen, indem wir das Programm mit der Tastenkombination Strg+C abbrechen.

Wenn wir jetzt unseren Pulsierzyklus von oben in die neue bedingte `while`-Schleife einfügen, sind wir schon am Ziel. Der Pulsierzyklus wird wiederholt, solange das Programm nicht abgebrochen wird:

```
while True:

    # Increase red step by step
    for r in range(256):
        led.set_rgb_value(r, 0, 0)
        time.sleep(0.001)

    # Stay at full brightness for a bit
    time.sleep(0.25)

    # Decrease red step by step
    for r in range(255, -1, -1):
        led.set_rgb_value(r, 0, 0)
        time.sleep(0.001)

    # Stay at full dark for a bit
    time.sleep(0.25)
```

Der Vollständigkeit halber das Ganze inklusive des Boilerplate-Codes für die Verbindung zu den Tinkerforge-Geräten:

> **Tipp**
>
> Das Codebeispiel aus diesem Abschnitt findet ihr auf GitHub.

1.5 Farbkreise

Das RGB-Farbschema ist für Computer optimal, weil sich damit mit nur drei Zahlen jede beliebige Farbe kodieren lässt. Zahlen sind schließlich die Sprache, mit der Computer am besten umgehen können. Für uns Menschen ist dieses Schema jedoch weniger intuitiv. Oder könntet ihr auf Anhieb sagen, welche Farbe hinter der Kombination (67, 201, 182) steckt?

Um Farben für uns leichter wählbar zu machen, wurde der sogenannte Hue-Farbkreis entwickelt. Er ordnet die Farben auf einer Skala von 0 bis 360 Grad an – ähnlich wie die Winkel auf einem Kreis. Neben dem Farbton (Hue) lassen sich zusätzlich die Sättigung und die Helligkeit einstellen: Der Farbton bestimmt die eigentliche Farbe, die Sättigung, wie kräftig oder blass sie wirkt, und die Helligkeit, wie hell oder dunkel sie erscheint.

In Abbildung 1.8 seht ihr, wie die Farbauswahl in Google Slides funktioniert. Mit dem Slider in der Mitte bestimmt ihr den Farbton. Habt ihr einen passenden Ton gefunden, könnt ihr im

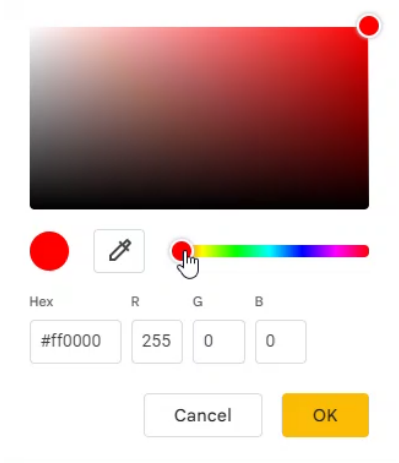


Abbildung 1.8: Die Farbauswahl in Google Slides funktioniert über den Hue-Farbkreis.

Rechteck darüber durch Verschieben des kleinen Kreises die Sättigung und Helligkeit anpassen.

Beobachtet ihr dabei die RGB-Werte, erkennt ihr die Systematik der Farbton-Skala: Ausgehend von reinem Rot wird Schritt für Schritt Grün hinzugefügt – so entstehen Orange und Gelb. Danach nimmt der Rotanteil ab, während Blau hinzukommt. Über Cyan gelangen wir zu reinem Blau. Schließlich wird wieder Rot beigemischt, wodurch Violett bis Pink entstehen. Auf diese Weise bildet der Kreis den gesamten Regenbogen ab.

Da die Skala am Ende wieder bei Rot ankommt, lässt sich der Farbverlauf nahtlos wiederholen – ohne harte Übergänge. Genau deshalb wird der Hue-Verlauf meist als Kreis dargestellt.

Abbildung 1.9 zeigt den Hue-Farbkreis im HSV-Modell. HSV steht für Hue, Saturation, Value (Farbton, Sättigung, Helligkeit). Der Wert Value gibt die Helligkeit auf einer Skala von 0 bis 100 % an. Im Bild ist die Helligkeit konstant bei 100 %, während die Sättigung von innen nach außen zunimmt. In der Mitte sehen wir deshalb Weiß, während am äußeren Rand die Farben ihre volle Intensität haben.

Wenn wir ein Programm schreiben, das die gesamte Hue-Farbskala durchläuft und die LED jeweils in der passenden Farbe aufleuchten lässt, erhalten wir unser Regenbogenprogramm. Da die LED RGB-Werte benötigt, müssen wir den Verlauf des Hue-Farbkreises in RGB umsetzen. Ein Blick auf die Animation in Abbildung 1.8 hilft: Der Farbverlauf lässt sich in sechs Phasen unterteilen, wie Abbildung 1.10 zeigt:

1. Rot = 255, Blau = 0, Grün steigt linear
2. Rot sinkt linear, Grün = 255, Blau = 0
3. Rot = 0, Grün = 255, Blau steigt linear
4. Rot = 0, Grün sinkt linear, Blau = 255
5. Rot steigt linear, Grün = 0, Blau = 255

Abbildung 1.9: Der Hue-Farbkreis mit HSV-Werten.

6. Rot = 255, Grün = 0, Blau sinkt linear

Dann beginnt der Zyklus von vorn.

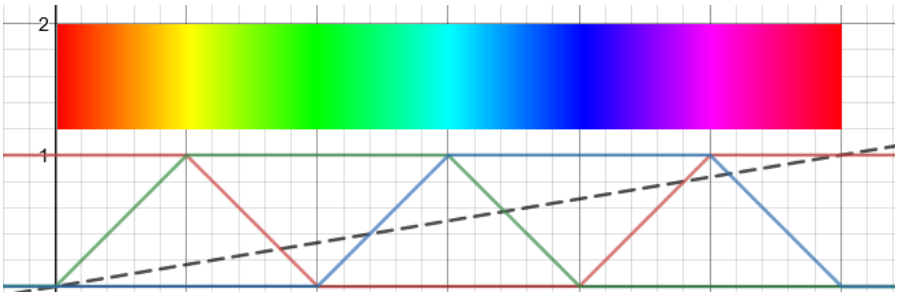


Abbildung 1.10: Der Hue-Farbverlauf mit den Veränderungen der RGB-Werte (Quelle: Ronja's Tutorials).

1.6 Regenbogen-LED

Mit dem Wissen können wir uns an das erklärte Ziel unseres Experiments machen: die LED nacheinander in allen Farben des Regenbogens aufleuchten zu lassen. Beginnen wir mit der ersten Phase und schreiben dafür ein Python-Programm:

```
for green in range(256):
    led.set_rgb_value(255, green, 0)
    time.sleep(0.01)
```

Weil wir genau wissen, wie oft wir die Schleife durchlaufen wollen, verwenden wir eine `for`-Schleife. Innerhalb der Schleife erhöhen wir die Variable `green` jeweils um 1, was effektiv den Grünanteil unseres RGB-Wertes erhöht. Mit jedem Durchlauf fügen wir somit mehr Grün hinzu, während Rot und Blau konstant bleiben. Phase 1 ist damit abgeschlossen – machen wir weiter mit Phase 2:

```
for red in range(255, -1, -1):
    led.set_rgb_value(red, 255, 0)
    time.sleep(0.01)
```

Wie wir mit einer `for`-Schleife rückwärts zählen, haben wir schon weiter oben kennengelernt. In Phase 2 verringern wir schrittweise den Rotanteil, während die anderen beiden Farben konstant bleiben. Damit kommen wir zu Phase 3:

```
for blue in range(256):
    led.set_rgb_value(0, 255, blue)
    time.sleep(0.01)
```

Ich glaube, ihr habt das Prinzip verstanden. Indem wir die sechs Phasen jeweils in einer eigenen Schleife abarbeiten, erhalten wir das vollständige Regenbogenprogramm:

```
# phase 1
for green in range(256):
    led.set_rgb_value(255, green, 0)
    time.sleep(0.01)

# phase 2
for red in range(255, -1, -1):
    led.set_rgb_value(red, 255, 0)
    time.sleep(0.01)

# phase 3
for blue in range(256):
    led.set_rgb_value(0, 255, blue)
    time.sleep(0.01)

# phase 4
```

```
for green in range(255, -1, -1):
    led.set_rgb_value(0, green, 255)
    time.sleep(0.01)

# phase 5
for red in range(256):
    led.set_rgb_value(red, 0, 255)
    time.sleep(0.01)

# phase 6
for blue in range(255, -1, -1):
    led.set_rgb_value(255, 0, blue)
    time.sleep(0.01)
```

Wie schön Eine Sache fehlt aber noch.

1.6.1 Runde für Runde

Der Regenbogen soll am Ende wieder von vorne beginnen. Wie schon beim Pulsieren der Farben können wir auch hier eine `while`-Schleife verwenden und die Phasen kontinuierlich abspielen – solange, bis der Benutzer die Escape-Taste drückt:

```
while True:

    # phase 1
    for green in range(256):
        led.set_rgb_value(255, green, 0)
        time.sleep(0.01)

    # phase 2
    for red in range(255, -1, -1):
        led.set_rgb_value(red, 255, 0)
        time.sleep(0.01)

    # phase 3
    for blue in range(256):
        led.set_rgb_value(0, 255, blue)
        time.sleep(0.01)

    # phase 4
    for green in range(255, -1, -1):
```

```
        led.set_rgb_value(0, green, 255)
        time.sleep(0.01)

    # phase 5
    for red in range(256):
        led.set_rgb_value(red, 0, 255)
        time.sleep(0.01)

    # phase 6
    for blue in range(255, -1, -1):
        led.set_rgb_value(255, 0, blue)
        time.sleep(0.01)
```

Wir haben es fast geschafft! Eine Kleinigkeit wollen wir an unserem Programm noch verbessern.

1.6.2 Geschwindigkeit steuern

Vielleicht habt ihr gemerkt, dass die Geschwindigkeit, mit der unsere LED den gesamten Regenbogen einmal durchläuft, nicht sehr hoch ist. Ich würde das gerne beschleunigen. Die Zeit steuern wir über die `time.sleep()`-Funktion, sodass wir einfach den Wert in jedem Funktionsaufruf verringern könnten. Das wäre aber nicht sehr effizient, weil wir ihn an sechs Stellen anpassen müssen. Wenn wir danach merken, dass es zu schnell ist, müssten wir den Wert erneut überall editieren. Das geht einfacher!

Der Trick liegt darin, den Wert für die Wartedauer als Variable zu definieren und nur an einer Stelle zu ändern.

```
pause_duration = 0.01
while not keyboard.is_pressed('esc'):

    # phase 1
    for green in range(256):
        led.set_rgb_value(255, green, 0)
        time.sleep(pause_duration)

    # etc.
```

Schon besser! Wir gehen aber noch einen Schritt weiter. Statt dieses kleinteiligen Werts für eine Pause zwischen zwei kleinen Farbveränderungen möchte ich die Gesamtdauer für den Durchlauf eines Regenbogens angeben. Der Wert `pause_duration` soll dann auf dieser Basis

errechnet werden. Dazu müssen wir nur die Anzahl der Pausen insgesamt kennen; in jeder der sechs Phasen sind es 256. Macht also:

$$6 \times 256 = 1536$$

Im Programm setzen wir die Pausendauer also auf die Gesamtdauer in Sekunden geteilt durch 1536:

```
rainbow_duration = 5
pause_duration = rainbow_duration / 1536

while not keyboard.is_pressed('esc'):

    # phase 1
    for green in range(256):
        led.set_rgb_value(255, green, 0)
        time.sleep(pause_duration)

    # etc.
```

Und schon können wir unseren Regenbogen beliebig zeitlich steuern. Damit sind wir am Ende des Kapitels angekommen. Wir schließen es mit dem vollständigen Code für unseren Regenbogenverlauf in Listing 1.3 ab. Vergesst nicht, den Wert für die UID eurer LED anzupassen, damit es auch bei euch funktioniert:

> **Tipp**
>
> Das Codebeispiel aus diesem Abschnitt findet ihr auf GitHub.

Seid ihr bereit für das nächste Experiment?

Listing 1.2 Das fertige Programm, das die LED rot pulsieren lässt.

```
import time
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_rgb_led_v2 import BrickletRGBLEDV2

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect('localhost', 4223)
led = BrickletRGBLEDV2('ZEP', ipcon)

# Turn LED off initially
led.set_rgb_value(0, 0, 0)

while True:

    # Increase red step by step
    for r in range(256):
        led.set_rgb_value(r, 0, 0)
        time.sleep(0.001)

    # Stay at full brightness for a bit
    time.sleep(0.25)

    # Decrease red step by step
    for r in range(255, -1, -1):
        led.set_rgb_value(r, 0, 0)
        time.sleep(0.001)

    # Stay at full dark for a bit
    time.sleep(0.25)
```

Listing 1.3 Das fertige Regenbogenprogramm.

```
import time
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_rgb_led_v2 import BrickletRGBLEDV2

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect("localhost", 4223)
led = BrickletRGBLEDV2("<YOUR_LED_UID>", ipcon)

# Turn LED off initially
led.set_rgb_value(0, 0, 0)

rainbow_duration = 5
pause_duration = rainbow_duration / 1536

while True:

    # phase 1
    for green in range(256):
        led.set_rgb_value(255, green, 0)
        time.sleep(pause_duration)

    # phase 2
    for red in range(255, -1, -1):
        led.set_rgb_value(red, 255, 0)
        time.sleep(pause_duration)

    # phase 3
    for blue in range(256):
        led.set_rgb_value(0, 255, blue)
        time.sleep(pause_duration)

    # phase 4
    for green in range(255, -1, -1):
        led.set_rgb_value(0, green, 255)
        time.sleep(pause_duration)

    # phase 5
    for red in range(256):
        led.set_rgb_value(red, 0, 255)
        time.sleep(pause_duration)

    # phase 6
    for blue in range(255, -1, -1):
        led.set_rgb_value(255, 0, blue)
        time.sleep(pause_duration)
```

2 Zahlen

Zusammenfassung

Im zweiten Kapitel spendieren wir der LED aus Kapitel 2 eine Dimmfunktion, die wir über einen Drehknopf steuern können.

Auf dem Weg dorthin gehen wir die folgenden Schritte.

#	Was?	Wo?
1	Wir machen uns mit dem Drehknopf vertraut.	Abschnitt 2.1
2	Wir lesen den Zählerstand des Drehknopfs aus einem Programm heraus aus.	Abschnitt 2.2
3	Wir führen Kontrollstrukturen ein (`if`).	Abschnitt 2.3
4	Wir erstellen eine erste Version eines Dimmers für die LED.	Abschnitt 2.4
5	Wir beschäftigen uns mit Zahlensystemen.	Abschnitt 2.5
6	Wir lernen, was ein Bit und ein Byte ist.	Abschnitt 2.6
7	Wir erweitern den LED-Dimmer zur Version 2.	Abschnitt 2.7
8	Wir setzen uns mit den Druckknopf auseinander.	Abschnitt 2.8
9	Wir bauen Version 3 des LED-Dimmers.	Abschnitt 2.9
10	Wir modularisieren unseren Code mit Funktionen.	Abschnitt 2.10

2.1 Experimentaufbau

2.1.1 Hardware

Das erste Experiment in Kapitel 1 war ein guter Einstieg! In diesem Kapitel legen wir noch eine Schippe drauf: Unsere Hardware bekommt ein neues Bauteil – einen Drehknopf. Das montiert

ihr einfach neben der LED, wie in Abbildung 2.1 gezeigt.

Die vollständige Hardwareliste für dieses Kapitel sieht so aus:

- 1 x Master Brick 3.2
- 1 x RGB LED Bricklet 2.0
- 1 x Rotary Encoder Bricklet 2.0
- 1 x Montageplatte 22x10
- 2 x Brickletkabel 15cm (7p-7p)
- 2 x Befestigungskit 12 mm

2.1.2 Erste Schritte mit dem Drehknopf

Wie bei der LED werfen wir zuerst einen Blick auf den neuen Drehknopf im Brick Viewer. Schließt dazu euren Master Brick per USB an, startet den Brick Viewer und klickt auf Connect. Im Setup-Tab sollte nun neben der LED auch der Rotary Encoder auftauchen. Denkt daran: Dort findet ihr auch die UID eurer Geräte – die braucht ihr gleich für euer Programm.

Wechselt nun in den Tab für den Drehknopf, wo ihr ihn direkt testen könnt: Ihr seht den aktuellen Zählwert. Der kann positiv oder negativ sein – je nachdem, wie oft und in welche Richtung ihr gedreht habt. Daneben zeigt ein Diagramm die zeitliche Entwicklung.

Doch der Knopf kann mehr als nur zählen: Ihr könnt ihn auch drücken. Achtet mal auf den kleinen Kreis im Brick Viewer. Wird er gedrückt, leuchtet er rot. Noch löst das Drücken keine Aktion aus, aber wir überlegen später, welche Funktion wir damit verbinden wollen.

Und zuletzt: der Button Reset Count. Damit setzt ihr den Zähler zurück – eine praktische Funktion, die wir später ebenfalls ins Programm einbauen können.

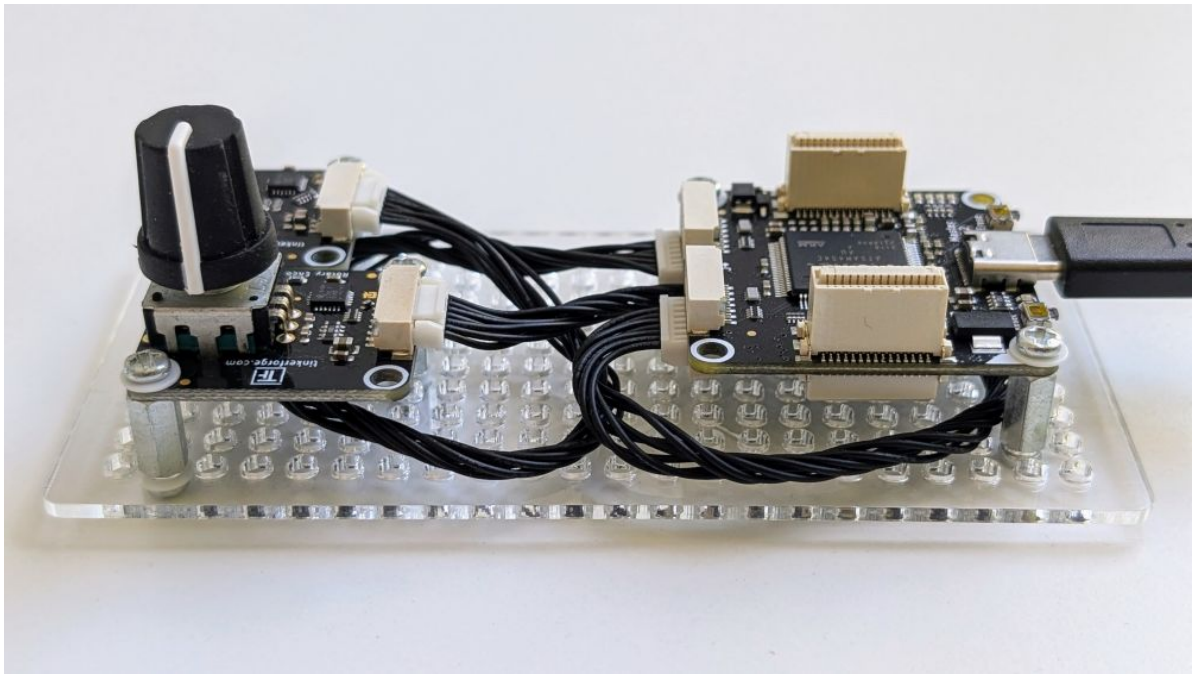
Fassen wir zusammen, was unser Drehknopf (Rotary Encoder) draufhat:

1. Er zählt – vorwärts und rückwärts
2. Er merkt, wenn ihr ihn drückt
3. Er kann seinen Zähler zurücksetzen

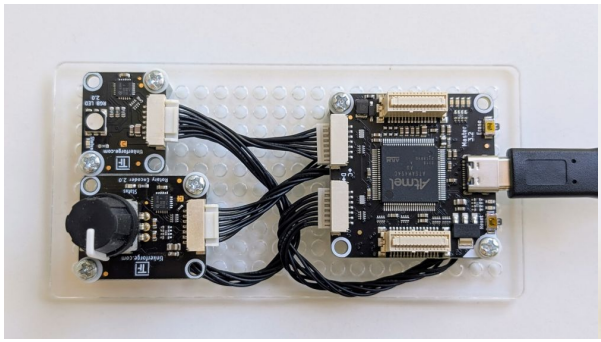
Zeit also, das Ganze in Python auszuprobieren und zu sehen, welche spannenden Anwendungen wir damit bauen können.

2.2 Zähler auslesen

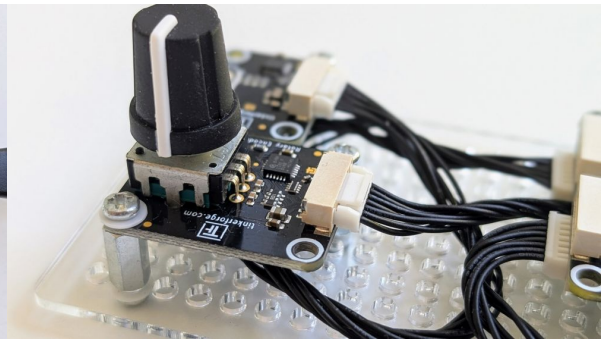
Der Drehknopf funktioniert ähnlich wie der Lautstärkeregler einer Stereoanlage (siehe Abbildung 2.4): Dreht ihr nach rechts, wird es lauter – nach links, leiser.



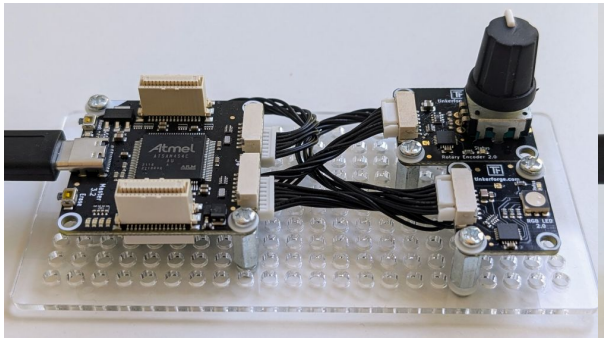
(a) Seitenansicht.



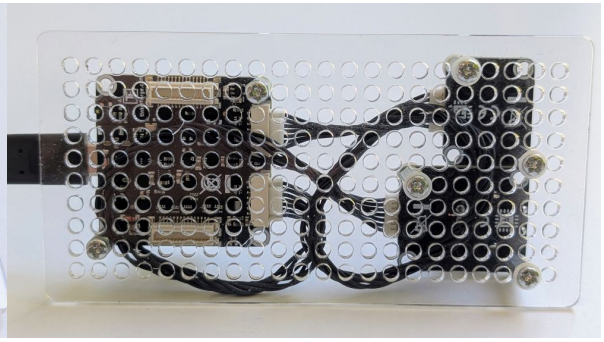
(b) Draufsicht.



(c) Nahaufnahme des Rotary Encoders.



(d) Seitenansicht.



(e) Untenansicht.

Abbildung 2.1: Einfaches Setup mit einem Mikrocontroller, LED und einem Drehknopf.

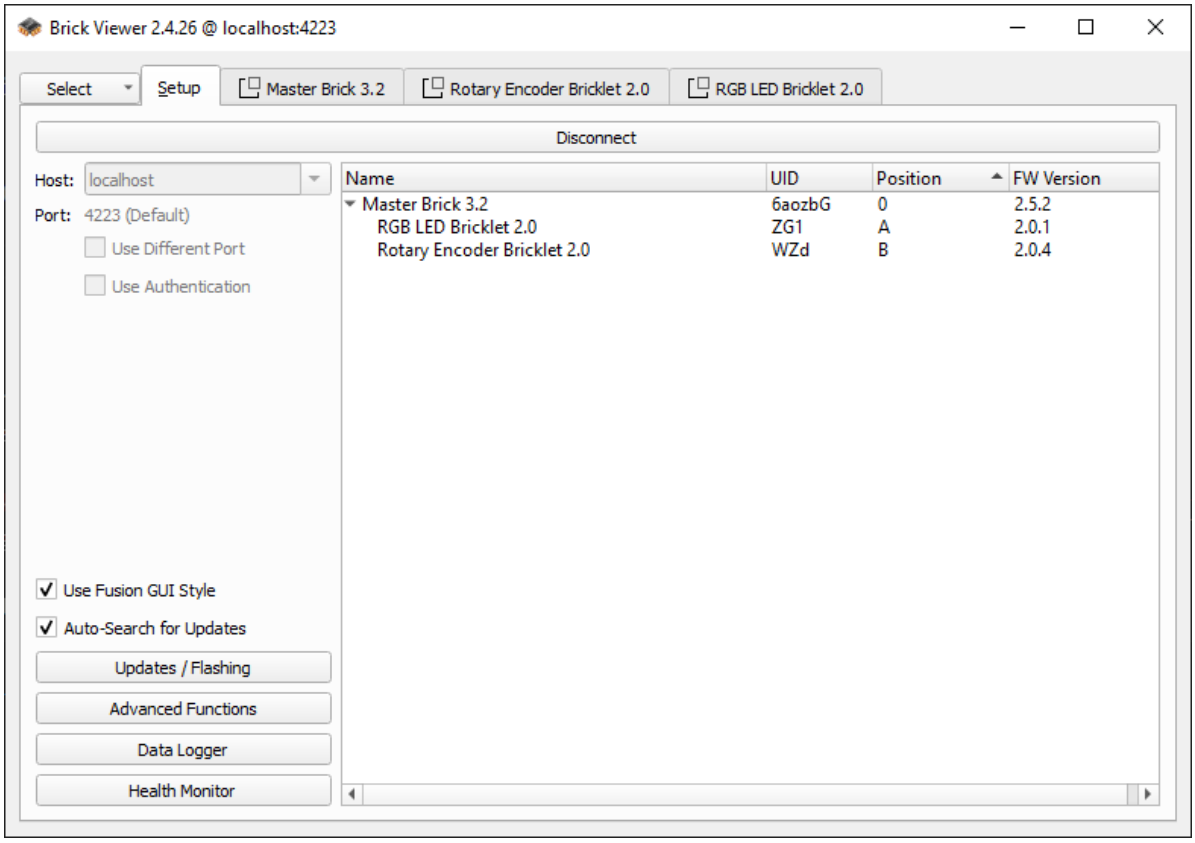
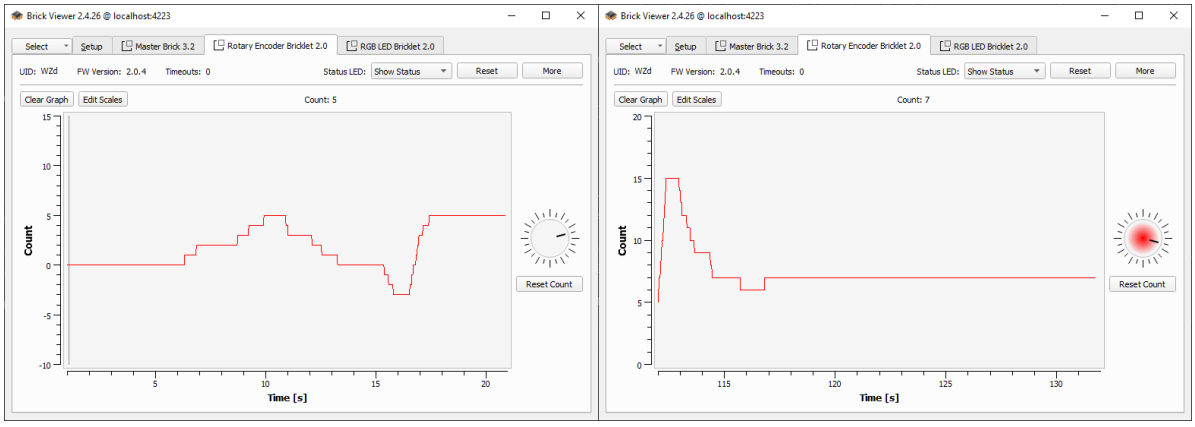


Abbildung 2.2: Der Brick Viewer nach dem Connect.



(a) Das Diagramm zeigt den aktuellen Wert an. (b) Der Button wird rot, wenn er gedrückt ist.

Abbildung 2.3: Die Funktionen des Rotary Encoders im Brick Viewer.

Abbildung 2.4: Die gute alte Stereoanlage mit Drehknopf! Wer kennt sie nicht mehr? (Quelle: Wikimedia)

Im Hintergrund verändert sich bei jeder Drehung der Wert, den der Knopf sendet – mal höher, mal niedriger, je nach Ausgangszustand. Im Brick Viewer habt ihr das schon gesehen. Probieren wir es jetzt in einem Programm aus: Der folgende Code verbindet sich mit dem Drehknopf, liest den aktuellen Wert und gibt ihn in der Konsole aus. Denkt daran, eure eigene UID einzutragen:

```
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_rotary_encoder_v2 import BrickletRotaryEncoderV2

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect('localhost', 4223)
knob = BrickletRotaryEncoderV2('WZd', ipcon)                    ①
count = knob.get_count(reset=False)                             ②
print(count)
```

① Wir erstellen eine virtuelle Repräsentation des Drehknopfs in unserem Programm, um seine Funktionen verwenden zu können.

② Über die virtuelle Repräsentation des Drehknopfs können wir mittels `get_count()` den aktuellen Wert abfragen. Der Parameter `reset` bestimmt, ob der Zähler nach dem Auslesen zurückgesetzt werden soll oder nicht.

Die Ausgabe sollte mit dem Wert übereinstimmen, den ihr auch im Brick Viewer seht – kein Wunder, beide nutzen dieselbe Programmierschnittstelle. Damit habt ihr die erste Funktion des Drehknopfs erfolgreich aus Python getestet.

Dreht ihr den Knopf und startet das Programm erneut, erscheint natürlich ein anderer Wert. Klar! Aber jedes Mal neu starten? Das geht besser. Die Lösung kennt ihr schon aus Kapitel 1: eine Schleife, die das Programm so lange wiederholt, bis wir es beenden:

```
while True:
    count = knob.get_count(reset=False)
    print(count)
```

Zur Erinnerung: `while True` erzeugt eine Endlosschleife. Normalerweise wollen wir so etwas vermeiden – außer, wir brauchen es genau dafür. Endlosschleifen sind praktisch, wenn wir kontinuierlich Daten lesen oder auf Ereignisse warten. Und keine Sorge: Mit Strg+C könnt ihr das Programm jederzeit beenden, wenn die Konsole aktiv ist. Klickt also einmal in die Konsole und drückt Strg+C, dann hat der Spuk ein Ende.

Wenn ihr das Programm ausführt, werdet ihr direkt ein Problem erkennen. Die Schleife rennt förmlich und gibt nacheinander immer wieder denselben Wert aus. Nur wenn wir am Knopf drehen, ändert sich der Wert – wird aber von der Schleife x-mal auf die Konsole geschrieben. Wie könnten wir das verbessern?

2.3 Kontrollstrukturen

Wie wäre es hiermit?

```
last_count = None
while True:
    new_count = knob.get_count(reset=False)

    if new_count != last_count:
        last_count = new_count
        print(last_count)
```

Gehen wir durch, was hier passiert: Zuerst weisen wir der Variable `last_count` vor dem ersten Schleifendurchlauf den Wert `None` zu. Anschließend wird in jedem Durchlauf der aktuelle Zählerstand ausgelesen und in der Variable `new_count` gespeichert. Danach prüfen wir, ob sich der neue Wert im Vergleich zum alten unterscheidet. Da `last_count` im ersten Durchlauf `None` ist, wird die Bedingung in Zeile 5 beim Start immer `True` sein. Somit geben wir den Wert zu Beginn auf jeden Fall aus – genau so, wie es für die Anwendung sinnvoll ist.

In den folgenden Schleifendurchläufen wird nur dann etwas ausgegeben, wenn sich der Wert verändert hat, ihr also tatsächlich am Drehknopf gedreht habt. Ansonsten bleibt die Ausgabe unverändert.

Die Prüfung, ob der aktuelle Wert (gespeichert in `new_count`) sich vom alten Wert unterscheidet, erfolgt in Zeile 5. Hier lernen wir auch ein neues Konzept der Programmierung kennen: die Kontrollstruktur, eingeleitet mit dem Schlüsselwort `if`, gefolgt von einer Bedingung. Eine Bedingung, kann – wie ihr schon aus Kapitel 1 wisst – nur `True` oder `False` sein. Ist sie wahr (`True`), läuft der eingerückte Code darunter. Ist sie falsch (`False`), passiert nichts.

Übertragen auf unser Programm heißt das: `print(last_count)` läuft nur dann, wenn sich der Wert tatsächlich verändert hat. In diesem Fall merken wir uns den neuen Wert und aktualisieren `last_count`. Beim nächsten Schleifendurchlauf prüfen wir wieder, ob sich etwas getan hat. Meistens ist das nicht so – und genau deshalb sehen wir nur dann eine Ausgabe, wenn wir wirklich am Knopf drehen. Ziemlich effizient, oder?

2.4 LED-Dimmer 1.0

Wenden wir das Gelernte an und bauen einen praktischen LED-Dimmer. Dafür holen wir unsere LED aus Kapitel 1 mit dazu und kombinieren sie mit dem Drehknopf.

Die Idee ist simpel: Der Zähler des Knopfs steuert die Helligkeit der LED. Dreht ihr nach rechts, wird sie heller, nach links, dunkler. Wie bei der Stereoanlage in Abbildung 2.4.

Bevor wir uns an die eigentliche Anwendungslogik machen, brauchen wir Zugriff auf beide Geräte – LED und Drehknopf. Dazu erweitern wir den bekannten Boilerplate-Code und speichern die Geräte in eigenen Variablen:

```
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_rotary_encoder_v2 import BrickletRotaryEncoderV2
from tinkerforge.bricklet_rgb_led_v2 import BrickletRGBLEDV2

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect("localhost", 4223)
knob = BrickletRotaryEncoderV2("<YOUR_ROTARY_UID>", ipcon)
led = BrickletRGBLEDV2("<YOUR_LED_UID>", ipcon)
```

Dieser Teil muss immer am Anfang unseres Programms stehen, damit alles funktioniert. In den kommenden Beispielen setzen wir ihn als gegeben voraus und wiederholen ihn nicht jedes Mal.

Als Startpunkt nehmen wir den Code von oben, der den Zählerwert auf der Konsole ausgibt. Schließlich brauchen wir genau diese Information – wann sich der Wert ändert und wie er aktuell steht – auch, um die LED zu steuern.

Damit wir die LED von aus bis volle Helligkeit dimmen können, legen wir uns zuerst auf eine Farbe fest. Ich bin zwar kein Fan von weißem LED-Licht, aber für dieses Kapitel ist es am einfachsten: voll aufgedreht leuchtet die LED weiß, ausgedreht ist sie schwarz – klar! Später kümmern wir uns darum, wie wir das Licht wärmer machen können.

Erinnern wir uns also: Was bedeuten die Zustände An und Aus im RGB-Farbraum?

```
# White
led.set_rgb_value(255, 255, 255)

# Black (off)
led.set_rgb_value(0, 0, 0)
```

Damit haben wir die beiden Extremzustände festgelegt. Doch was passiert dazwischen, wenn die LED gedimmt ist? Ganz einfach: Wir lassen die drei RGB-Werte gemeinsam von 1 bis 255 hoch- oder runterlaufen. Höhere Werte ergeben ein helleres Weiß, niedrigere ein dunkleres.

Setzen wir diese Erkenntnisse in Programmcode um und weisen den Zählerwert den RGB-Werten der LED zu. Spoiler-Alert: Das ist etwas naiv, aber lasst uns mal schauen, was passiert und wo möglicherweise Probleme auftreten:

```
knob.reset()
last_count = 0

while True:
    new_count = knob.get_count(reset=False)

    if new_count != last_count:
        last_count = new_count
        print(last_count)

        # Setze RGB-Werte auf den Zählerwert
        led.set_rgb_value(last_count, last_count, last_count)
```

Lasst es mal laufen und dreht voll auf oder runter! Beobachtet dabei den Wert für `last_count`. Was passiert, wenn er kleiner als Null wird? Oder wenn er größer als 255 wird? Bumm! Das Programm stürzt ab!

Warum? Auf der Kommandzeile bekommen wir eine lange Fehlermeldung mit der folgenden Aussage ganz am Ende:

```
struct.error: ubyte format requires 0 <= number <= 255
```

Wenn man die Fehlermeldung googelt oder ChatGPT befragt, bekommt man Hilfe. Offensichtlich wird für einen RGB-Wert, den wir der Funktion `set_rgb_value()` übergeben, ein bestimmter Datentyp erwartet, der `ubyte` heißt. Das steht für "unsigned byte" und bedeutet, dass der Wert zwischen 0 und 255 liegen muss.

Moment – was hat jetzt das Byte mit 0 bis 255 zu tun? Bisher dachten wir doch, das wäre wegen des RGB-Codes? Stimmt auch, aber der RGB-Code liegt nicht zufällig im Wertebereich von 0 bis 255.

Um das zu verstehen, müssen wir das Binärsystem kennen. Also los!

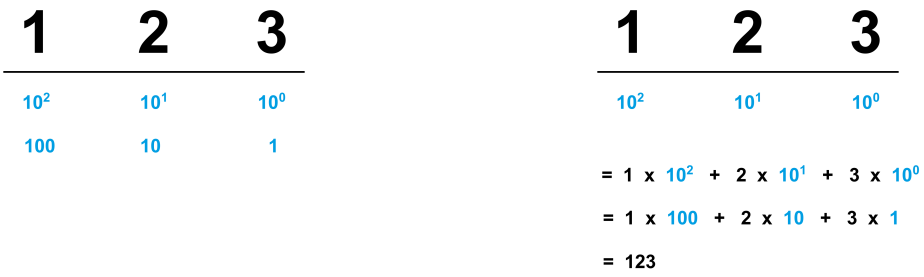
2.5 Zahlensysteme

Eigentlich ist es schnell erklärt. Das Binärsystem ist wie das Dezimalsystem, mit dem wir alltäglich unterwegs sind – nur nutzt es statt der Basis 10 die Basis 2. Einfach, oder? Wenn nicht, lest weiter – das hier soll schließlich ein Einführungsbuch sein.

2.5.1 Unser Dezimalsystem

Wir wenden das Dezimalsystem täglich intuitiv an. Es fragt sich wahrscheinlich niemand von euch, was die Systematik dahinter ist, oder? Und doch habt ihr es alle einmal in der Schule gelernt, und wir müssen es an dieser Stelle etwas auffrischen. Solltet ihr mit Stellenwertsystemen noch 100 % vertraut sein, könnt ihr diesen Abschnitt getrost überspringen.

Nehmen wir eine Zahl wie die 123 als Beispiel. Wir haben sofort ein Gefühl für die Zahl, wir wissen etwa, wie groß sie ist. Und wenn wir es etwas genauer erklären müssen, können die meisten von euch sicher erläutern, wofür – also für welchen Wert – jede Ziffer steht. Wir beginnen mit der kleinsten Wertigkeit, also der Ziffer ganz rechts: der 3. Sie steht für die Einserstelle, und davon haben wir 3. Die nächste Stelle steht für die Zehner, und weil dort eine 2 steht, sind es zwanzig. Also $3 + 20 = 23$. Schließen wir auch die dritte und letzte Ziffer in unsere Erläuterung ein: Die 1 steht für die Hunderterstelle, also $1 * 100 = 100$. Damit haben wir $100 + 20 + 3 = 123$. Ganz einfach und intuitiv.



(a) Im Dezimalsystem hat jede Stelle einen anderen Wert.

(b) Durch Ausmultiplizieren errechnen wir den Wert der Zahl.

Abbildung 2.5: Das Dezimalsystem ist ein Stellenwertsystem.

Das Ganze funktioniert nicht nur mit dreistelligen Zahlen, sondern prinzipiell mit beliebig langen Zahlen. Wir wissen, dass die nächste Ziffer, die wir links im Beispiel in Abbildung 2.6 sehen, für die Tausenderstelle steht. Die nächste Stelle würde für die Zehntausenderstelle stehen – und so weiter. Warum fällt es uns so leicht?

Erstens, weil wir damit jeden Tag umgehen. Das Dezimalsystem ist das System, das wir am häufigsten verwenden, und wir haben es von klein auf gelernt. Es ist intuitiv und einfach zu verstehen. Zweitens aber auch, weil wir die Systematik kennen: Jede Stelle ist 10-mal so viel wert wie die vorherige.

Wurde uns das Dezimalsystem von Gott gegeben? Vielleicht – wenn man an die Schöpfung glaubt[1] und daran, dass Gott uns so geschaffen hat, wie wir sind, dann hat er implizit dafür gesorgt, dass wir dezimal denkende Wesen werden. Warum? Eine Theorie besagt, dass die

[1] Hände hoch, wer daran noch glaubt!

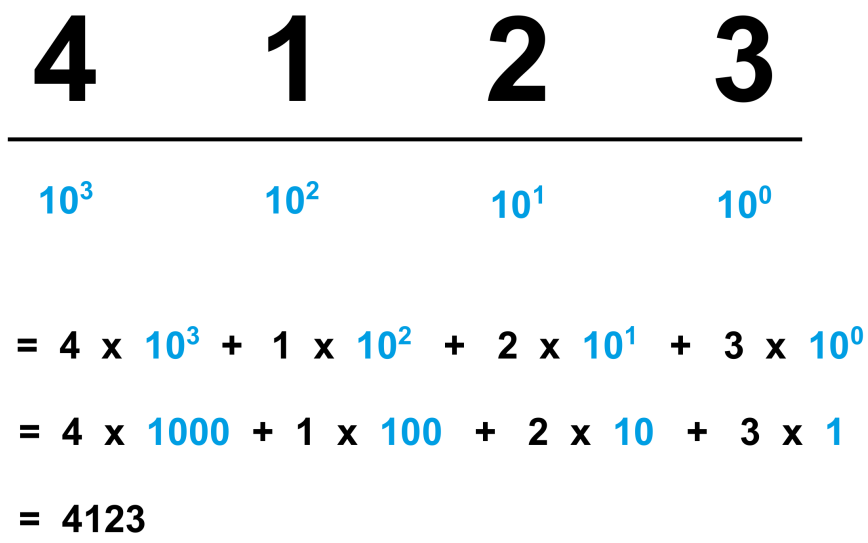


Abbildung 2.6: Jede Stelle steht für eine höhere Potenz der Basis 10.

menschliche Anatomie, insbesondere die Anzahl der Finger, einen Einfluss auf unser Zahlensystem hatte. Zählt einfach mal anhand eurer Finger durch.

2.5.2 Das Oktalsystem

Nun gibt es auch Wesen mit weniger als zehn Fingern (und auch mit mehr?). Nehmt mal einen Cartoon-Charakter wie Mickey Mouse als Beispiel. In Abbildung 2.7 seht ihr, wie hier wahrscheinlich gezählt wird. Hätte ein Volk von Mickey-Mäusen sich auch für das Dezimalsystem entschieden?

Vermutlich nicht! Das Oktalsystem ist wie das Dezimalsystem ein Stellenwertsystem, nur mit einer anderen Basis. Das bedeutet, dass jede Stelle statt eine Zehnerpotenz eine Achterpotenz darstellt. Die verfügbaren Symbole oder Zifferen sind 0 bis 7. Warum? Weil es nur acht Finger gibt, und die mit zehn Fingern ist der achte Finger die Zahl 10. Im Oktalsystem stellt das die Dezimalzahl 8 dar, weil die zweite Ziffer von rechts für die Achterstelle steht.

Die 123, die ihr in Abbildung 2.8 seht, können wir - wie jede Zahl in einem beliebigen Stellenwertsystem - mit dem einfachen Ausmultiplizieren in das Dezimalsystem umrechnen. Die drei ganz rechts steht für $3 \cdot 1$. Weil jede Zahl hoch Null eine Eins ergibt, steht die erste Stelle steht in jedem System für die Eins. Die zweite Stelle steht für 8^2, also für die Achter (also $2 \cdot 8 = 16$)

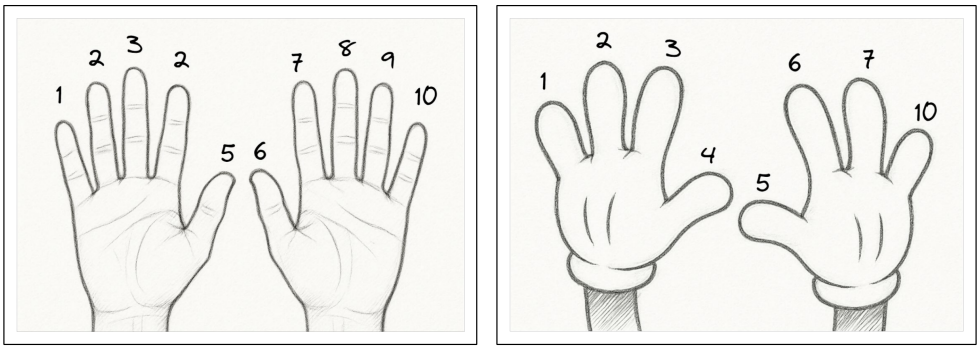


Abbildung 2.7: Cartoon-Charaktere haben nur acht Finger. Quelle: Erstellt mit ChatGPT nach Petzold (2022)

und die dritte Stelle 8^3, was Vierunsechszig ergbit. Somit geht sie mit $1 \cdot 64$ in die Berechnung des Dezimalwertes ein. Zusammen ergibt das $64 + 16 + 3 = 83$ im Dezimalsystem.

2.5.3 Das Binärsystem

Treiben wir es noch ein wenig weiter auf die Spitze und nehmen ein paar Finger weg – sagen wir bis auf zwei. Dann wären wir vielleicht bei einem Delfin mit zwei Flossen, wie ihr ihn in Abbildung 2.9 seht. Delfine haben sich vermutlich auf ein System geeinigt, das auch für unsere heutigen Computer die Grundlage darstellt: das Binärsystem.

Das Wort "binär" stammt aus dem Lateinischen und bedeutet "paarweise" oder "zu zweit". Von diesem Wort stammt auch der Name des Stellenwertsystems mit der Basis 2 – und das nicht ohne Grund. Im Binärsystem gibt es für jede Stelle genau zwei Möglichkeiten: 0 oder 1. Ein anderer Begriff ist übrigens Dualsystem, was genau das Gleiche meint. Auch das Wort "dual" kommt von den Römern und heißt so viel wie "zwei enthaltend".

Zwei Möglichkeiten, das erinnert an einen Lichtschalter, der entweder an oder aus sein kann. In Abbildung 2.10 ist das bildlich dargestellt. Entweder leuchtet die Lampe (1) oder sie ist aus (0). Mehr geht nicht. Das Binärsystem ist also wirklich simpel.

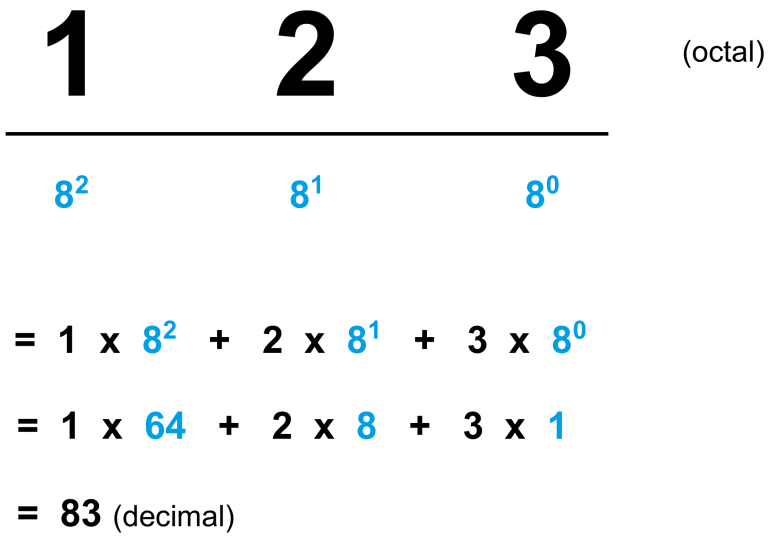


Abbildung 2.8: Das Oktalsystem funktioniert wie das Dezimalsystem. Nur die Basis ist 8 statt 10.

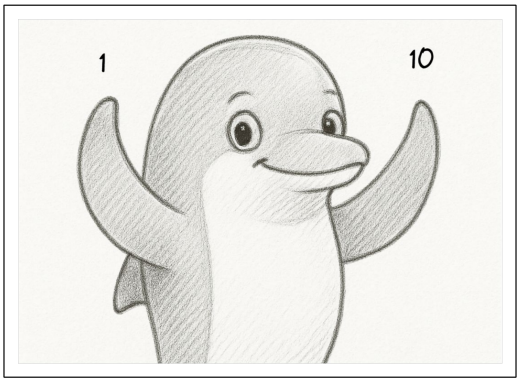


Abbildung 2.9: Delfine würden anders zählen. Eher wie Computer.

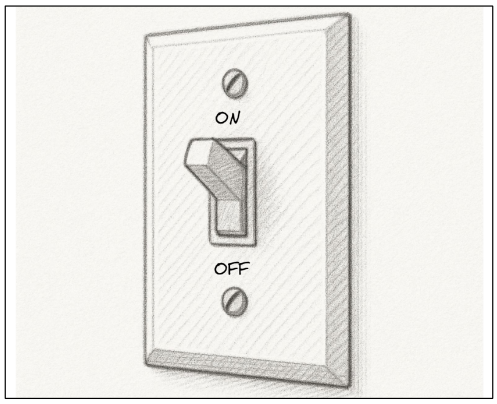
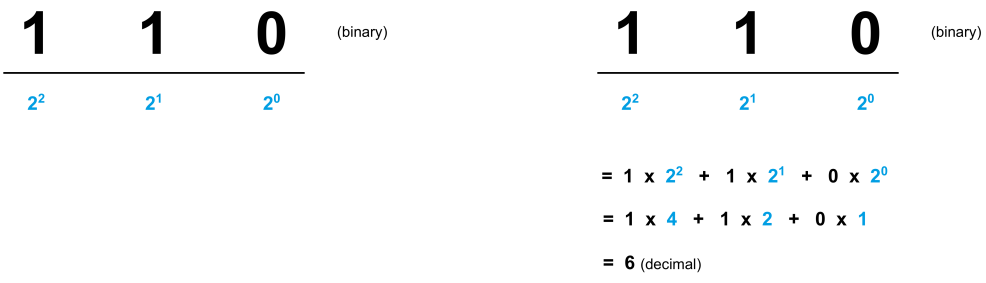


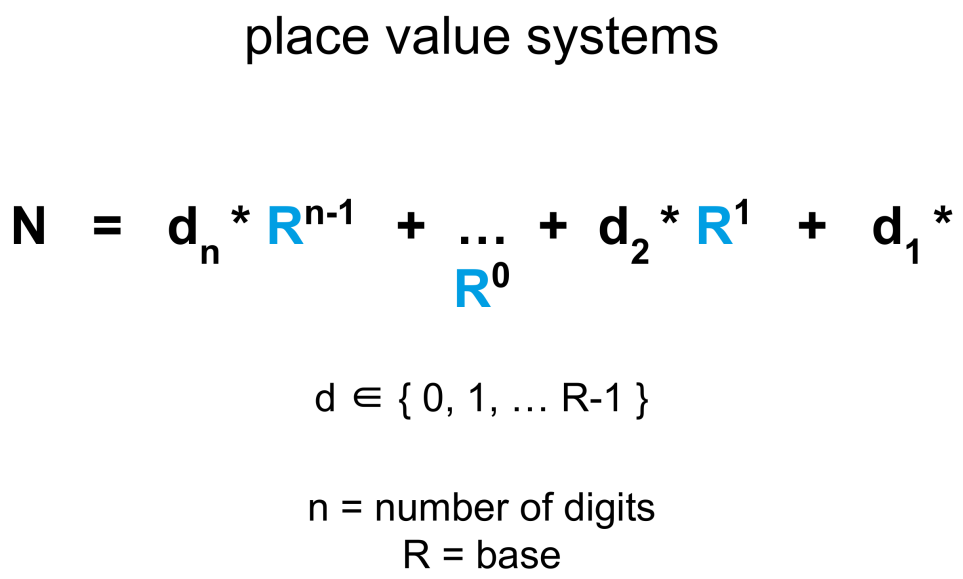
Abbildung 2.10: Eine Binärziffer ist vergleichbar mit einem Lichtschalter, der an oder aus sein kann.

Und auch das Rechnen im Binärsystem ist nichts Besonderes. Es funktioniert wie im Dezimalsystem oder Oktalsystem auch, wir tauschen einfach die Basis aus. Jede Stelle stellt nun eine Potenz von zwei dar. Statt vieler Symbole gibt es nur die 0 und die 1, um Zahlen darzustellen. Das macht es im Binärsystem sogar noch einfacher, als in Systemen mit einer höheren Basis. Denn letztlich müssen wir nur die 2er-Potenzen, an denen eine 1 steht, addieren. Alles, wo eine Null steht, können wir ignorieren.



(a) (b)

Abbildung 2.11: Das Binärsystem funktioniert wie alle anderen Stellenwertsysteme auch.



2.5.4 Andere Systeme

Stellenwertsysteme sind nicht die einzigen Zahlensysteme. Es zum Beispiel das römische Zahlensystem, bei dem die Position der Ziffer keine Rolle spielt. Stattdessen werden verschiedene Symbole verwendet, um Zahlen darzustellen. Ein anderes Beispiel ist die Tally-Schreibweise, bei der Striche und Strichpakete verwendet werden, um Zahlen zu darzustellen.

2.6 Bits & Bytes

2.6.1 Zwei Zustände

Warum haben wir uns Zahlensysteme angeschaut, und was hat das mit Computern zu tun? Ganz einfach: Computer denken binär. Das bedeutet, sie kennen nur zwei Zustände: an oder aus, 0 oder 1.

Wir kommen später noch einmal ausführlich darauf zurück, aber so viel schon vorweg: Eine Binärziffer nennen wir im Englischen "binary digit", kurz "bit". Jetzt klingelt es, oder?

Ein Bit ist eine Informationseinheit. Nicht irgendeine, sondern die kleinste, die es gibt. Die Erklärung, warum das so ist, folgt später. Wir wollen uns an dieser Stelle die Frage stellen, was wir mit einem Bit alles anstellen können.

Ein Bit ist alleine ziemlich einsam und eingeschränkt. Wenn sich ein Computer mit einem Bit lediglich merken kann, ob eine Lampe an oder aus ist, dann sind das genau zwei Möglichkeiten. Nicht besonders viel. Wir kamen aber von den Farben über Zahlensysteme zu den Bits – und unsere ursprüngliche Frage war, wie ein Computer mit seinen Mitteln – also Nullen und Einsen (oder eben Bits) – so viele unterschiedliche Farben abbilden und speichern kann. Zwei würden gerade einmal für Schwarz/Weiß ausreichen.

Ihr ahnt es vielleicht schon: Wir gesellen zum ersten ein zweites Bit hinzu. Und schon können wir vier unterschiedliche Zustände abbilden: `00`, `01`, `10` und `11`. Damit könnten wir zum Beispiel die Farben Schwarz, Blau, Grün und Cyan darstellen. Etwas willkürlich (warum gerade diese Farben), aber denkbar.

Was passiert, wenn wir ein drittes Bit hinzunehmen? Sind es nun sechs Zustände? Nein, es sind acht: `000`, `001`, `010`, `011`, `100`, `101`, `110` und `111`. Damit könnten wir die Farben Schwarz, Blau, Grün, Cyan, Rot, Magenta, Gelb und Weiß darstellen (oder jede andere Kombination, die wir uns wünschen).

Mit jedem zusätzlichen Bit können wir also nicht plus zwei mehr Zustände abbilden, sondern wir verdoppeln unsere Möglichkeiten. Also müssen wir mal zwei – und nicht plus zwei – rechnen. Das ist eine gute Nachricht, denn die Anzahl der Farben, die wir mit jedem zusätzlichen Bit darstellen können, verdoppelt sich jedes Mal.

Das halten wir fest, aber schauen wir zurück auf unsere RGB-Farben und die Fehlermeldung, die wir zuletzt bekommen haben. Der Wert für eine Farbe aus dem RGB-Farbcode muss zwischen 0 und 255 liegen. Wir haben somit inklusive der Null 256 Möglichkeiten für jede der drei RGB-Grundfarben. Wie viele Bits benötigen wir dafür? Rechnen wir es aus:

$$2^0 = 1$$
$$2^1 = 2$$
$$2^2 = 4$$
$$2^3 = 8$$
$$2^4 = 16$$
$$2^5 = 32$$
$$2^6 = 64$$
$$2^7 = 128$$
$$2^8 = 256$$

Stopp! $2^8 = 256$, das genügt uns völlig. Mit 8 Bits können wir somit 256 Zustände abbilden – genau passend für 256 Rot-, Grün- oder Blauanteile.

2.6.2 Acht Bits macht ein Byte

Und das ist kein Zufall: 8 Bits sind für Computer eine besondere Größe. Wir nennen eine Gruppe von 8 Bits ein Byte. Und jetzt dürfte es erneut klingeln.

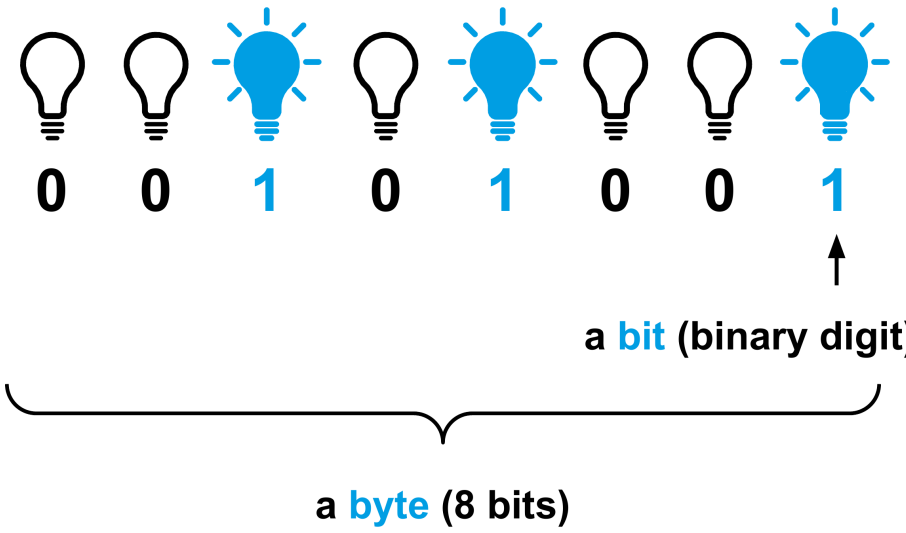


Abbildung 2.12: Ein Byte könnt ihr euch vorstellen wie acht Glühbirnen nebeneinander.

In Abbildung 2.12 ist ein Byte als Reihe von acht Glühbirnen dargestellt. Ihr könnt euch vorstellen, dass Bits mit dem Wert 1 leuchten und Bits mit dem Wert 0 aus sind. Um den Wert zu ermitteln, den das Byte gerade darstellt, könnt ihr jeder Glühbirne von rechts nach links die entsprechenden Wertigkeiten der Stellen aus dem Binärsystem zuweisen und die Werte addieren. Stellen, an denen die Glühbirne leuchtet, werden addiert, die anderen werden ausgelassen (Abbildung 2.13). Das Byte im gezeigten Beispiel steht somit für:

$$32 + 8 + 1 = 41$$

Wofür steht das Byte, wenn alle Lampen leuchten? Oder anders gefragt: Was ist die größte Zahl, die wir mit einem Byte darstellen können?

$$128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 255$$

Die Antwort überrascht uns nicht, denn schließlich haben wir es ja schon herausgefunden: Ein Byte erlaubt uns, Werte zwischen 0 (alle Glühbirnen aus) und 255 (alle Glühbirnen an) darzustellen. Insgesamt also 256 Möglichkeiten. Somit können wir mit 8 Glühbirnen die Intensität einer der drei Grundfarben im RGB-Code darstellen.

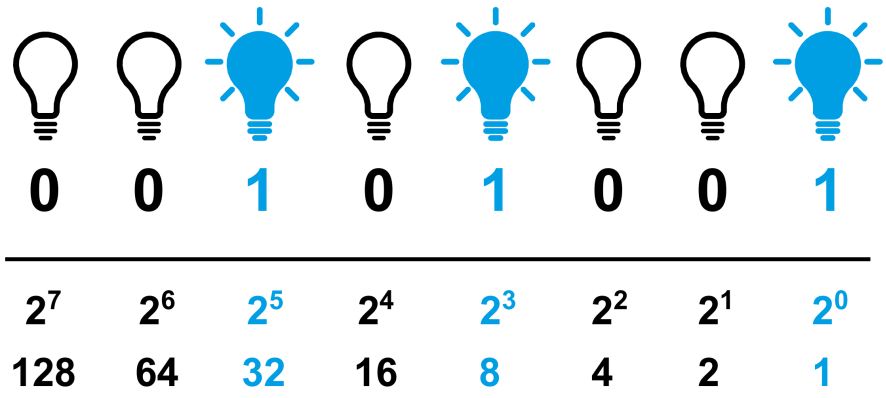


Abbildung 2.13: Jede Glühbirne steht für eine Stelle aus dem Binärsystem.

Das erklärt auch die Fehlermeldung von oben: Ein Byte kann Werte zwischen 0 und 255 darstellen. Wir haben im Experiment den Drehknopf voll nach oben oder nach unten gedreht,

wodurch der Wert entweder größer als 255 oder kleiner als 0 wurde. Und damit ist es kein gültiger Wert im Sinne eines Bytes mehr.

2.6.3 Kilo, Mega, Giga

Ein Byte besteht aus 8 Bits. Wenn wir also von Bytes sprechen, reden wir oft auch von Kilobytes, Megabytes, Gigabytes et cetera. Diese Begriffe sind wichtig, um die Größe von Daten zu beschreiben. In Tabelle 2.2 seht ihr eine Übersicht über die verschiedenen Größenordnungen.

Tabelle 2.2: Verschiedene Mengeneinheiten für Bytes und deren ungefähre Entsprechung.

Potenz (Bytes)	Ausgeschrieben	Bezeichnung (Abkürzung)	Entspricht ca.
10^3	Tausend	Kilobyte (KB)	kleine Textdatei
10^6	Million	Megabyte (MB)	Digitales Foto
10^9	Milliarde	Gigabyte (GB)	Film (DVD 4,7 GB)
10^{12}	Billion	Terabyte (TB)	Gängige Festplattenkapazität
10^{15}	Billiarde	Petabyte (PB)	Speichervolumen Rechenzentrum
10^{18}	Trillion	Exabyte (EB)	Internetverkehr pro Tag
10^{21}	Trilliarde	Zettabyte (ZB)	Datenbestand weltweit (>100 ZB)
10^{24}	Quadrillion	Yottabyte (YB)	keine Entsprechung

Jetzt, da ihr wisst, was mit einem Byte gemeint ist, könnt ihr eine ungefähre Vorstellung für die Größenordnungen von Datenmengen entwickeln. Die ersten drei Zeilen aus Tabelle 2.2 könnt ihr selbst einmal nachvollziehen. Schaut euch dazu mal eine Textdatei an, notiert deren Größe und rechnet aus, wie viele Glühbirnen für die Speicherung gebraucht werden. Denkt daran: Ein Byte entspricht acht Glühbirnen.

Wir kommen in den späteren Kapiteln immer wieder auf die Bits und Bytes zurück, weil wir in Computern letztlich überall mit diesen Einheiten arbeiten. Es ist somit gut, wenn ihr schon an dieser Stelle ein grundlegendes Verständnis für diese Konzepte entwickelt.

2.7 LED-Dimmer 2.0

Zurück zu unserem eigentlichen Vorhaben. Wir waren gerade dabei, einen Dimmer für unsere LED zu basteln, als uns die Zahlensysteme dazwischengekommen sind. Dafür haben wir

jetzt ein besseres Verständnis dafür, wie ein Computer Farben sieht – nämlich als lange Sequenz aus Nullen und Einsen. Und zwar 24 davon, weil jede Grundfarbe ein Byte an Speicher verwendet.

2.7.1 `min()` und `max()`

Was müssen wir also in unserem Programm verändern, jetzt, da wir wissen, was zuvor das Problem war? Genau! Wir müssen sicherstellen, dass die Werte, die wir an die LED senden, im gültigen Bereich für ein Byte liegen – und zwar zwischen 0 und 255.

```
knob.reset()
last_count = 0

while True:
    new_count = knob.get_count(reset=False)

    if new_count != last_count:
        last_count = new_count

        # Clamp last_count to valid byte range
        last_count = max(0, min(255, last_count))                    ①

        print(last_count)

        # Setze RGB-Werte auf den Zählerwert
        led.set_rgb_value(last_count, last_count, last_count)
```

① Die Funktionen `min()` und `max()` sorgen dafür, dass der Wert von `last_count` immer zwischen 0 und 255 bleibt. Wenn `last_count` kleiner als 0 ist, wird er auf 0 gesetzt. Wenn er größer als 255 ist, wird er auf 255 gesetzt.

Die neue Logik in Zeile 11 hilft uns dabei. Nachdem wir den neuen Wert des Zählers in der Variable `last_count` gespeichert haben (Zeile 8), wenden wir eine geschickte Kombination der beiden Funktionen `max()` und `min()` an, um sicherzustellen, dass der Wert im gültigen Bereich bleibt. Wie funktioniert das genau? Dazu gehen wir die Zeile Schritt für Schritt durch.

Zunächst einmal der Ausdruck `min(255, last_count)`. Die Funktion `min()` gibt einfach den kleineren der beiden Werte zurück, die ihr übergeben werden. Wenn `last_count` also größer als 255 ist, wird 255 zurückgegeben. Andernfalls wird `last_count` zurückgegeben. Das Ergebnis dieser Auswertung ist gleichzeitig der zweite Wert, den wir der Funktion `max()` übergeben.

Die Funktion `max()` macht genau das Gegenteil. Sie gibt den größeren der beiden ihr übergebenen Werte zurück. Zur Auswahl stehen ihr der Wert 0 und das Ergebnis der `min()`-Funktion.

Das bedeutet, dass `max()` sicherstellt, dass der endgültige Wert von `last_count` niemals kleiner als 0 ist.

Und voilà! Nach Zeile 11 kann der Wert von `last_count` nur noch zwischen 0 und 255 liegen. Problem gelöst!

Probiert es am besten direkt aus und dreht mal voll auf! Es sollte nun kein Fehler mehr auftreten.

2.7.2 Helligkeit entkoppeln

Vielleicht habt ihr es auch bemerkt, aber so richtig toll funktioniert unser Dimmer immer noch nicht. Zwar erscheint keine Fehlermeldung mehr, wenn wir endlos aufdrehen. Jedoch wird die LED auch nicht gedimmt, wenn wir wieder in die andere Richtung drehen. Der Grund dafür ist einfach: Die Helligkeit der LED hängt in unserem Programm direkt vom Zählerstand des Drehknopfes ab. Wenn der über 255 kommt, wird die Helligkeit zwar auf 255 gedeckelt, der Zähler wird aber im Hintergrund trotzdem weiter hochgezählt. Wenn wir die LED wieder dimmen, also einen Helligkeitswert von weniger als 255 erreichen möchten, dann müssen wir zunächst mit dem Drehknopf wieder bis unter die 255 kommen.

Viel schöner wäre es, wenn wir zwar endlos überdrehen könnten, aber mit der ersten Drehung in die andere Richtung die Helligkeit der LED sofort verringern. Ein einfacher Weg wäre, für den Zählerstand des Drehknopfes analog zu `last_count` nur Werte zwischen 0 und 255 zu erlauben. Dazu könnten wir den Zähler – genau wie `last_count` – manuell auf 0 oder 255 setzen, je nachdem, ob wir größer als 255 oder kleiner als 0 waren. Leider bietet der Drehknopf über seine Programmierschnittstelle keine solche Funktion an. Wir können den Wert zwar auslesen, aber nicht programmatisch verändern.

Wir müssen also einen Workaround entwickeln. Eine Möglichkeit wäre, die Helligkeit unabhängig vom Zählerstand zu verwalten und dafür eine eigene Variable `brightness` einzuführen. Wir könnten den Wert von `brightness` dann erhöhen oder verringern, wenn wir eine Drehung in die eine oder andere Richtung erkannt haben.

Um zu erkennen, ob und in welche Richtung der Drehknopf gedreht wurde, können wir die Differenz zwischen dem aktuellen und dem letzten Zählerstand betrachten. Sie gibt uns direkt Aufschluss: Ist die Differenz positiv, wurde der Knopf nach oben gedreht, ist sie negativ, wurde er nach unten gedreht.

```
knob.reset()
last_count = 0

brightness = 0                                                    (1)
led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)
```

```
while True:
    new_count = knob.get_count(reset=False)

    if new_count != last_count:
        diff = new_count - last_count                                    ②
        last_count = new_count

        # Adjust brightness
        brightness += diff                                               ③
        brightness = max(0, min(255, brightness))

        # Setze RGB-Werte auf den Zählerwert
        led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)

        print(f"Brightness / Counter: {brightness} / {new_count}")       ④
```

① Die neue Variable `brightness` zu Beginn mit 0 initialisieren. Die LED soll aus sein.
② Hier ermitteln wir die Differenz zwischen dem aktuellen und dem letzten Zählerstand und speichern sie in der Variable `diff`.
③ Wir passen die Helligkeit an, indem wir `brightness` um `diff` erhöhen oder verringern. Dabei stellen wir sicher, dass der Wert zwischen 0 und 255 bleibt.
④ Zur Überprüfung geben wir beide Variablen aus. Wenn wir den Wertebereich 0–255 verlassen, gehen die Werte der beiden Variablen auseinander.

2.7.3 Konstanten

Das sieht schon sehr gut aus! Unser Dimmer ist fast fertig, die grundlegende Funktionalität läuft robust. Eine Kleinigkeit stört mich noch: Der Dimmer reagiert nur sehr langsam, und wir müssen scheinbar endlos drehen, um die LED auf die volle Helligkeit zu bekommen. Können wir das beschleunigen?

Das ist natürlich eine rhetorische Frage – in der Programmierung können wir so gut wie alles umsetzen. Und in diesem Fall ist es sogar recht einfach. Damit die LED schneller hell oder dunkel wird, wenn wir am Drehknopf drehen, können wir die Anpassung der Helligkeit einfach verstärken. Momentan wird die Variable `brightness` um die Differenz des Zählerstands erhöht oder verringert. Wir könnten stattdessen einen festen, höheren Schrittwert definieren, um die Helligkeit schneller zu ändern.

Dazu definieren wir eine neue Variable, die eine Besonderheit hat. Wir geben ihr den Namen `STEP`, der nur aus Großbuchstaben besteht (Zeile 3 in Listing 2.1). Gemäß der Regeln für die Bennung von Variablen in Python werden Namen in GROSSBUCHSTABEN üblicherweise für Konstanten verwendet – und tatsächlich ist `STEP` genau genommen auch keine Variable, sondern eine **Konstante**.

Eine Konstante unterscheidet sich dadurch, dass ihr Wert einmal festgelegt wird und sich danach nicht mehr ändert. In unserem Fall wollen wir, dass `STEP` immer den Wert 10 hat. Konstanten definieren wir typischerweise zu Beginn eines Python-Programms, damit man einen schnellen Überblick über alle definierten Konstanten und ihre Werte bekommen kann.

Es ist wichtig zu verstehen, dass der fixe Wert einer Konstante sich nur auf die Ausführung des Programms bezieht. Zwischen mehreren Ausführungen desselben Programms kann der Wert einer Konstante geändert werden. Zum Beispiel könnten wir als Hersteller des LED-Dimmers für eine neue Version entscheiden, dass dieser sich noch schneller dimmen lassen soll, und wir erhöhen den Wert für `STEP` auf 20. Oder der Benutzer könnte diesen Wert über die Einstellungen der hypothetischen Dimmer-App anpassen.

Wenn wir – wie in Zeile 15 gezeigt – die Differenz des Zählers mit der Schrittgröße multiplizieren, können wir die Anpassung der Helligkeit verstärken.

Listing 2.1 Der fertige LED-Dimmer (ohne Boilerplate-Code)

```
knob.reset()
brightness = 0
STEP = 10                                                    ①
led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)

last_count = 0
while True:
    new_count = knob.get_count(reset=False)

    if new_count != last_count:
        diff = new_count - last_count
        last_count = new_count

        # Adjust brightness
        brightness += diff * STEP                            ②
        brightness = max(0, min(255, brightness))

        # Setze RGB-Werte auf den Zählerwert
        led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)

        print(f"Brightness / Counter: {brightness} / {new_count}")
```

① Hier definieren wir eine Konstante `STEP` und weisen ihr den Wert 10 zu.
② Die Helligkeit wird nun um `diff * STEP` angepasst, was bedeutet, dass jede Drehung des Knopfes einen größeren Einfluss auf die Helligkeit hat.

Mit dem LED-Dimmer haben wir die zentrale Funktion des Drehknopfes zur Genüge kennengelernt. Das Gerät hat aber noch eine andere Funktion.

2.8 Druckknopf auslesen

Neben dem Zähler besitzt der Dreh*knopf* (der Name sagt es schon) noch eine Funktion, nämlich die eines einfachen Druckknopfes. Wir haben es weiter oben in Abschnitt 2.1.2 mit dem Brick Viewer schon ausprobiert: Der Drehknopf lässt sich drücken und erzeugt eine haptische Rückmeldung, ein leichtes Knacken. Im Brick Viewer wurde der kleine Kreis auf der rechten Seite dann rot eingefärbt.

Selbstverständlich können wir den Zustand des Buttons auch aus einem Programm heraus abfragen. Dazu bietet uns der Drehknopf eine Methode `is_pressed()` an:

```
while True:
    if knob.is_pressed():
        print("Button pressed")
    else:
        print("Button not pressed")
```

Die Funktion liefert `True` zurück, wenn der Button gerade gedrückt ist, und ansonsten `False`. Das können wir wunderbar nutzen und darüber eine Bedingung formulieren, um entweder "Button pressed" oder "Button not pressed" auf der Konsole auszugeben. Ihr erinnert euch bestimmt an das `if`-Statement aus Abschnitt 2.3. Das ist genau das, was wir jetzt brauchen!

Listing 2.2 Ein erster Test des Drehknopf-Buttons.

```
button_pressed_before = False                                                    ①
while True:
    button_pressed_after = knob.is_pressed()

    if button_pressed_before == True and button_pressed_after == False:          ②
        print("Button was pressed and released")                                 ③

    button_pressed_before = button_pressed_after                                 ④
```

① Wir initialisieren eine Variable `button_pressed_before`, die den vorherigen Zustand des Buttons speichert. Am Anfang gehen wir mal davon aus, dass er nicht gedrückt ist.

② Mit dem `if`-Statement überprüfen wir, ob der Button logelassen wurde. Dazu muss der vorherige Zustand `True` und der aktuelle Zustand `False` sein.

③ Wenn der Button soeben losgelassen wurde, geben wir eine entsprechende Information auf der Konsole aus.
④ Am Ende der Schleife aktualisieren wir den vorherigen Zustand `button_pressed_before`, damit er den aktuellen Zustand für die nächste Iteration speichert.

Das reicht fürs Erste – der Button kann tatsächlich nicht mehr als das. Reicht aber auch: Damit können wir unserem Dimmer schon einen zusätzlichen Mehrwert verleihen. Schließlich kann unsere LED nicht nur weiß leuchten.

2.9 LED-Dimmer 3.0

Wäre es nicht praktisch, wenn wir das Licht der LED nicht nur dimmen, sondern auch den Farbton verändern könnten? Weißes Licht ist am Abend bekanntlich nicht empfehlenswert, ein wärmerer Farbton verbessert den Schlaf und grünes Licht soll beruhigend wirken.

Lasst uns unseren Dimmer so erweitern, dass per Knopfdruck der Farbton gewechselt werden kann. Fürs Erste wollen wir die Farben Weiß, Gelb und Grün anbieten. Das lässt sich später beliebig erweitern.

2.9.1 Farbe per Variable steuern

Der Ausgangspunkt für unser dimmbares Stimmungslicht ist der Dimmer aus Listing 2.1. Von hier aus fügen wir Schritt für Schritt die Logik für den Farbwechsel per Button ein. Lasst uns aber zunächst ganz ohne Button versuchen, die Farbe der LED zu ändern.

Bisher haben wir es uns einfach gemacht und die LED in Weiß leuchten lassen. Dazu mussten wir nur jeden der drei RGB-Farbkanäle auf den gleichen Wert setzen. Wenn wir neben Weiß auch Gelb und Grün anbieten wollen, müssen wir die Farbkanäle unterschiedlich ansteuern. Für Gelb setzen wir den roten und den grünen Kanal auf den gleichen Wert, während der blaue Kanal auf 0 bleibt. Für Grün setzen wir den grünen Kanal auf den gleichen Wert und die anderen beiden auf 0. Um so eine Logik umzusetzen, haben wir das passende Instrument bereits in unserem Werkzeugkasten: Kontrollstrukturen.

Nehmen wir mal an, wir hätten eine Variable `color`, auf der die aktuelle Farbe gespeichert ist, in der die LED leuchten soll. Sie könnte also die Werte “white”, “yellow” oder “green” annehmen. Dann könnten wir mit `if`-Statements die notwendige Logik umsetzen:

```
if color == "white":
    led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)
if color == "yellow":
    led.set_rgb_value(brightness, brightness, 0)
```

```
if color == "green":
    led.set_rgb_value(0, brightness, 0)
```

Erinnert euch, dass der Code nach einem `if` nur dann ausgeführt wird, wenn die vorangegangene Bedingung erfüllt ist. Da die Variable `color` zu einem Zeitpunkt nur einen der drei Werte annehmen kann, muss genau eine der drei Bedingungen erfüllt sein und alle anderen entsprechend nicht.

Wenn wir jetzt zu Beginn unseres Programms `color` auf einen der drei Werte setzen, können wir die Logik schnell mal testen:

```
color = "white"

if color == "white":
    led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)
if color == "yellow":
    led.set_rgb_value(brightness, brightness, 0)
if color == "green":
    led.set_rgb_value(0, brightness, 0)
```

Alles sollte so sein wie zuvor, die LED leuchtet weiß.

```
color = "yellow"
```

Jetzt sollte beim Start des Programms die LED gelb leuchten. Dasselbe probiert mal mit "green" aus, das dürfte auch funktionieren.

2.9.2 Farbe per Knopfdruck ändern

Die aktuelle Farbe in einer Variable zu speichern ist eine gute Idee gewesen. Darauf können wir aufbauen und den Button für den Wechsel der Farbe nutzen. Aber wie?

Zunächst erinnern wir uns an die Logik aus Listing 2.2, in dem wir den Button bereits aus einem Programm heraus getestet haben. Dort haben wir eine Logik gebastelt, die erkennt, wenn der Button gedrückt und wieder losgelassen wird. Wenn das der Fall war, wurde der Wert "Button gedrückt" auf der Konsole ausgegeben. Könnten wir diese Logik nicht verwenden, um statt etwas auszugeben einfach die Farbe zu wechseln?

Natürlich können wir das. Passen wir den Code entsprechend an:

```
button_pressed_before = False
while True:
    button_pressed_after = knob.is_pressed()

    if button_pressed_before == True and button_pressed_after == False:
        if color == "white":
            color = "yellow"
        elif color == "yellow":
            color = "green"
        elif color == "green":
            color = "white"

    button_pressed_before = button_pressed_after
```

Wieder ein Haufen voller `if`s - wir sprechen auch von verschachtelten `if`s - aber es sollte funktionieren. Gehen wir es einmal durch: Wenn der Button losgelassen wurde, also das erste `if` in Zeile 5 `True` zurückgibt, gelangen wir zur Prüfung des `if`-Statements auf zweiter Ebene. Hier wird im ersten Fall geprüft, ob die LED gerade Weiß leuchtet (`color == "white"`, Zeile 6). Ist das der Fall, dann wechseln wir jetzt auf Gelb. Im zweiten Schritt sehen wir ein `elif` (Zeile 8), das sehr ähnlich zu einem `if` ist, mit der Einschränkung, dass es nur überhaupt geprüft wird, wenn das vorherige `if` nicht schon wahr war. Das macht in diesem Fall einen großen Unterschied (im Vergleich zu weiter oben, als wir einfache `if`-Statements verwendet haben, um die Farbe der LED mit `set_rgb_color` zu setzen). Überlegt mal, was passieren würde, wenn wir hier folgenden Code einsetzen würden:

```
if color == "white":
    color = "yellow"
if color == "yellow":
    color = "green"
if color == "green":
    color = "white"
```

Geht das mal im Kopf durch. Wenn `color` aktuell den Wert `white` hat, dann wird durch das erste `if` der Wert auf `yellow` gesetzt. Anschließend wird das zweite `if` geprüft, das jetzt wahr ist, und der Wert wird auf `green` gesetzt. Das dritte `if` wird dann also ebenfalls wahr sein, und der Wert wird wieder auf `white` gesetzt. Im Endeffekt haben wir also nichts gewonnen, die LED bliebe weiß. Hier ist die Verwendung von `elif` entscheidend. Denn ein `elif` wird nur geprüft, wenn das vorherige `if` oder `elif` nicht wahr war. Nach der ersten Anpassung wäre hier also Schluss und die Farbe ist wie gewünscht Gelb.

Fügen wir alles zusammen - die neue Logik zum setzen der Farben basierend auf der Varible `color`und die Logik zum Ändern der Variable, sowie die Logik des Dimmers aus Listing 2.1:

Schaut euch den Code in Ruhe an und prüft, ob ihr ihn Zeile für Zeile nachvollziehen könnt. An dieser Stelle hat unser Programm schon eine beträchtliche Größe angenommen, und so langsam wird es unübersichtlich. Versuchen wir also, Struktur hineinzubringen. Im Wesentlichen besteht das Programm aus drei Teilen, jeden habe ich mit einem vorangestellten Kommentar markiert:

1. Hauptschleife, um das Programm am Laufen zu halten
2. Logik für Farbwechsel bei Tastenfreigabe
3. Logik zur Helligkeitsanpassung

In der Hauptschleife wird am Anfange immer wieder der aktuelle Zählerstand und der Zustand des Buttons abgefragt und auf jeweils einer Variable gespeichert. Diese Werte benötigen wir, um zu entscheiden, ob wir die Farbe ändern oder die Helligkeit anpassen müssen.

Um einen potenziellen Farbwechsel kümmert sich der zweite Block, der mit dem `if button_pressed_before == True ...` beginnt. Die Bedingung prüft, ob der Button gerade aus dem gedrückten Zustand in den nicht gedrückten Zustand wechselt, der Benutzer ihn also gerade losgelassen hat. In diesem Moment soll die Farbe gewechselt werden. Die Logik dafür haben wir gerade entwickelt.

Um die Helligkeitsanpassung kümmert sich dann der dritte und letzte größere Block. Er beginnt mit `if new_count != last_count`, was prüft, ob der Drehknop betätigt wurde. Wenn ja, dann wird die Helligkeit entsprechend der Differenz angepasst. Diese Logik haben wir in Abschnitt 2.7 zusammen entwickelt.

Wer von euch jetzt ganz genau hinsieht, der erkennt, dass die Blöcke 2 und 3 zum Teil identischen Code ausführen. In der Programmierung ist das eine rote Flagge ! Lasst uns darüber sprechen, warum!

2.10 Funktionen

In der Programmierung möchten wir Wiederholungen um jeden Preis vermeiden. Wir sprechen auch vom DRY-Prinzip, was für *Don't Repeat Yourself* steht. Wenn wir feststellen, dass wir denselben Code an mehreren Stellen verwenden, sollten wir darüber nachdenken, etwas zu verändern. Warum? Und was?

Nehmen wir in unserem Beispiel an, wir führen eine vierte Farbe ein, sagen wir Blau. Dann müssten wir den Code in den Blöcken 2 und 3 anpassen, um die neue Farbe zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass wir den gleichen Code an mehreren Stellen ändern müssten, was fehleranfällig und mühsam ist. Zwei mag noch nicht nach einem Problem klingen, aber selbst hier zeigt sich das Problem der Wiederholung. Wird eine Stelle vergessen, ist der Code inkonsistent und funktioniert nicht mehr wie gewünscht.

Die Lösung liegt darin, häufig verwendeten Code in Funktionen auszulagern. Funktionen sind ein mächtiges Werkzeug in der Programmierung. Sie ermöglichen es uns, Codeblöcke zu definieren, die wir immer wieder verwenden können, ohne sie jedes Mal neu schreiben zu müssen. Funktionen helfen uns dabei, unseren Code sauberer, übersichtlicher und wartbarer zu gestalten.

Im Listing 2.3 wird dieser Teil an zwei Stellen wiederholt:

```
if color == "white":
    led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)
if color == "yellow":
    led.set_rgb_value(brightness, brightness, 0)
if color == "green":
    led.set_rgb_value(0, brightness, 0)
```

Zeit, diesen Code nur einmal zu schreiben! Machen wir daraus eine Funktion. Wie das geht? Im Prinzip müssen wir vier Dinge klären:

1. Was soll die Funktion tun?
2. Wie sieht das Ergebnis aus?
3. Was benötigt die Funktion, um ihre Aufgabe zu erledigen?
4. Wie heisst die Funktion?

```
def set_led_color(color, brightness):
    if color == "white":
        led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)
    if color == "yellow":
        led.set_rgb_value(brightness, brightness, 0)
    if color == "green":
        led.set_rgb_value(0, brightness, 0)
```

In Listing 2.4 seht ihr den fertigen Code für den Dimmer mit Farbwechsel per Knopfdruck.

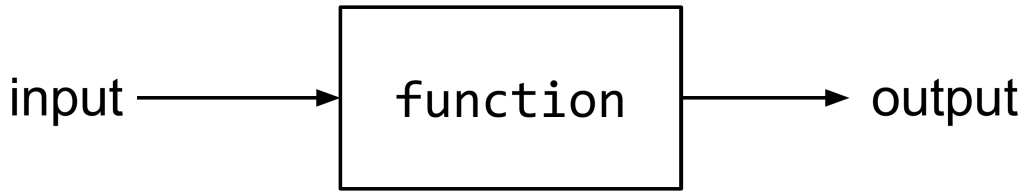


Abbildung 2.14: Funktionen folgen einem Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe (EVA) Schema.

Listing 2.3 Farbwechsel und Helligkeitsanpassung in einem Programm.

```
button_pressed_before = False

# 1. Main loop to keep program running
while True:
    new_count = knob.get_count(reset=False)
    button_pressed_after = knob.is_pressed()

    # 2. Logic for color change on button release
    if button_pressed_before == True and button_pressed_after == False:
        if color == "white":
            color = "yellow"
        elif color == "yellow":
            color = "green"
        elif color == "green":
            color = "white"

        # Update LED to reflect new color
        if color == "white":
            led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)
        if color == "yellow":
            led.set_rgb_value(brightness, brightness, 0)
        if color == "green":
            led.set_rgb_value(0, brightness, 0)

    button_pressed_before = button_pressed_after

    # 3. Logic for brightness adjustment
    if new_count != last_count:
        diff = new_count - last_count
        last_count = new_count

        # Adjust brightness
        brightness += diff * STEP
        brightness = max(0, min(255, brightness))

        # Update LED to reflect new color
        if color == "white":
            led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)
        if color == "yellow":
            led.set_rgb_value(brightness, brightness, 0)
        if color == "green":
            led.set_rgb_value(0, brightness, 0)

        print(f"Brightness / Counter: {brightness} / {new_count}")
```

Listing 2.4 Der fertige Dimmer mit Farbwechsel per Knopfdruck.

```
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_rotary_encoder_v2 import BrickletRotaryEncoderV2
from tinkerforge.bricklet_rgb_led_v2 import BrickletRGBLEDV2

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect("localhost", 4223)
knob = BrickletRotaryEncoderV2("<YOUR_ROTARY_UID>", ipcon)
led = BrickletRGBLEDV2("<YOUR_LED_UID>", ipcon)

knob.reset()
brightness = 0
STEP = 10
led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)
last_count = 0

color = "white"
button_pressed_before = False

def set_led_color(color, brightness):
    if color == "white":
        led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)
    if color == "yellow":
        led.set_rgb_value(brightness, brightness, 0)
    if color == "green":
        led.set_rgb_value(0, brightness, 0)

while True:
    new_count = knob.get_count(reset=False)
    button_pressed_after = knob.is_pressed()

    # If button changes from pressed to not pressed
    if button_pressed_before == True and button_pressed_after == False:
        if color == "white":
            color = "yellow"
        elif color == "yellow":
            color = "green"
        elif color == "green":
            color = "white"

        print(f"Color changed to: {color}")
        set_led_color(color, brightness)

    button_pressed_before = button_pressed_after

    if new_count != last_count:
        diff = new_count - last_count
        last_count = new_count

        # Adjust brightness
        brightness += diff * STEP
        brightness = max(0, min(255, brightness))
```

3 Texte

Zusammenfassung

Im dritten Kapitel basteln wir ein universelles Eingabegerät für Informationen. Dafür verwenden wir einen Infrarot-Abstandssensor, mit dem wir Bits kodieren können. Diese Bits könnten dann etwa Texte repräsentieren. Oder ganz andere Dinge.

Der Weg dahin führt über folgende Schritte:

#	Was?	Wo?
1	Wir machen uns mit dem Infrarot-Abstandssensor vertraut.	Abschnitt 3.1
2	Wir bauen eine einfache Lichtschranke.	Abschnitt 3.2
3	Wir erweitern die Lichtschranke zu einer Hinderniserkennung für Roboter.	Abschnitt 3.3
4	Wir erschaffen ein universelles Eingabegerät für Binärcodes.	Abschnitt 3.4
5	Wir geben den Binärcodes eine Bedeutung und übermitteln Texte.	Abschnitt 3.5
6	Wir schauen auf ein verbreitetes Codesystem für Texte: ASCII.	Abschnitt 3.6
7	Wir setzen den Infrarot-Abstandssensor in den LED-Dimmer ein.	Abschnitt 3.7

3.1 Experimentaufbau

3.1.1 Hardware

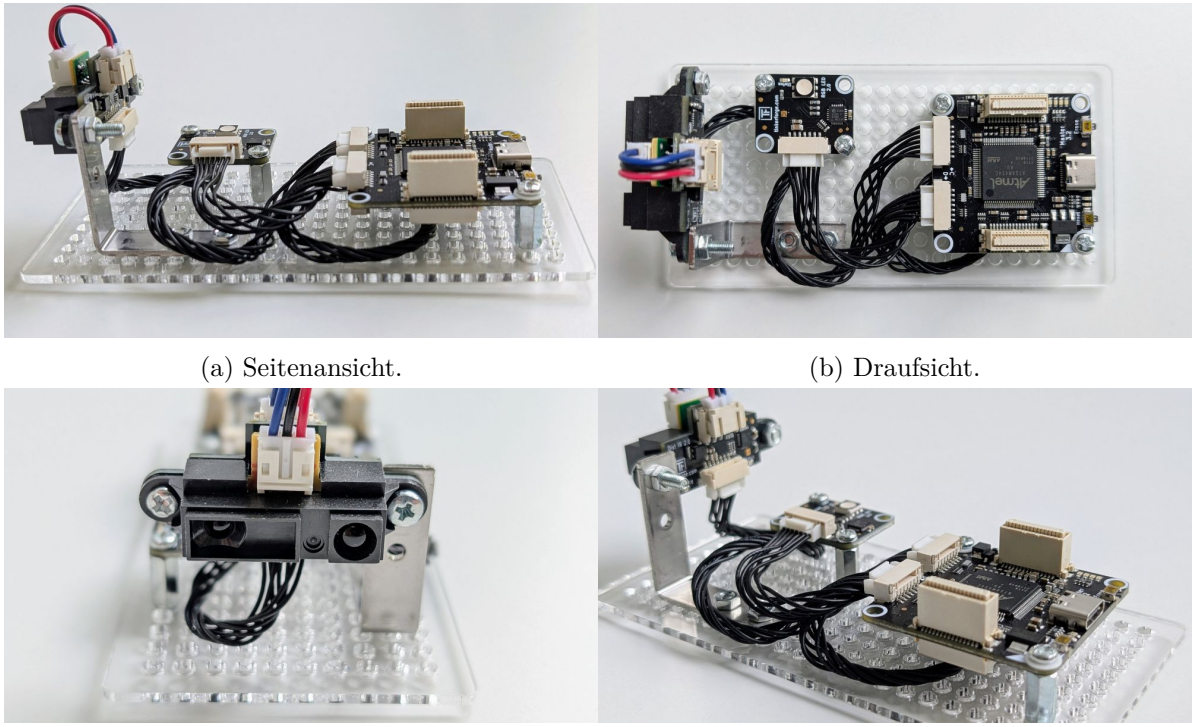
Für dieses Kapitel benötigen wir erneut die LED (RGB LED Bricklet 2.0), ersetzen aber den Drehknopf aus Kapitel 2 durch einen Infrarot-Abstandssensor (Distance IR 4-30cm Bricklet 2.0). Beide Geräte schließen wir an den Mikrocontroller (Master Brick 3.2) an und fixieren sie auf einer Montageplatte. Wie in der Abbildung gezeigt, befestigen wir den Abstandssensor mit einem Metallwinkel so, dass er bündig mit der Platte ist und nach vorn zeigt.

Die vollständige Hardwareliste für dieses Kapitel sieht so aus:

- 1 x Master Brick 3.2
- 1 x RGB LED Bricklet 2.0
- 1 x Distance IR 4-30cm Bricklet 2.0

- 1 x Montageplatte 22x10
- 2 x Brickletkabel 15cm (7p-7p)
- 2 x Befestigungskit 12 mm

Nutzt die Abbildung 3.1, um euren Aufbau zu kontrollieren.



(a) Seitenansicht.

(b) Draufsicht.

(c) Nahaufnahme des IR-Abstandssensors.

(d) Seitenansicht, leicht schräg.

Abbildung 3.1: Einfaches Setup mit einem Mikrocontroller, LED und einem Infrarot-Abstandssensor.

3.1.2 Erste Schritte mit dem Abstandssensor

Wie bei der LED werfen wir zuerst einen Blick auf den neuen Abstandssensor im Brick Viewer. Schließt dazu euren Master Brick per USB an, startet den Brick Viewer und klickt auf Connect. Im Tab Setup sollten nun neben der LED auch der Abstandssensor erscheinen. Denkt daran: Dort findet ihr auch die UID eurer Geräte – die braucht ihr gleich im Programm.

Wechselt in den Tab für den Abstandssensor, wo ihr ihn direkt testen könnt: Ihr seht die aktuelle Entfernung, die der Sensor misst, in Echtzeit oben in der Mitte (in Zentimetern). Darunter zeigt ein Kurvendiagramm den zeitlichen Verlauf. Bewegt eure Hand vor dem Sensor, um ein Gefühl für sein Verhalten zu bekommen. Was passiert, wenn ihr sehr nah vor dem Sensor seid? Und was, wenn ihr eure Hand weiter weg bewegt?

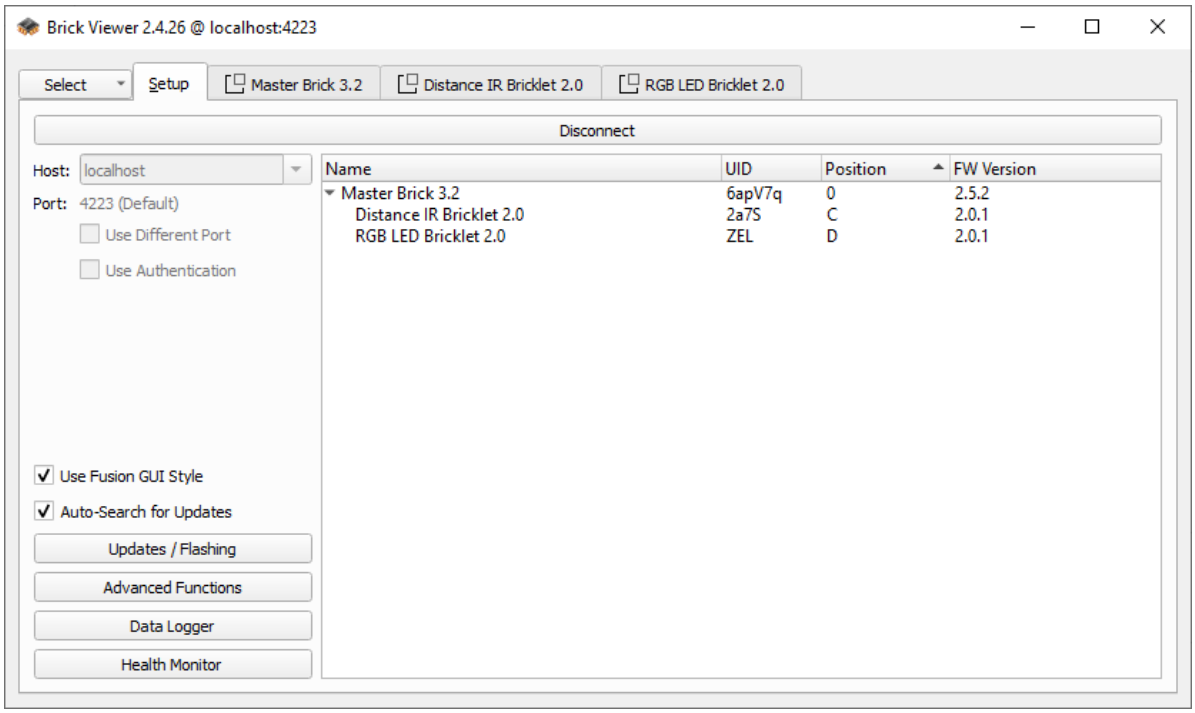


Abbildung 3.2: Nach erfolgreicher Verbindung erscheint der Infrarot-Entfernungsmesser in der Übersicht des Brick Viewers.

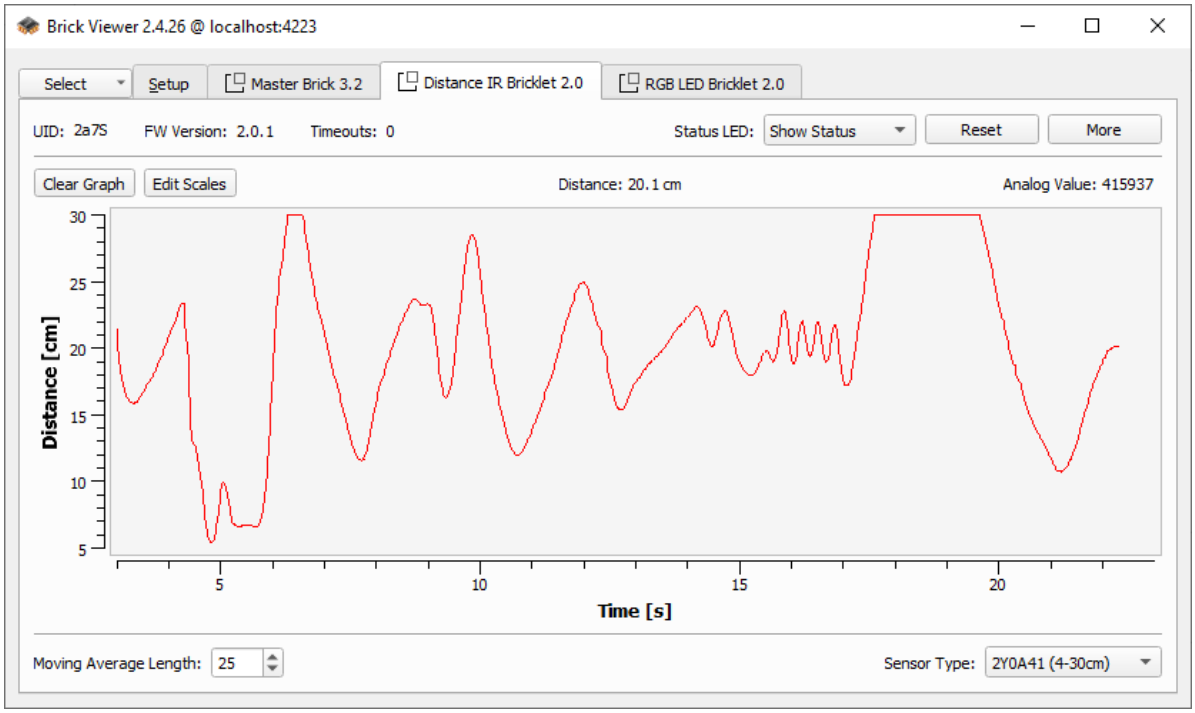


Abbildung 3.3: Der Brick Viewer zeigt die aktuelle Entfernung im Zeitverlauf an.

3.2 Lichtschranke

Einen Infrarot-Abstandssensor verwenden wir in der Praxis zur berührungslosen Messung des Abstands zu einem Objekt. Der Sensor sendet einen unsichtbaren Infrarotlichtstrahl aus und misst das Licht, das vom Objekt zurückgeworfen wird. Anhand der Intensität oder des Winkels des zurückkehrenden Lichts berechnet der Sensor die Entfernung. Diese Sensoren sind aus der Praxis nicht wegzudenken und kommen in vielen Szenarien zum Einsatz, zum Beispiel:

- Objekterkennung an einem Fließband
- Füllstandsmessung in Behältern
- Hinderniserkennung für Roboter, etwa bei Staubsaugerrobotern
- Positionierung von Werkstücken in Maschinen
- Einparkhilfe beim Auto

Letztlich lassen sich alle Anwendungsfälle auf zwei Fragen reduzieren:

1. Befindet sich ein Objekt in der Sicht des Sensors?
2. Wie weit ist ein Objekt vom Abstandssensor entfernt?

Wir starten mit der einfacheren der beiden Fragen: Befindet sich ein Objekt in der Sicht des Sensors? Das beschreibt im Kern die Funktion einer Lichtschranke.

Wie ihr beim Ausprobieren im Brick Viewer festgestellt habt, misst der Sensor Entfernungen zwischen 4 und 30 cm. Das bedeutet: Objekte außerhalb dieses Bereichs werden nicht erkannt – weder näher als 4 cm noch weiter als 30 cm. Eine Lichtschranke hat somit die Aufgabe zu prüfen, ob der IR-Abstandssensor einen Wert kleiner als 30 cm misst. Dann befindet sich ein Objekt in seiner Sichtlinie.

Verbinden wir uns mit dem Sensor und schreiben das notwendige Grundgerüst. Tragt eure UIDs ein und legt beide Bricklets an, Sensor und LED:

Listing 3.1 Boilerplate-Code für IR-Abstandssensor und RGB-LED

```
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_distance_ir_v2 import BrickletDistanceIRV2
from tinkerforge.bricklet_rgb_led_v2 import BrickletRGBLEDV2
import time

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect("localhost", 4223)

ir = BrickletDistanceIRV2("<YOUR_IR_UID>", ipcon)                    ①
led = BrickletRGBLEDV2("<YOUR_LED_UID>", ipcon)                      ②
```

① Tragt hier die UID eures IR-Sensors ein.
② Tragt hier die UID eurer RGB-LED ein.

Der Sensor ist danach in der Variablen `ir` gespeichert. Über sie können wir seine Funktionen aufrufen. Eine davon erlaubt uns das Auslesen des aktuell gemessenen Werts:

```
distance = ir.get_distance()
```

Ein Blick in die Dokumentation verrät, dass der Rückgabewert in Millimetern angegeben wird. Ein Wert an der oberen Grenze (rund 300 mm) signalisiert typischerweise, dass sich kein Objekt innerhalb der Reichweite befindet. Damit wir besser testen können, lesen wir den Wert kontinuierlich aus und schreiben ihn auf die Konsole:

```
while True:
    distance = ir.get_distance()
    print(f"Aktuelle Entfernung: {distance} mm")
```

Ihr werdet sehen, dass wir sehr viele Ausgaben erzeugen, weil in jedem Schleifendurchlauf der Wert ausgegeben wird – auch wenn er sich nicht verändert hat. Geben wir erneut nur die Veränderungen aus, um die Ausgaben zu reduzieren:

```
last_distance = 0
while True:
    distance = ir.get_distance()
    if distance != last_distance:
        print(f"Aktuelle Entfernung: {distance} mm")
        last_distance = distance
```

Ihr erinnert euch: Dasselbe Prinzip haben wir in Abschnitt 2.7 verwendet, um nur bei einer Änderung des Drehknopfs eine Ausgabe zu erzeugen. Wir merken uns den letzten Wert und vergleichen ihn mit dem aktuell gemessenen. Ist er gleich, passiert nichts. Hat er sich verändert (`distance != last_distance`), geben wir den neuen Wert aus und aktualisieren den letzten Wert (`last_distance = distance`).

Wir sind unserem Etappenziel einer Lichtschranke schon sehr nah. Anhand der Ausgabe könnten wir entscheiden, ob ein Objekt in der Sicht des Sensors ist oder nicht. Das soll aber unser Programm automatisch erledigen. Dazu fügen wir eine weitere Bedingung mit einer `if`-Anweisung hinzu:

```
last_distance = 0
while True:
    distance = ir.get_distance()
    if last_distance != distance:
        if distance < 300:
            print(f"Objekt erkannt: {distance} mm")
        else:
            print("Kein Objekt in Reichweite")

        last_distance = distance
```

Die neue `if`-Anweisung prüft, ob der Abstand kleiner als 300 mm ist. Dann befindet sich etwas vor dem Sensor. In diesem Fall geben wir einen entsprechenden Hinweis aus. Andernfalls kommt der Hinweis „Kein Objekt in Reichweite“. Diesen anderen Fall bildet der optionale `else`-Teil ab. Code hinter `else` wird immer dann ausgeführt, wenn keine der vorher definierten Bedingungen über `if` oder `elif` zutrifft.

Damit unsere Lichtschranke auch ohne Blick auf die Konsole funktioniert, bringen wir im letzten Schritt die LED ins Spiel. Sie soll rot aufleuchten, wenn ein Objekt erkannt wird. Die LED haben wir bereits kennengelernt, den Code können wir übernehmen:

```
last_distance = 0
while True:
    distance = ir.get_distance()
```

```
    if last_distance != distance:
        if distance < 300:
            print(f"Objekt erkannt: {distance} mm")
            led.set_rgb_value(255, 0, 0)                                    ①
        else:
            print("Kein Objekt in Reichweite")
            led.set_rgb_value(0, 0, 0)                                      ②

        last_distance = distance
```

① Die LED leuchtet rot, wenn ein Objekt erkannt wird.
② Die LED schaltet sich aus, wenn kein Objekt mehr erkannt wird.

Probiert es aus – die Lichtschranke sollte funktionieren und Objekte innerhalb von 30 cm zuverlässig erkennen.

3.3 Hinderniserkennung

Die Lichtschranke leuchtet immer rot, sobald ein Objekt erkannt wird. Dabei spielt die Entfernung keine Rolle. Lasst uns die Idee zu einer Hinderniserkennung für einen hypothetischen Staubsaugerroboter erweitern. Die LED soll anzeigen, ob sich ein Objekt bereits nahe am Roboter befindet oder ob es noch weit genug entfernt ist.

Nehmen wir an, dass Objekte, die 17 cm oder näher am Roboter sind, als Gefahr gelten. Alles, was zwischen 17 und 30 cm Abstand hält, sieht der Roboter nicht als bedrohlich an. Die drei Zustände wollen wir über die Farbe der LED abbilden:

- Gelb: Objekt in mittlerer Entfernung erkannt (17 cm < Abstand < 30 cm)
- Rot: Nahes Objekt erkannt (<= 17 cm)
- Aus: Kein Objekt vor dem Sensor (>= 30 cm)

Wir können dazu den Code der Lichtschranke erweitern:

① Die LED leuchtet gelb, wenn ein Objekt in mittlerer Entfernung erkannt wird.
② Die LED leuchtet rot, wenn ein Objekt in naher Entfernung erkannt wird.
③ Die LED schaltet sich aus, wenn kein Objekt mehr erkannt wird.

Ihr erinnert euch an die additive Farbmischung aus Abbildung 1.6a? Gelb entsteht durch die Kombination von Rot und Grün. Wir verwenden hier eine `elif`-Anweisung, die eine weitere Bedingung prüft, wenn die vorherige `if`-Bedingung nicht zutrifft. So können wir mehrere Bedingungen hintereinander prüfen. Der letzte `else`-Teil fängt alle Fälle ab, in denen kein Objekt erkannt wurde.

Listing 3.2 Der Code für die zweistufige Hinderniserkennung.

```
last_distance = 0
while True:
    distance = ir.get_distance()
    if last_distance != distance:
        if distance > 170 and distance < 300:
            led.set_rgb_value(255, 255, 0)                    ①
        elif distance <= 170:
            led.set_rgb_value(255, 0, 0)                      ②
        else:
            led.set_rgb_value(0, 0, 0)                        ③

        last_distance = distance
```

Unser Staubsaugerroboter könnte den Code oben verwenden, um Hindernisse zu erkennen und bei zu großer Nähe ein Ausweichmanöver zu starten.

3.4 Universelles Eingabegerät

Eine andere Möglichkeit, den Abstandssensor und den Code aus Listing 3.2 zu verwenden, ist ein Eingabegerät für Informationen in unseren Computer. Wie soll ein Abstandssensor als Eingabegerät für Informationen fungieren?

Wie wir später noch sehen werden, benötigen wir für die Darstellung von Informationen unterschiedliche Zustände – mindestens zwei. Genau das verkörpert das Bit, das wir in Abschnitt 2.6 kennengelernt haben: Ein Bit hat zwei Zustände, an oder aus, 0 oder 1.

Was wäre, wenn wir die beiden Bereiche „nah“ und „weit genug entfernt“ nicht länger als Entfernungen interpretieren, sondern einfach als zwei Zustände? Sagen wir, der Bereich „weit genug entfernt“ steht für die 1 und der Bereich „nah“ für die 0. Dann könnten wir über die bewusste Platzierung eines soliden Gegenstands und anschließende Messung der Entfernung den Zustand eines Bits kodieren:

```
last_distance = 0
while True:
    distance = ir.get_distance()
    if last_distance != distance:
        if distance > 170 and distance < 300:
            print("1")
        elif distance <= 170:
```

```
            print("0")

        last_distance = distance
```

Wenn ihr den Code ausführt, werdet ihr ein Problem erkennen: Platzieren wir unsere Hand nahe am Sensor, um eine 0 zu kodieren, gibt das Programm nacheinander sehr viele Nullen aus. Dasselbe gilt für Einsen. Dabei wollen wir mit einer Handgeste jeweils nur eine 1 oder 0 übermitteln, nicht eine ganze Reihe. Das liegt daran, dass sich unsere Hand ständig minimal bewegt – ein Millimeter reicht.

Wir müssen unser Programm so anpassen, dass es nicht erneut auf eine Änderung reagiert, solange die Hand nicht wieder weggenommen wurde. Das erkennen wir daran, dass der Sensor die maximale Entfernung von 30 cm misst. Erst wenn dieses Ereignis wieder auftritt, soll ein neuer Zustand kodiert werden.

Eine Lösung besteht darin, dass wir uns merken, ob unser Eingabegerät aktuell empfangsbereit ist oder nicht. Wir führen dafür die Variable `receiving` ein, die den Zustand unseres Eingabegeräts beschreibt. Ist sie `True`, ist das Gerät bereit, eine Eingabe zu empfangen. Ist sie `False`, ignorieren wir alle Änderungen, bis die Hand wieder weggenommen wurde.

```
last_distance = 0
receiving = False
while True:
    distance = ir.get_distance()
    if last_distance != distance:

        if receiving:                                                    ①
            if distance > 170 and distance < 300:
                print(f"1 bei {distance} mm")
                receiving = False
            elif distance <= 170:
                print(f"0 bei {distance} mm")
                receiving = False
        else:                                                            ②
            if distance >= 300:
                receiving = True                                         ③
                print("Bereit für den nächsten Code")

        last_distance = distance
```

① Nur im Empfangsmodus wird anhand der Entfernung ein Bit kodiert.
② Wenn wir nicht im Empfangsmodus sind, prüfen wir, ob die Hand wieder weggenommen wurde (>= 30 cm).

③ Wenn die Hand weg ist, schalten wir wieder in den Empfangsmodus.

Das sieht schon gut aus. Probiert aber einmal aus, eure Hand sehr langsam von oben nach unten vor den Sensor zu bewegen, und zwar im nahen Bereich, sodass eigentlich eine 0 kodiert werden sollte. In manchen Fällen erkennt das Programm fälschlicherweise eine 1 statt der 0. Warum ist das so? Der Sensor hat bei der Messung eine leichte zeitliche Verzögerung. Wenn er aktuell 30 cm Abstand misst und wir unsere Hand langsam nach unten bewegen, misst der Sensor zunächst einen Abstand knapp unter 30 cm. Das Programm reagiert sofort und kodiert eine 1, obwohl wenig später der Sensorwert in den Bereich der 0 kommt (zum Beispiel 8 cm).

Wir können das Problem umgehen, indem wir einen kleinen Verzug einbauen, sobald ein Unterschied erkannt wurde. Nach diesem zeitlichen Verzug messen wir erneut, um sicherzugehen, die korrekte Position der Hand zu erwischen. So könnte das im Code aussehen:

```
last_distance = 0
receiving = False
while True:
    distance = ir.get_distance()
    if last_distance != distance:

        # 100 ms warten und erneut messen
        time.sleep(0.1)
        distance = ir.get_distance()

        if receiving:
            if distance > 170 and distance < 300:
                print(f"1 bei {distance} mm")
                receiving = False
            elif distance <= 170:
                print(f"0 bei {distance} mm")
                receiving = False
        else:
            if distance >= 300:
                receiving = True
                print("Bereit für den nächsten Code")

        last_distance = distance
```

Testet es jetzt: Unser Eingabegerät erkennt die Zustände 0 und 1 zuverlässig.

3.5 Texte kodieren

Können wir unser universelles Eingabegerät dazu verwenden, dem Computer Texte zu diktieren? Schließlich bedeutet „universell“, dass es für viele Zwecke einsetzbar ist. Und die Antwort lautet: ja! Wenn wir ein Gerät entwickeln, mit dem wir Bits kodieren können, können wir damit alles eingeben, was ein Computer darstellen kann.

In Kapitel 2 haben wir gesehen, wie wir mit 8 Bits den Wert einer der drei Grundfarben im RGB-Code darstellen können. Wenn wir unser Eingabegerät einsetzen, um hintereinander 24 Bits zu übermitteln und diese als einen RGB-Farbcode zu interpretieren, könnten wir damit unsere LED in einer beliebigen Farbe aufleuchten lassen. Das versuchen wir später. Jetzt kümmern wir uns um eine ebenso wichtige Form der Information: Texte.

Texte bestehen allgemein aus Zeichen. Die meisten Zeichen in Texten sind Buchstaben, die wir in Klein- und Großbuchstaben unterscheiden. Dazu kommen Zahlen und Satzzeichen. Schaut auf das Keyboard eures Computers – dort findet ihr die meisten Zeichen, die ihr für Texte benötigt.

3.5.1 Wie viele Bits benötigen wir?

Genau wie bei den Farben, für die wir 24 Bits benötigen (jeweils 8 pro Farbe im RGB-Code), stellt sich bei Texten die Frage, wie viele Bits wir benötigen, um ein Zeichen darzustellen. Die Antwort hängt von der Anzahl der benötigten Zeichen ab.

Nähern wir uns von der anderen Seite und erweitern unseren Zeichencode Bit für Bit. Wir beginnen klein und fangen mit einem Bit an. Wenn wir Bits als Text interpretieren, wie viele Zeichen (oder Buchstaben) können wir dann mit einem einzigen Bit darstellen? Richtig: zwei!

```
last_distance = 0
receiving = False
while True:
    distance = ir.get_distance()
    if last_distance != distance:

        # 100 ms warten und erneut messen
        time.sleep(0.1)
        distance = ir.get_distance()

        if receiving:
            if distance > 170 and distance < 300:
                print("B")
                receiving = False
            elif distance <= 170:
```

```
                print("A")
                receiving = False
        else:
            if distance >= 300:
                receiving = True

        last_distance = distance
```

Lasst das Programm laufen und legt eure Hand einmal nahe vor den Sensor, dann zweimal weiter weg und wieder nah. Das habt ihr gerade geschrieben: „ABBA“.

Neben der bekannten schwedischen Band lassen sich mit den Buchstaben A und B jedoch nicht viele andere Wörter bilden. Wir sind also gut beraten, mindestens ein zweites Bit hinzuzunehmen. Die Anzahl Bits, die wir für einen Buchstaben benötigen, erhöht sich damit auf zwei. Wie bilden wir das im Programm ab?

Am einfachsten, indem wir uns die Bits zunächst merken, sie also hintereinander in eine Zeichenkette schreiben. Sobald eine vorher definierte Länge einer Nachricht – hier zunächst zwei Bits – erreicht ist, dekodieren wir die Bitfolge und erhalten den passenden Buchstaben. Danach geht es wieder von vorn los und unsere Bit-Zeichenkette ist wieder leer.

```
MESSAGE_LENGTH = 2                                                    ①
bits = ""                                                             ②
text = ""                                                             ③
last_distance = 0
receiving = False

while True:
    distance = ir.get_distance()
    if last_distance != distance:

        time.sleep(0.1)
        distance = ir.get_distance()

        if receiving:
            if distance > 170 and distance < 300:
                print("1")
                bits += "1"                                           ④
                receiving = False
            elif distance <= 170:
                print("0")
                bits += "0"                                           ⑤
                receiving = False
```

```
            if len(bits) == MESSAGE_LENGTH:                    ⑥
                print(f"Bits: {bits}")
                letter = decode_letter(bits)                   ⑦
                print(f"Buchstabe: {letter}")
                text += letter                                 ⑧
                print(f"Text: {text}")
                bits = ""                                      ⑨
        else:
            if distance >= 300:
                receiving = True

        last_distance = distance
```

① Die Länge einer Nachricht. So viele Bits müssen wir sammeln, bis wir die Nachricht entschlüsseln können.
② Wir erstellen eine leere Zeichenkette `bits`, in der wir jedes empfangene Bit speichern.
③ `text` sammelt die dekodierten Buchstaben zu einem Text.
④ Wir merken uns das Bit, indem wir es an das Ende von `bits` hinzufügen – hier eine „1“.
⑤ Dasselbe für eine „0“.
⑥ Wenn wir genug Bits zusammen haben, dekodieren wir die Bitfolge.
⑦ `decode_letter(bits)` wandelt die Bitfolge in einen Buchstaben um. Die Funktion implementieren wir gleich.
⑧ Wir fügen den Buchstaben dem bisherigen Text an.
⑨ Danach setzen wir die Bit-Zeichenkette zurück.

Direkt nach dem Start wartet das Programm darauf, dass ihr eure Hand vor den Sensor haltet. Jede erkannte Änderung wird nach 100 Millisekunden noch einmal gemessen, um den Wert zu stabilisieren. Befinden wir uns im Empfangsmodus (`receiving` ist `True`), schreiben wir je nach Abstand eine „1“ (weit) oder „0“ (nah) ans Ende der Zeichenkette `bits` und schalten den Empfang vorübergehend aus. Sobald die Länge von `bits` der erwarteten `MESSAGE_LENGTH` entspricht, rufen wir `decode_letter(bits)` auf, erhalten den passenden Buchstaben, hängen ihn an `text` an und leeren `bits`. Erst wenn der Sensor wieder mindestens 30 cm misst, schalten wir den Empfang erneut frei, damit die nächste Eingabe beginnen kann.

Okay – probieren wir es aus. Unser Programm sammelt das erste Bit, dann das zweite und dann…

```
NameError: name 'decode_letter' is not defined
```

Was ist das? Eine Fehlermeldung (wie sprechen auch von Bugs), die uns sagt: Die Funktion `decode_letter()` ist nicht definiert. Wir müssen sie also noch implementieren. Wir haben die

Funktion zwar schon namentlich genannt, aber es gibt nirgends eine Definition. Das holen wir jetzt nach.

Erinnert euch an Abschnitt 2.10: Wir müssen wissen, was die Funktion tun soll, was sie dafür benötigt und was sie zurückgibt. Einen Namen haben wir bereits: `decode_letter`.

Die Funktion soll unsere Zeichenkette voller Bits der Länge zwei, also so etwas wie "00", "01", "10" oder "11", in einen Buchstaben umwandeln. Die Eingabe ist `bits` und die Ausgabe ein Buchstabe, den diese Bitfolge kodiert. Unsere Funktion könnte so aussehen:

```
def decode_letter(bits):
    if bits == "00":
        return "A"
    elif bits == "01":
        return "B"
    elif bits == "10":
        return "C"
    elif bits == "11":
        return "D"
```

Mit einem `if`-Statement, begleitet von drei `elif`-Zweigen, prüfen wir, welchem der möglichen Werte die Zeichenkette `bits` entspricht, und geben einen Buchstaben A, B, C oder D zurück. Da es mit zwei Bits insgesamt vier Möglichkeiten gibt, können wir auch nur vier Buchstaben damit abbilden. Wir erweitern das weiter unten, damit wir alle Buchstaben des Alphabets abdecken können.

Tabelle 3.2: Unser aktuelles Codesystem für vier Buchstaben.

Bitfolge	Dezimalzahl	Buchstabe
00	0	A
01	1	B
10	2	C
11	3	D

Die Tabelle fasst unser Codesystem zusammen. In der zweiten Spalte haben wir zur Bitfolge die entsprechende Dezimalzahl eingetragen. Erinnert euch: Das Binärsystem ist ein Stellenwertsystem wie jedes andere auch, nur eben zur Basis 2. Wie ihr die entsprechende Dezimalzahl zu einer Binärzahl errechnet, haben wir in Abschnitt 2.5.3 gelernt.

Fügen wir die Funktion in unser Programm ein. Wichtig ist: Eine Funktion muss vor ihrer Verwendung definiert sein.

```
MESSAGE_LENGTH = 2
bits = ""
text = ""
last_distance = 0
receiving = False

def decode_letter(bits):
    if bits == "00":
        return "A"
    elif bits == "01":
        return "B"
    elif bits == "10":
        return "C"
    elif bits == "11":
        return "D"

while True:
    distance = ir.get_distance()
    if last_distance != distance:

        time.sleep(0.1)
        distance = ir.get_distance()

        if receiving:
            if distance > 170 and distance < 300:
                print("1")
                bits += "1"
                receiving = False
            elif distance <= 170:
                print("0")
                bits += "0"
                receiving = False

            if len(bits) == MESSAGE_LENGTH:
                print(f"Bits: {bits}")
                letter = decode_letter(bits)
                print(f"Buchstabe: {letter}")
                text += letter
                print(f"Text: {text}")
                bits = ""
        else:
            if distance >= 300:
```

```
                receiving = True

        last_distance = distance
```

Cool, neben „ABBA“ können wir jetzt auch „ADAC“ schreiben. Wir wollen aber natürlich noch mehr, und bevor wir weiter Bit für Bit hinzufügen, überlegen wir, wie viele Bits wir eigentlich benötigen.

Es gibt 26 Buchstaben im Alphabet, und vielleicht wollen wir auch ein Leerzeichen kodieren. Die Unterscheidung zwischen Klein- und Großbuchstaben lassen wir an dieser Stelle einmal weg – sie wäre aber für ein praxistaugliches Codesystem wichtig. Somit sind es 27 Zeichen, die wir kodieren wollen. Mit jedem zusätzlichen Bit verdoppeln wir unsere Möglichkeiten, das haben wir in Abschnitt 2.6 gelernt. Rufen wir uns noch einmal die Tabelle in den Sinn, um zu erkennen, wie viele Bits wir benötigen.

Tabelle 3.3: Anzahl Bits und mögliche Kodierungen.

Anzahl Bits	Mögliche Kodierungen
1	$2^1 = 2$
2	$2^2 = 4$
3	$2^3 = 8$
4	$2^4 = 16$
5	$2^5 = 32$
6	$2^6 = 64$
7	$2^7 = 128$
8	$2^8 = 256$

Demnach reichen uns fünf Bits aus, denn damit können wir insgesamt 32 Kodierungen vornehmen. Wir hätten somit noch fünf freie Plätze, die wir vielleicht für Satzzeichen wie Punkt oder Komma verwenden.

Um das in unserem Programm zu reflektieren, müssen wir die Funktion `decode_letter` anpassen und gleichzeitig die Länge einer Nachricht auf 5 Bits erhöhen. Damit wir es etwas einfacher haben und die Buchstaben den Dezimalzahlen von 0–25 zuordnen können, wandeln wir die Bitfolge zuerst in eine Dezimalzahl um:

```
def decode_letter(bits):

    # In Dezimalzahl umwandeln
    decimal = int(bits, 2)                                                    ①

    if decimal == 0:
```

```
        return "A"
    elif decimal == 1:
        return "B"
    elif decimal == 2:
        return "C"
    elif decimal == 3:
        return "D"
    elif decimal == 4:
        return "E"
    ...
    elif decimal == 25:
        return "Z"
    else:
        return "?"
```

① Die Funktion `int` wandelt die Bitfolge in eine Dezimalzahl um. Der erste Parameter ist die Bitfolge als String, der zweite die Basis (hier 2 für Binärzahlen).

Für die Umwandlung der Bitfolge verwenden wir die Funktion `int()`, die uns später noch öfter begegnen wird. Sie wandelt Zeichenketten in ganze Zahlen um, und wenn wir als zweiten Parameter die Basis des Zahlensystems angeben, funktioniert das auch mit Binärzahlen.

Die Lösung funktioniert, allerdings ist sie nicht besonders elegant. Wir müssen für jeden Buchstaben einen eigenen `if`/`elif`-Zweig schreiben, was schnell unübersichtlich wird. Zudem wird unser Code extrem lang – im Codeblock oben deutet `...` bereits an, dass es noch viele weitere Buchstaben zwischen E und Z gibt. Glücklicherweise geht das eleganter, und zwar mit einem Wörterbuch.

3.5.2 Wörterbücher

Ein Dictionary (deutsch: Wörterbuch) ist in der Programmierung eine Sammlung von Schlüssel-Wert-Paaren. Über einen Schlüssel – zum Beispiel eine Zahl – greifen wir direkt auf den zugehörigen Wert zu, etwa einen Buchstaben. Stellt euch das wie ein Telefonbuch vor, bei dem ihr über den Namen die Nummer herausfindet. Das ist ideal, wenn wir Bitfolgen zuerst in Dezimalzahlen umwandeln und dann schnell den passenden Buchstaben nachschlagen möchten. Statt viele `if`/`elif`-Zweige zu schreiben, legen wir einmalig eine Nachschlagetabelle an. Das macht den Code kürzer, übersichtlicher und leichter erweiterbar.

Für unsere Zeichendekodierung können wir ein Dictionary nutzen, das die Dezimalwerte 0–25 auf „A“–„Z“ abbildet und zum Beispiel 26 als Leerzeichen reserviert. Damit wird `decode_letter` deutlich kompakter und leichter zu pflegen.

```
# Nachricht auf 5 Bits erweitern
MESSAGE_LENGTH = 5

# Dictionary mit 0-25 => A-Z und 26 => Leerzeichen
SYMBOLS = {}                                                    ①
SYMBOLS[0] = "A"                                                ②
SYMBOLS[1] = "B"
SYMBOLS[2] = "C"
SYMBOLS[3] = "D"
SYMBOLS[4] = "E"
...
SYMBOLS[25] = "Z"
SYMBOLS[26] = " "

def decode_letter(bits):
    decimal = int(bits, 2)
    return SYMBOLS.get(decimal, "?")
```

① Mit geschweiften Klammern erzeugen wir ein leeres Dictionary.
② Mit den eckigen Klammern können wir einem Schlüssel einen Wert zuweisen. Wenn es den Eintrag nicht gibt, wird er neu angelegt. Andernfalls wird er überschrieben.

Wenn ihr später weitere Zeichen (z. B. Punkt oder Komma) ergänzen wollt, könnt ihr sie einfach hinzufügen:

```
SYMBOLS[27] = ","
SYMBOLS[28] = "."
```

Wie ihr an der Schreibweise von `SYMBOLS` erkennen könnt, handelt es sich um eine Konstante. Logisch, schließlich verändert sich unser Codesystem für die Symbole im Verlauf des Programms nicht. Wir initialisieren ein leeres Dictionary mit geschweiften Klammern (Zeile 5). Die Zuweisung der Werte erfolgt dann über die eckigen Klammern, wobei in den eckigen Klammern der Schlüssel (englisch: Key) steht und der Wert, den wir dem Schlüssel zuweisen möchten, hinter dem Gleichheitszeichen folgt.

Prinzipiell könnten wir mit den eckigen Klammern auch Werte abfragen. Wenn wir zum Beispiel `SYMBOLS[0]` schreiben, erhalten wir den Wert "A" zurück. Wenn wir einen Schlüssel abfragen, der nicht existiert, bekommen wir jedoch einen Fehler. Eine bessere Möglichkeit zum Abfragen von Werten bietet daher die `get()`-Methode. Sie liefert den Wert für den Schlüssel zurück, den wir als erstes Argument übergeben. Wenn dieser Schlüssel nicht existiert, bekommen wir den Wert `None` zurück, was robuster ist, als wenn das Programm mit einem Fehler

abbräche. Zudem können wir als zweites Argument einen Standardwert angeben, der zurückgegeben wird, wenn der Schlüssel nicht existiert. In unserem Fall ist das ein Fragezeichen "?", das signalisiert, dass die Bitfolge keinem bekannten Buchstaben zugeordnet werden kann.

Überprüft euch selbst: Welcher Wert kommt bei folgendem Aufruf zurück?: `SYMBOLS.get(5)`

> **Tipp**
>
> Das Codebeispiel aus diesem Abschnitt findet ihr auf GitHub.
> Klont das Repository und öffnet den Ordner in eurem Visual Studio Code, um es schnell ausführen zu können.

3.6 ASCII-Code

Im vorigen Abschnitt haben wir zusammen überlegt, wie wir Texte kodieren und als Bitfolge über ein universelles Eingabegerät basierend auf einem IR-Abstandssensor übertragen können. Ziemlich cool, findet ihr nicht? Dabei haben wir jedem Buchstaben eine eindeutige Bitfolge zugewiesen und sind letztlich auf unser eigenes 5-Bit-Kodierungssystem gekommen.

Weil eine der ersten Anwendungen mit dem Computer die Verarbeitung von Texten war, haben sich darüber, wie man Texte kodieren kann, schon andere sehr schlaue Leute Gedanken gemacht. Das Ergebnis ist der ASCII-Code, den es seit den 1960er-Jahren gibt und der weltweit standardisiert ist.

Der ASCII-Code basiert auf sieben Bits und kann somit 128 verschiedene Symbole verwalten. Die vollständige Liste an Symbolen seht ihr in Abbildung 3.4. Die Tabelle enthält fünf Spalten, wobei die ersten vier den Zahlencode für das kodierte ASCII-Zeichen in unterschiedlichen Zahlensystemen angeben. Ganz links seht ihr die Dezimalzahl, daneben die Binärdarstellung. Zusätzlich wird noch die Oktalzahl und die Hexadezimalschreibweise mit angezeigt. Oktal kennen wir bereits, was es mit Hexadezimal auf sich hat, lernen wir später in Kapitel 4.

Wenn ihr genau hinseht, erkennt ihr, dass die Binärzahl nicht aus 7, sondern aus 8 Bits besteht. Die erste Ziffer ganz links ist aber immer 0. Das liegt daran, dass Computer in 8-Bit-Einheiten, also in Bytes, denken. Auch der Speicher eines Computers ist so organisiert. Deshalb benötigt ein ASCII-Symbol in der Praxis statt sieben, acht Bits auf unserem Computer.

Was passiert mit dem vermeintlich „verschwendeten" Bit? Damit könnten wir doch immerhin 128 weitere Symbole abbilden. Und das wird auch gemacht: Es gibt verschiedene lokale Erweiterungen des ASCII-Codes, die zusätzliche Zeichen definieren. Für den deutschen Sprachraum etwa die Umlaute ä, ö, ü und das scharfe S (ß). Für andere Sprachen gibt es ähnliche Erweiterungen. Wir nennen diese Erweiterungen auch Codepages.

Die Codepage, die wir üblicherweise verwenden, nennt sich Windows-1252 (CP-1252) und ist eine Erweiterung des ASCII-Codes, die 256 Zeichen umfasst. Die ersten 128 Zeichen sind

identisch mit dem ASCII-Code, die weiteren 128 enthalten zusätzliche Zeichen, die in westeuropäischen Sprachen benötigt werden.

Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII	Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII	Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII	Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII
0	00000000	000	00	NUL	32	00100000	040	20	SP	64	01000000	100	40	@	96	01100000	140	60	`
1	00000001	001	01	SOH	33	00100001	041	21	!	65	01000001	101	41	A	97	01100001	141	61	a
2	00000010	002	02	STX	34	00100010	042	22	"	66	01000010	102	42	B	98	01100010	142	62	b
3	00000011	003	03	ETX	35	00100011	043	23	#	67	01000011	103	43	C	99	01100011	143	63	c
4	00000100	004	04	EOT	36	00100100	044	24	$	68	01000100	104	44	D	100	01100100	144	64	d
5	00000101	005	05	ENQ	37	00100101	045	25	%	69	01000101	105	45	E	101	01100101	145	65	e
6	00000110	006	06	ACK	38	00100110	046	26	&	70	01000110	106	46	F	102	01100110	146	66	f
7	00000111	007	07	BEL	39	00100111	047	27	'	71	01000111	107	47	G	103	01100111	147	67	g
8	00001000	010	08	BS	40	00101000	050	28	(	72	01001000	110	48	H	104	01101000	150	68	h
9	00001001	011	09	HT	41	00101001	051	29	)	73	01001001	111	49	I	105	01101001	151	69	i
10	00001010	012	0A	LF	42	00101010	052	2A	*	74	01001010	112	4A	J	106	01101010	152	6A	j
11	00001011	013	0B	VT	43	00101011	053	2B	+	75	01001011	113	4B	K	107	01101011	153	6B	k
12	00001100	014	0C	FF	44	00101100	054	2C	,	76	01001100	114	4C	L	108	01101100	154	6C	l
13	00001101	015	0D	CR	45	00101101	055	2D	-	77	01001101	115	4D	M	109	01101101	155	6D	m
14	00001110	016	0E	SO	46	00101110	056	2E	.	78	01001110	116	4E	N	110	01101110	156	6E	n
15	00001111	017	0F	SI	47	00101111	057	2F	/	79	01001111	117	4F	O	111	01101111	157	6F	o
16	00010000	020	10	DLE	48	00110000	060	30	0	80	01010000	120	50	P	112	01110000	160	70	p
17	00010001	021	11	DC1	49	00110001	061	31	1	81	01010001	121	51	Q	113	01110001	161	71	q
18	00010010	022	12	DC2	50	00110010	062	32	2	82	01010010	122	52	R	114	01110010	162	72	r
19	00010011	023	13	DC3	51	00110011	063	33	3	83	01010011	123	53	S	115	01110011	163	73	s
20	00010100	024	14	DC4	52	00110100	064	34	4	84	01010100	124	54	T	116	01110100	164	74	t
21	00010101	025	15	NAK	53	00110101	065	35	5	85	01010101	125	55	U	117	01110101	165	75	u
22	00010110	026	16	SYN	54	00110110	066	36	6	86	01010110	126	56	V	118	01110110	166	76	v
23	00010111	027	17	ETB	55	00110111	067	37	7	87	01010111	127	57	W	119	01110111	167	77	w
24	00011000	030	18	CAN	56	00111000	070	38	8	88	01011000	130	58	X	120	01111000	170	78	x
25	00011001	031	19	EM	57	00111001	071	39	9	89	01011001	131	59	Y	121	01111001	171	79	y
26	00011010	032	1A	SUB	58	00111010	072	3A	:	90	01011010	132	5A	Z	122	01111010	172	7A	z
27	00011011	033	1B	ESC	59	00111011	073	3B	;	91	01011011	133	5B	[	123	01111011	173	7B	{
28	00011100	034	1C	FS	60	00111100	074	3C	<	92	01011100	134	5C	\	124	01111100	174	7C	|
29	00011101	035	1D	GS	61	00111101	075	3D	=	93	01011101	135	5D	]	125	01111101	175	7D	}
30	00011110	036	1E	RS	62	00111110	076	3E	>	94	01011110	136	5E	^	126	01111110	176	7E	~
31	00011111	037	1F	US	63	00111111	077	3F	?	95	01011111	137	5F	_	127	01111111	177	7F	DEL

Abbildung 3.4: Die ursprüngliche ASCII-Codetabelle kodiert die Symbole als 7-Bit-Binärzahlen

Der ASCII-Code – das steht für American Standard Code for Information Interchange – beinhaltet ein paar nette Eigenschaften. So können wir zum Beispiel einen Großbuchstaben in einen Kleinbuchstaben umwandeln, indem wir 32 zu seinem Dezimalcode addieren. Umgekehrt funktioniert das natürlich auch.

Für unsere Texteingabe über den IR-Abstandssensor bedeutet das: Wir benötigen überhaupt keinen eigenen Code, sondern können einfach den ASCII-Code verwenden. Allerdings müssen wir unsere Nachricht auf die Länge 7 erweitern, was mehr Aufwand bei der Eingabe macht. Dafür verwenden wir einen Standard. Argument genug – passen wir den Code an.

Die Änderungen finden im Wesentlichen in der Funktion `decode_letter()` statt. Zudem ändern wir den Wert der Konstante `MESSAGE_LENGTH`:

```
MESSAGE_LENGTH = 7 # Anzahl Bits pro Buchstabe

...

def decode_letter(bits):
    # Links eine 0 hinzufügen, damit es 8 Bits sind
```

```
    bits = "0" + bits

    # Binärstring in Dezimalzahl und dann in ASCII-Zeichen umwandeln
    decimal = int(bits, 2)
    return chr(decimal)
```

Die `decode_letter()`-Funktion fügt nun zunächst dem übergebenen Bit-String, der aus 7 Bits bestehen sollte, eine 0 an den Anfang hinzu. Damit haben wir die 8 Bits aus der ASCII-Tabelle in Abbildung 3.4 komplettiert. Anschließend erfolgt – wie zuvor – die Konvertierung von binär nach dezimal. Die wesentliche Änderung steht in der Zeile darunter: Wir geben das Ergebnis der Funktion `chr()` zurück, der wir den Dezimalwert unseres kodierten Symbols übergeben. Brauchen wir also kein Dictionary mehr?

Ganz genau! Es gibt bereits eine Funktion, die die passenden Symbole für Codes liefern kann. Wenn wir in die offizielle Dokumentation der Funktion `chr()` schauen, dann steht dort:

> Return the string representing a character with the specified Unicode code point. For example, `chr(97)` returns the string 'a', while `chr(8364)` returns the string '€'. This is the inverse of `ord()`.

Die Funktion gibt also die Repräsentation des Codes als Zeichen zurück. Aber was steht da? Mit dem angegebenen Unicode-Codepunkt? Was ist denn jetzt schon wieder Unicode? Wir haben doch gerade über ASCII gesprochen.

3.6.1 Unicode

Unicode ist ein internationaler Standard, der jedes Zeichen aus praktisch allen Schriftsystemen der Welt eindeutig beschreibt. Während ASCII nur 128 Symbole umfasst und damit vor allem die englische Sprache abdeckt, definiert Unicode einen gemeinsamen Zeichensatz mit weit über einer Million möglichen Codepunkten. Ein Codepunkt ist dabei eine Nummer, die einem Zeichen zugeordnet ist, zum Beispiel hat der Buchstabe „A“ den Codepunkt U+0041 und das Eurozeichen „€“ den Codepunkt U+20AC.

Wichtig ist die Unterscheidung zwischen Zeichensatz und Kodierung: Unicode ist der Zeichensatz (die Menge aller Zeichen mit ihren Codepunkten), während Formate wie UTF-8, UTF-16 oder UTF-32 beschreiben, wie diese Codepunkte als Bits und Bytes gespeichert oder übertragen werden. UTF-8 ist heute die am weitesten verbreitete Kodierung im Web. Sie ist variabel lang und hat eine zentrale Eigenschaft: Die ersten 128 Codepunkte (0–127) entsprechen exakt dem ASCII-Code. Dadurch ist UTF-8 vollständig rückwärtskompatibel zu ASCII. Eine reine ASCII-Datei ist zugleich gültiges UTF-8, und Funktionen wie `chr()` und `ord()` in Python arbeiten mit Unicode-Codepunkten. Wenn ihr also `chr(65)` aufruft, erhaltet ihr „A“ – das passt sowohl in ASCII als auch in Unicode. Für Zeichen außerhalb des ASCII-Bereichs verwendet UTF-8 mehr als ein Byte, bleibt aber weiterhin eindeutig und effizient.

UTF-8 verwendet je nach Zeichen unterschiedlich viele Bytes – zwischen einem und vier. Häufige Zeichen wie die ASCII-Buchstaben brauchen nur 1 Byte. Ein „A“ hat den Codepunkt U+0041 und wird in UTF-8 als 0x41 gespeichert. Zeichen mit Akzenten benötigen oft 2 Bytes, zum Beispiel „ä“ (U+00E4) als 0xC3 0xA4. Das Eurozeichen „€“ (U+20AC) braucht 3 Bytes: 0xE2 0x82 0xAC. Ein Emoji wie „ “ (U+1F60A) benötigt 4 Bytes: 0xF0 0x9F 0x98 0x8A.

Eine hilfreiche Analogie: Stellt euch UTF-8 wie einen Paketdienst mit vier Paketgrößen (S, M, L, XL) vor. Die meisten Sendungen (ASCII-Zeichen) passen in Größe S und sind damit sehr platzsparend. Für seltenere oder komplexere Zeichen wird automatisch eine größere Paketgröße gewählt. Am „Adressaufkleber“ – den ersten Bits des ersten Bytes – erkennt der Empfänger sofort, wie groß das Paket ist und wie viele Folgebytes er einlesen muss. So bleibt Text kompakt, und reine ASCII-Texte sind automatisch gültiges UTF-8.

Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die häufigsten Zeichen möglichst wenig Speicherplatz benötigen, während dennoch alle Zeichen der Welt eindeutig kodiert werden können. Das macht UTF-8 zur bevorzugten Wahl für die Textverarbeitung in modernen Anwendungen und im Web. Ihr könnt das übrigens selbst einmal überprüfen: Erstellt zwei leere Textdateien und speichert beide als UTF-8. Fügt in die erste einen Text nur aus Buchstaben, Zahlen und Leerzeichen ein und in die zweite einen Text mit Sonderzeichen und Emojis. Dabei sollte in jeder Datei die gleiche Anzahl Zeichen stehen. Wie unterscheidet sich die Größe der Dateien im Dateiexplorer?

3.7 LED-Dimmer 4.0

In Kapitel 2 haben wir bereits drei Versionen eines LED-Dimmers gebaut. Eine letzte, vierte Variante kommt noch dazu: Lasst uns schauen, ob wir die Helligkeit mit dem Abstandssensor steuern können.

Das war wieder einmal eine rhetorische Frage, natürlich können wir das! Mit Computern lässt sich so gut wie jedes Problem lösen, es geht nur um das Wie. Vielleicht habt ihr schon eine Idee, nachdem wir den Abstandssensor in diesem Kapitel schon intensiv kennengelernt haben.

Der Dimmer aus Kapitel 2 lässt die LED in verschiedenen Stufen heller und dunkler leuchten. Über den Drehknopf haben wir zunächst 1er-Schritte umgesetzt, was bedeutete, dass wir 256 Ticks des Drehknopfs benötigten, um die LED auf volle Helligkeit zu schalten. Später haben wir dann eine Konstante `STEP` eingeführt, um die Schritte zu vergrößern, sodass nur noch eine Umdrehung notwendig war.

Wie lässt sich das auf den Abstandssensor übertragen? Im Gegensatz zum Drehknopf, den wir beliebig lange in eine Richtung drehen können, hat der Abstandssensor einen festen Messbereich zwischen 4 und 30 cm. Das macht unsere Aufgabe einfacher, denn eine Transformation des Messbereichs in den Helligkeitsbereich der LED ist ausreichend. Wenn der Abstandssensor nun einen Wert von 4 cm misst, soll die LED auf 0 % Helligkeit dimmen, und bei 30 cm auf 100 % Helligkeit.

Nehmen wir an, der aktuelle Messwert ist in `distance` gespeichert, dann könnten wir den Helligkeitswert `brightness` so berechnen:

```
brightness = (distance - 40) / (300 - 40) * 255
```

Vergewissern wir uns, dass die Formel richtig ist. Wenn `distance` den Wert 4 cm hat, dann sollte `brightness` 0 sein. Das passt, denn der erste Teil der Formel wird dann 0. Und 0 geteilt durch egal was ergibt 0. Wenn `distance = 300`, dann sollte `brightness` 255 sein. Das passt ebenfalls, denn der erste Teil der Formel wird dann 260 und 260 geteilt durch 260 ergibt 1. Multipliziert mit 255 ergibt 255. Sieht also gut aus.

Der folgende Code baut die Berechnungslogik in den LED-Dimmer aus Abschnitt 2.7 ein, der nur eine Farbe (Weiß) beherrscht. Wir könnten ihn aber genau wie in Abschnitt 2.9 um weitere Farben erweitern:

```
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_distance_ir_v2 import BrickletDistanceIRV2
from tinkerforge.bricklet_rgb_led_v2 import BrickletRGBLEDV2

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect("localhost", 4223)
ir = BrickletDistanceIRV2("<YOUR_IR_UID>", ipcon)
led = BrickletRGBLEDV2("<YOUR_LED_UID>", ipcon)
led.set_rgb_value(0, 0, 0)  # Anfangszustand: aus

last_distance = 0
while True:
    distance = ir.get_distance()
    if last_distance != distance:
        last_distance = distance

        # Abstand (40-300 mm) auf LED-Helligkeit (0-255) abbilden
        brightness = int((distance - 40) / (300 - 40) * 255)
        led.set_rgb_value(brightness, brightness, brightness)  # LED-Helligkeit setzen
```

Je näher wir mit der Hand an den Sensor kommen, desto dunkler wird die LED – und umgekehrt.

Damit schließen wir dieses Kapitel ab. Wir haben gelernt, wie Computer Texte kodieren. Der Umweg über unser eigenes Eingabegerät für Binärcodes hat sich gelohnt: Eure Programmierskills sind gewachsen!

Im folgenden Kapitel beschäftigen wir uns mit Bildern, wie Computer sie sehen, und wie ein Bild auf den Bildschirm kommt.

Listing 3.3 Der vollständige Code für die Texteingabe mit dem Infrarot-Abstandssensor.

```
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_distance_ir_v2 import BrickletDistanceIRV2
from tinkerforge.bricklet_rgb_led_v2 import BrickletRGBLEDV2
import time

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect('localhost', 4223)

ir = BrickletDistanceIRV2('2a7S', ipcon)
led = BrickletRGBLEDV2('ZEL', ipcon)

MESSAGE_LENGTH = 5 # Anzahl Bits pro Buchstabe
bits = ""
text = ""
last_distance = 0
receiving = False

# Dictionary mit 0-25 => A-Z und 26 => Leerzeichen
SYMBOLS = {}
SYMBOLS[0] = "A"
SYMBOLS[1] = "B"
SYMBOLS[2] = "C"
SYMBOLS[3] = "D"
SYMBOLS[4] = "E"
SYMBOLS[5] = "F"
SYMBOLS[6] = "G"
SYMBOLS[7] = "H"
SYMBOLS[8] = "I"
SYMBOLS[9] = "J"
SYMBOLS[10] = "K"
SYMBOLS[11] = "L"
SYMBOLS[12] = "M"
SYMBOLS[13] = "N"
SYMBOLS[14] = "O"
SYMBOLS[15] = "P"
SYMBOLS[16] = "Q"
SYMBOLS[17] = "R"
SYMBOLS[18] = "S"
SYMBOLS[19] = "T"
SYMBOLS[20] = "U"
SYMBOLS[21] = "V"
SYMBOLS[22] = "W"
SYMBOLS[23] = "X"
SYMBOLS[24] = "Y"
SYMBOLS[25] = "Z"
SYMBOLS[26] = " "

def decode_letter(bits):
    decimal = int(bits, 2)
    return SYMBOLS.get(decimal, "?")
```

4 Bilder

Zusammenfassung

In diesem Kapitel arbeiten wir zum ersten Mal mit Bildern auf einem Display. Ausgehend von einem kleinen OLED-Display lernen wir Schritt für Schritt, wie Bilder im Computer repräsentiert werden und wie wir sie programmatisch erzeugen und anzeigen können.

Der Weg dahin führt über folgende Schritte:

#	Was?	Wo?
1	Wir machen uns mit dem Display vertraut.	Abschnitt 4.1
2	Wir lernen das Pixel kennen und schalten es im Display an und aus.	Abschnitt 4.2
3	Wir führen die Bitmap als eine Sammlung von Pixelwerten ein.	Abschnitt 4.3
4	Wir lernen, wie man Buchstaben als Bitmaps darstellen kann.	Abschnitt 4.4
5	Wir lernen eine Alternative zu Bitmaps kennen.	Abschnitt 4.5
6	Wir zeigen ein Bild als Bitfolge auf dem Display an.	Abschnitt 4.6
7	Wir betrachten Farben in Bitmaps.	Abschnitt 4.7
8	Wir lernen, was eine Animation im Computer ist.	Abschnitt 4.8
9	Wir wenden einfache Arithmetik auf Bilder an.	Abschnitt 4.9
10	Wir animieren Pacman und erwecken ihn auf dem Display zum Leben.	Abschnitt 4.10

4.1 Experimentaufbau

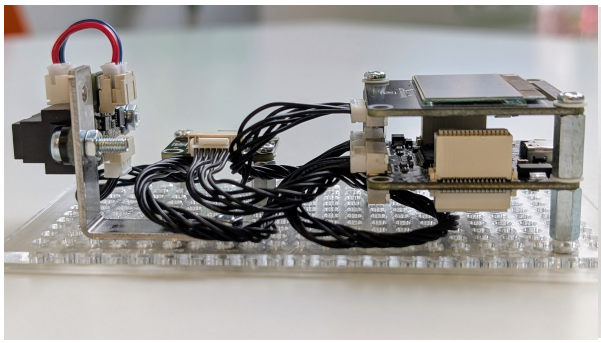
4.1.1 Hardware

In den Experimenten dieses Kapitels verwenden wir ein kleines OLED-Display, das wir an unseren Master Brick anschließen. Das Display kann einzelne Pixel weiß aufleuchten lassen und damit einfache Bilder und Texte darstellen. Insgesamt stehen uns 128 × 64 Pixel zur Verfügung, also 8192 einzelne Bildpunkte.

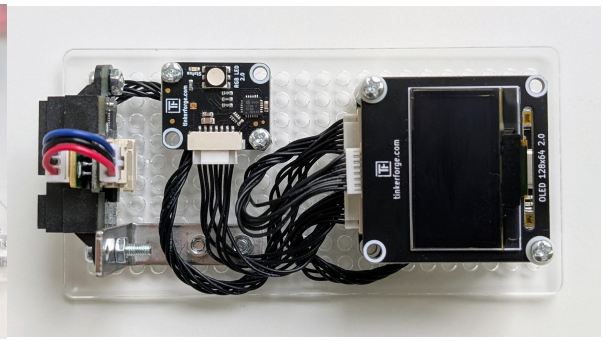
Die vollständige Hardwareliste für dieses Kapitel sieht so aus:

- 1 × Master Brick 3.2
- 1 × Distance IR 4-30cm Bricklet 2.0
- 1 × OLED 128x64 Bricklet 2.0
- 1 × Montageplatte 22x10
- 2 × Brickletkabel 15cm (7p-7p)

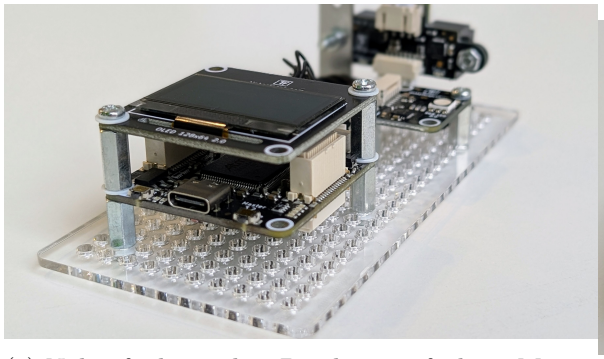
Wenn ihr das Experiment aus Kapitel 3 gemacht habt, dann könnt ihr einfach des OLED-Display hinzufügen und wie in der Abbildung 4.1 gezeigt auf den Master Brick aufschrauben. Die LED und den Infrarotsensor benötigen wir zwar in diesem Experiment nicht, sie stören aber auch nicht.



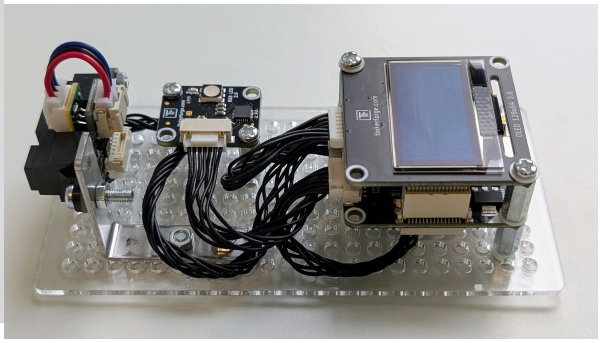
(a) Seitenansicht.



(b) Draufsicht.



(c) Nahaufnahme des Displays auf dem Master Brick.



(d) Seitenansicht, leicht von oben.

Abbildung 4.1: Einfaches Setup wie aus Kapitel 3 und erweitert um das OLED-Display.

4.1.2 Das OLED-Display im Brick Viewer

Wie gewohnt starten wir im Brick Viewer. Verbindet euch mit dem Master Brick und ihr solltet die angeschlossenen Geräte sehen können. Den Infrarotsensor kennt ihr bereits aus dem letzten Kapitel. Wir konzentrieren uns hier auf das neue Display im Tab “OLED 128x64 Bricklet 2.0”.

Die Oberfläche für das Display seht ihr in Abbildung 4.2. Im Wesentlichen kann das Display drei Dinge:

1. Einzelne Pixel ein- und ausschalten
2. Seinen gesamten Inhalt löschen, also alle Pixel af einmal ausschalten
3. Text anzeigen (was im Kern nichts anderes ist als ein Spezialfall von 1)

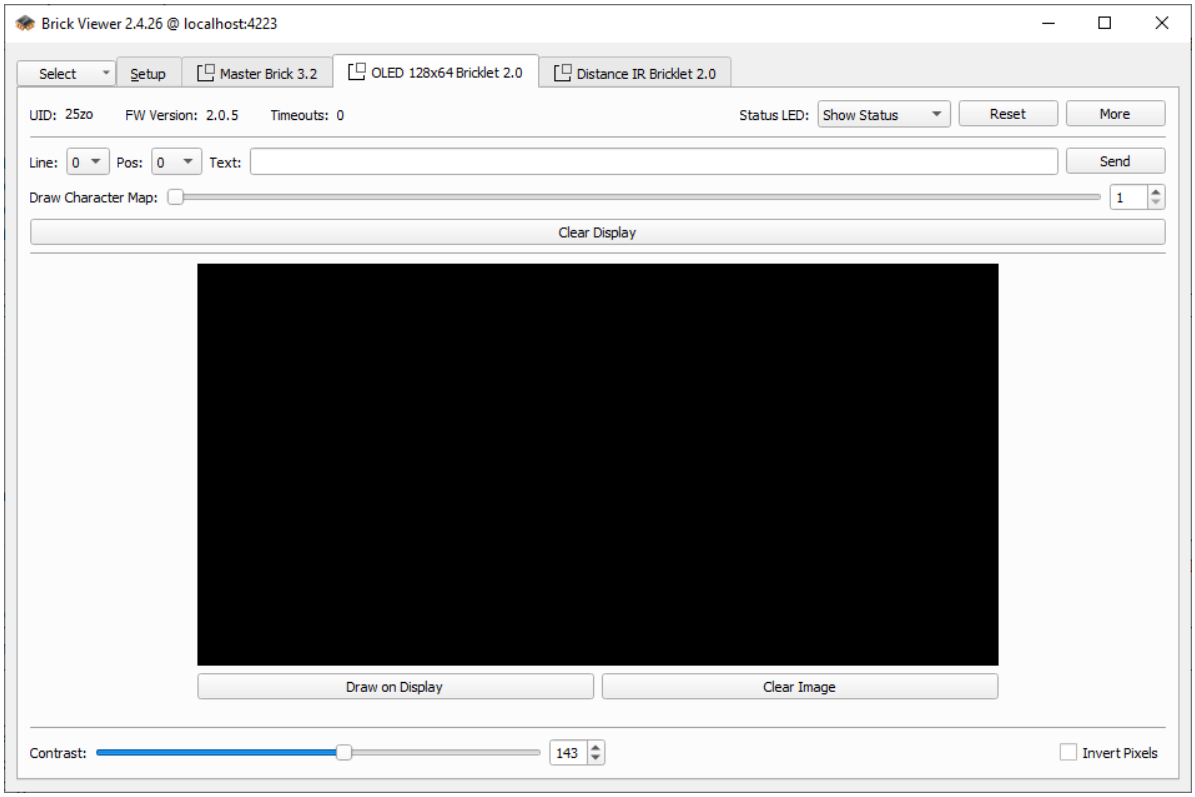
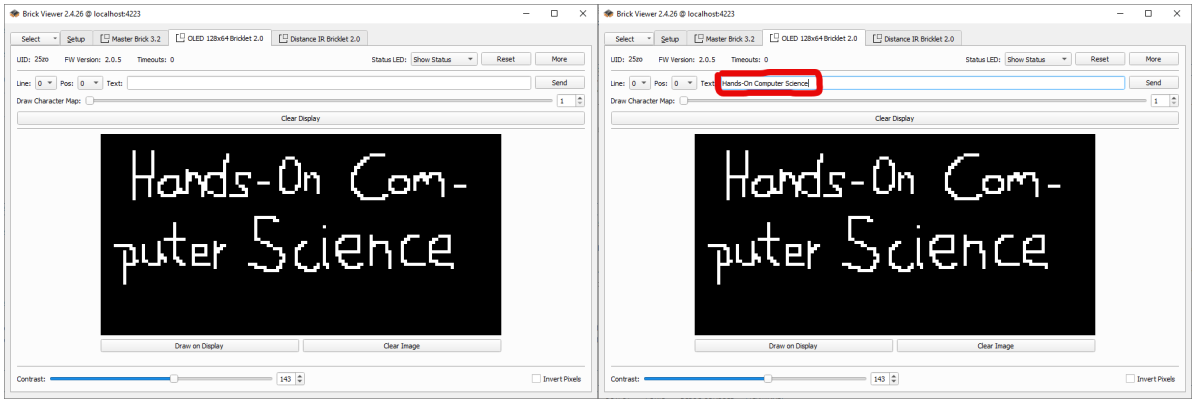


Abbildung 4.2: Im Brick Viewer können wir auf dem Display Text anzeigen oder zeichnen.

Alle genannten Funktionen könnt ihr direkt im Brick Viewer ausprobieren. Mit der Maus könnt ihr auf der schwarzen Fläche freihändig zeichnen und das Ergebnis mit "Draw on Display" auf das Display übertragen. Mit "Clear Display" löscht ihr den gesamten Inhalt wieder. Alternativ könnt ihr Text in das Textfeld eingeben und mit "Send" anzeigen lassen.

Für Text können wir die Position über die Angabe der Zeile (`Line`) sowie der Position in der Zeile (`Pos`) bestimmen. Im Dropdown seht ihr, dass die Zeilen von 0 bis 7 und die Positionen von 0 bis 21 nummeriert sind. Das Display teilt die 128 Pixel Breite in 22 Zeichenpositionen und die 64 Pixel Höhe in 8 Textzeilen auf. Die eingebaute Schrift nutzt ein 5×8-Pixel-Raster pro Zeichen und fügt noch passende Abstände ein.

In Abbildung 4.4 könnt ihr den Unterschied zwischen meinem kläglichen Versuch, den Titel des Buches mit der Maus zu zeichnen, und der automatischen Textausgabe sehen. Das Display



(a) Mein Versuch, den Titel des Buches mit der Maus zu zeichnen.

(b) Das Display unterstützt auch die direkte Textausgabe.

ist zwar nicht besonders groß, aber für einfache Grafiken und Texte reicht es allemal. Der Text "Hands-On Computer Science" ist aber mit 25 Zeichen zu lang und wird daher abgeschnitten.

Was wir im Brick Viewer per Mausklick machen, wollen wir im nächsten Schritt in Python programmatisch steuern.

4.2 Pixel

Nachdem wir das Display im Brick Viewer ausprobiert haben, steuern wir es nun aus Python an. Wie immer stellen wir zuerst die Verbindung her und erzeugen eine Instanz des Display-Objekts. Unser Boilperplate-Code sieht so aus:

```
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_oled_128x64_v2 import BrickletOLED128x64V2          ①

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect('localhost', 4223)
oled = BrickletOLED128x64V2('25zo', ipcon)                                    ②
oled.clear_display()                                                          ③
```

① Wir importieren die Klasse `BrickletOLED128x64V2` aus der Tinkerforge-Bibliothek, die uns die Funktionen des Displays zur Verfügung stellt.
② Tragt hier eure eigene UID ein.
③ Wir löschen den Display-Inhalt, damit wir mit einem leeren Display starten. Die Funktion `clear_display()` erledigt das.

(a) So sieht meine Zeichnung auf dem Display aus.

(b) Es geht auch direkt als Text, allerdings abgeschnitten.

Abbildung 4.4: Gezeichneter vs. getippter Text auf dem Display.

Über die Variable `oled` können wir von nun an die verschiedenen Funktionen des Displays verwenden. Eine davon seht ihr bereits im Codebeispiel, nämlich das Löschen des Displays mit `clear_display()`. Zu Beginn des Programms ist unser Display somit schwarz.

4.2.1 Was ist ein Pixel?

Das Wort Pixel wird vom englischen “picture element” (Bildelement) abgeleitet. Ein Pixel ist der kleinste darstellbare Punkt auf einem Display.

In unserem Fall kann ein Pixel entweder schwarz oder weiß sein. Auf anderen Bildschirmen, wie dem eures Smartphones oder Fernsehers, können Pixel auch farbig sein. Das schauen wir uns später noch genauer an. In diesem Kapitel konzentrieren wir uns zunächst auf die einfache Schwarzweiß-Darstellung. Auch, weil unser OLED-Display nur Schwarzweiß kann.

Unser Display hat eine Auflösung von 128×64 Pixeln. Das bedeutet, dass es 128 Pixel in der Breite und 64 Pixel in der Höhe hat. Insgesamt ergibt das 8192 Pixel, die wir individuell an- oder ausschalten können.

Damit wir mit einzelnen Pixeln sprechen können, hat jedes eine eigene Koordinate, die seine Position als Spalte (x) und Zeile (y) angibt. Genau wie in einer Excel-Tabelle, in der die Zelle in der dritten Spalte und vierten Zeile mit C4 adressiert würde – nur verwenden wir hier statt Buchstaben ausschließlich Zahlen.

Die Koordinaten beginnen bei (0, 0) in der linken oberen Ecke. Die erste Zahl ist die x-Koordinate (horizontal), die zweite die y-Koordinate (vertikal).

4.2.2 Ein einzelnes Pixel setzen

Beginnen wir damit, das Pixel in der linken oberen Ecke des Displays einzuschalten. Dazu verwenden wir die Funktion `write_pixels()`:

```
oled.write_pixels(0, 0, 0, 0, [1])
```

Warum so viele Argumente, wenn wir doch nur ein einziges Pixel setzen wollen? Der Grund: `write_pixels()` kann nicht nur einzelne Pixel, sondern beliebige rechteckige Flächen ansteuern. Die Funktion erwartet deshalb immer die Beschreibung eines Rechtecks plus die zugehörigen Pixelwerte.

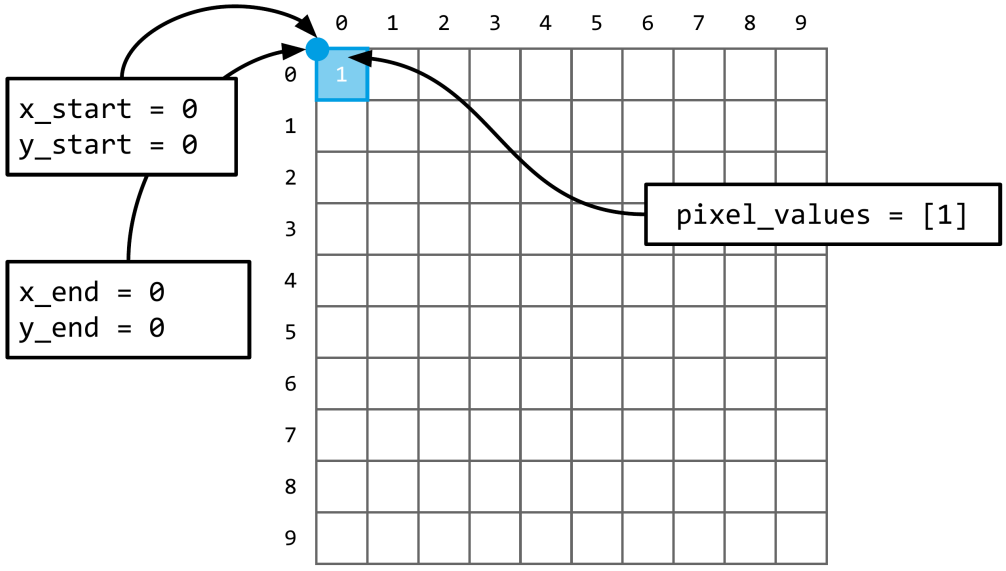


Abbildung 4.5: Die Funktion `write_pixels()` benötigt die Angabe eines Rechtecks und die entsprechenden Pixelwerte als 0 oder 1. Für ein einziges Pixel sind beide Punkte des Rechtecks identisch.

Allgemein lautet die Signatur der Funktion so:

```
write_pixels(x_start, y_start, x_end, y_end, pixel_values)
```

Die ersten vier Argumente definieren die zwei Eckpunkte des Rechtecks: oben links und unten rechts (beide inklusive). Die Breite ergibt sich aus `x_end - x_start + 1`, die Höhe aus `y_end - y_start + 1`.

In unserem Fall sind beide Punkte (0, 0), wir sprechen also genau ein Pixel an. Der letzte Parameter ist eine Liste von Werten, die angibt, ob die Pixel in der definierten Fläche ein- oder ausgeschaltet werden sollen. Ein Wert von `1` bedeutet weiß, `0` bedeutet schwarz. Da wir nur ein Pixel ansprechen, enthält die Liste nur einen Wert: `[1]`.

Auch wenn es im Beispiel nur ein Wert ist, stellt `[1]` in Python eine Liste dar, darauf weisen die eckigen Klammern hin. Innerhalb der Klammern können beliebig viele Werte durch Kommas getrennt angegeben werden.

Wir können das Pixel wieder ausschalten, indem wir den Wert in der Liste auf 0 ändern:

```
oled.write_pixels(0, 0, 0, 0, [1])
input("Drücke Enter um das Pixel auszuschalten...")
oled.write_pixels(0, 0, 0, 0, [0])
```

Einzelne Pixel lassen sich so bequem schalten. Interessant wird es aber erst, wenn wir mehrere Pixel zu einem Bild kombinieren. Das führt uns zu Bitmaps.

4.3 Bitmaps

Eine Bitmap ist nichts anderes als eine rechteckige Matrix von Pixelwerten, die zusammen ein Bild ergeben. Mit `write_pixels()` können wir solche Rechtecke direkt auf dem Display zeichnen.

4.3.1 Quadrate

Sagen wir, wir wollen ein 2×2 großes Quadrat in der Mitte des Displays zeichnen. Die Mitte des Displays liegt rechnerisch bei (64, 32). Da wir bei 0 zu zählen beginnen, korrigieren wir auf (63, 31).

Um ein 2×2-Quadrat zu zeichnen, setzen wir die Koordinaten des oberen linken Punkts auf (62, 30) und die Koordinaten des unteren rechten Punkts auf (63, 31). Die Liste der Werte für die Pixel in dieser Fläche muss 4 Werte enthalten, alle auf 1 gesetzt:

```
oled.write_pixels(62, 30, 63, 31, [1, 1, 1, 1])
```

Genau genommen ist die Liste eine flache Struktur, sie wird aber als 2×2-Matrix interpretiert. Die Bitmap sieht also so aus:

```
1 1
1 1
```

Abbildung 4.6 zeigt das Konzept der Bitmap für unser 2×2-Quadrat.

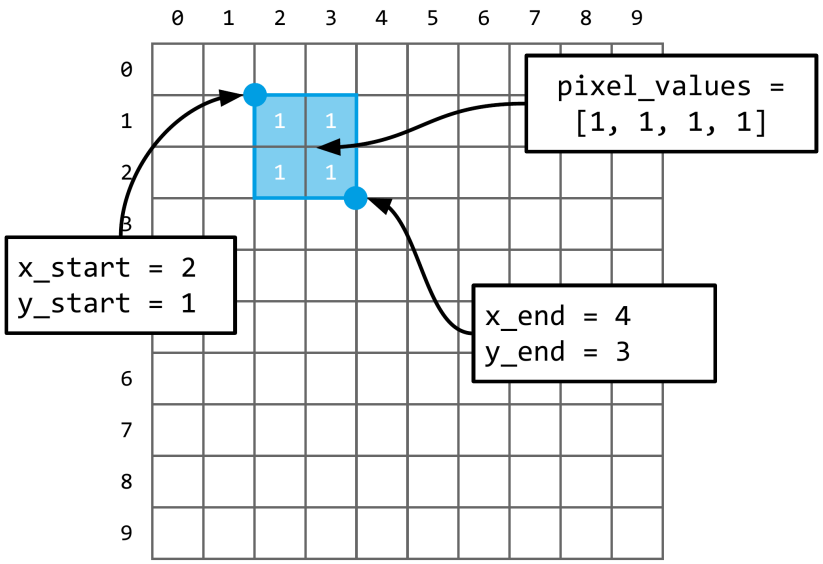


Abbildung 4.6: Ein 2x2 Quadrat über die Angabe der linken oberen sowie der unteren rechten Ecke.

Was ist, wenn wir das Quadrat auf 3×3 vergrößern wollen? Dann ändern wir den unteren rechten Punkt auf (64, 32) oder alternativ den oberen linken Punkt auf (61, 29). Die Liste der Werte erweitern wir auf 9 Einträge:

```
oled.write_pixels(61, 29, 63, 31, [1] * 9)
```

Die Python-Syntax `[1] * 9` erzeugt eine Liste mit 9 Einsen. Das ist eine praktische Abkürzung, um lange Listen mit gleichen Werten zu erstellen.

Die Länge der Liste `pixel_values` muss immer genau der Anzahl der Pixel in der Fläche entsprechen. Die Werte werden zeilenweise von links nach rechts und von oben nach unten gelesen und auf das Display projiziert.

4.3.2 Ein Kreuz als Bitmap

In Abbildung 4.7 sehen wir ein weiteres Beispiel, diesmal für eine Bitmap mit 3×3 Pixeln. Es leuchten nur die Pixel, die ein Kreuzmuster ergeben. Als Liste sieht das so aus:

```
[0, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 0]
```

Als Matrix dargestellt:

```
0 1 0
1 1 1
0 1 0
```

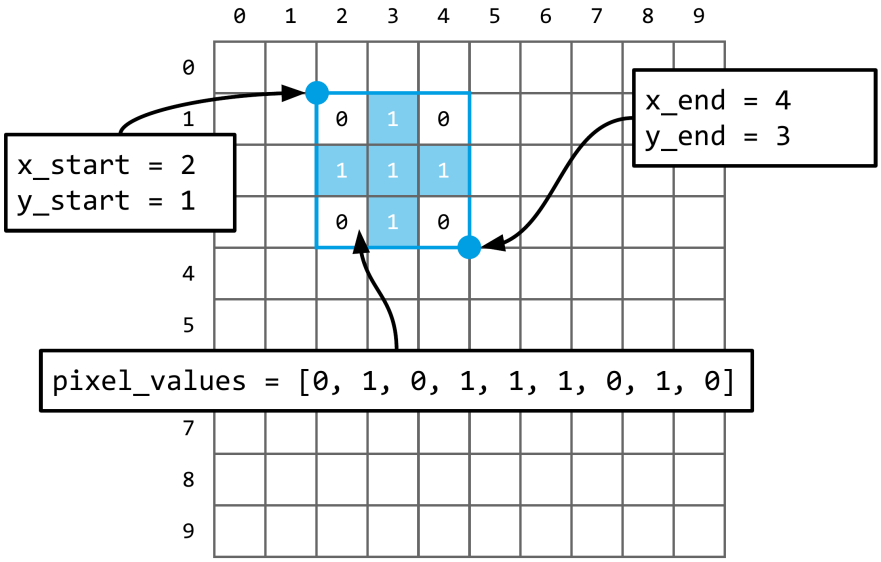


Abbildung 4.7: Über die Pixelwerte lassen sich beliebige Symbole darstellen, hier ein Kreuz.

Wenn wir dieses Kreuz öfter zeichnen wollen, speichern wir die Liste der Pixelwerte am besten in einer Variablen:

```
cross_bitmap = [
    0, 1, 0,
    1, 1, 1,
    0, 1, 0
]
```

Jetzt können wir das Kreuz einfach zeichnen, indem wir die Variable `cross_bitmap` an `write_pixels()` übergeben:

```
oled.write_pixels(0, 0, 2, 2, cross_bitmap)
```

Da wir das Quadrat (0, 0) bis (2, 2) angegeben haben, erscheint das Kreuz in der linken oberen Ecke. Wir können die x- und y-Koordinaten anpassen, um das Kreuz an einer anderen Position zu zeichnen, z.B. direkt daneben noch eins, mit einem Pixel Abstand:

```
oled.write_pixels(0, 0, 2, 2, cross_bitmap)
oled.write_pixels(4, 0, 6, 2, cross_bitmap)
```

4.3.3 Viele Kreuze mit Schleifen

Was, wenn wir Kreuze über das gesamte Display zeichnen wollen? Ein Kreuz inklusive Abstand benötigt 4 Pixel in der Breite (3 Pixel für das Kreuz, 1 Pixel Abstand). Mit 128 Pixeln in der Breite können wir 32 solcher Blöcke nebeneinander unterbringen.

Anstatt jede Position per Hand zu kodieren, nutzen wir eine Schleife:

```
for x in range(0, 128, 4):
    oled.write_pixels(x, 0, x + 2, 2, cross_bitmap)
```

Erinnert euch: Die `range()`-Funktion erzeugt eine Folge von Zahlen. In diesem Fall starten wir bei 0, enden vor 128 und erhöhen die Zahl in jedem Schritt um 4. Dadurch erhalten wir die x-Koordinaten 0, 4, 8, …, 124. In jedem Schleifendurchlauf zeichnen wir ein Kreuz an der aktuellen x-Position.

Wollen wir das gesamte Display mit Kreuzen füllen, verschachteln wir zwei Schleifen – eine für die Zeilen (y), eine für die Spalten (x):

```
for y in range(0, 64, 4):
    for x in range(0, 128, 4):
        oled.write_pixels(x, y, x + 2, y + 2, cross_bitmap)
```

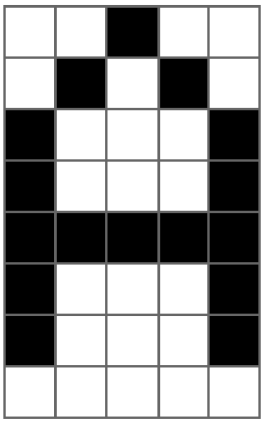
Wenn ihr den Code ausführt, könnt ihr dem Display beim Zeichnen zuschauen. Es füllt sich nach und nach mit Kreuzen, bis das gesamte Display bedeckt ist.

Wir haben damit alle Bausteine beisammen, um nicht nur geometrische Formen, sondern auch komplexere Symbole wie Buchstaben zu zeichnen.

4.4 Buchstaben

Auch Buchstaben auf dem Bildschirm sind nichts anderes als Pixelmuster. Wie bereits erwähnt, ist ein Buchstabe auf dem Tinkerforge-Display 5 Pixel breit und 8 Pixel hoch. Das bedeutet, dass wir für jeden Buchstaben eine Bitmap mit 40 Werten benötigen.

Tinkerforge stellt eine Übersicht der unterstützten Zeichen und deren Pixelmuster auf seiner Webseite bereit. Daraus habe ich den Buchstaben "A" als Bitmap in eine einfache Tabelle übertragen und Pixel, die an sind, schwarz eingefärbt. Das Ergebnis seht ihr in Abbildung 4.8.



	0	1	2	3	4
0	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	0
2	1	0	0	0	1
3	1	0	0	0	1
4	1	1	1	1	1
5	1	0	0	0	1
6	1	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0

Abbildung 4.8: Der Buchstabe "A" als Bitmap.

Anhand dieser Darstellung können wir die Liste mit Einsen und Nullen ableiten, die wir benötigen, um das "A" auf dem Display darzustellen:

```
letter_a_bitmap = [
    0, 0, 1, 0, 0,
```

```
    0, 1, 0, 1, 0,
    1, 0, 0, 0, 1,
    1, 0, 0, 0, 1,
    1, 1, 1, 1, 1,
    1, 0, 0, 0, 1,
    1, 0, 0, 0, 1,
    0, 0, 0, 0, 0
]
```

In der Matrixdarstellung erkennt man das “A” recht gut. Jetzt ein Rätsel: Welcher Buchstabe verbirgt sich in der folgenden Bitmap?

```
letter_unknown_bitmap = [
    0, 1, 1, 1, 0,
    1, 0, 0, 0, 1,
    1, 0, 0, 0, 0,
    0, 1, 1, 1, 0,
    0, 0, 0, 0, 1,
    1, 0, 0, 0, 1,
    0, 1, 1, 1, 0,
    0, 0, 0, 0, 0
]
```

Zeichnen wir den Buchstaben auf dem Display, um es herauszufinden. Wir kennen die Dimensionen (5×8 Pixel), haben die Bitmap als Liste und müssen nur noch die Position bestimmen. Ich habe mich für die Position (6, 10) als oberen linken Punkt entschieden:

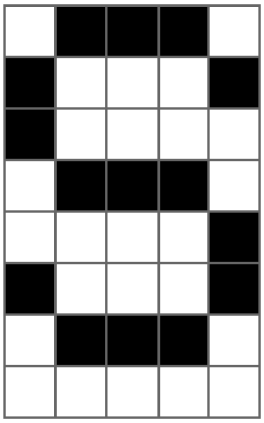
```
oled.write_pixels(6, 10, 10, 17, letter_unknown_bitmap)
```

Und? Seht ihr auch ein großes “S”?

Versuchen wir, davor noch das “A” zu schreiben:

```
oled.write_pixels(1, 10, 5, 17, letter_a_bitmap)
```

Wir haben richtig gerechnet: Das “A” soll vor dem “S” stehen, also müssen wir mit der x-Koordinate 5 Pixel nach links gehen. Lasst uns noch ein Pixel Platz zwischen beiden Buchstaben lassen. Dann setzen wir die x-Koordinate des “A” auf 0 und die des rechten unteren Punkts auf 4:



	0	1	2	3	4
0	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1
2	1	0	0	0	0
3	0	1	1	1	0
4	0	0	0	0	1
5	1	0	0	0	1
6	0	1	1	1	0
7	0	0	0	0	0

Abbildung 4.9: Der Buchstabe “S” als Bitmap.

```
oled.write_pixels(0, 10, 4, 17, letter_a_bitmap)
```

Und nun noch ein “S” ans Ende, damit wir ein sinnvolles Wort schreiben:

```
oled.write_pixels(0, 10, 4, 17, letter_a_bitmap)
oled.write_pixels(6, 10, 10, 17, letter_unknown_bitmap)
oled.write_pixels(12, 10, 16, 17, letter_unknown_bitmap)
```

Entscheidet selbst, ob ihr bei dem geschriebenen Wort an eine Spielkarte, den Namen eines Schmerzmittels oder das englische Schimpfwort denkt. Technisch haben wir schlicht drei Buchstaben als Bitmaps auf dem Display dargestellt. Und das ganz ohne die Textfunktion des Displays zu verwenden.

Zur Erinnerung: Das wäre auch viel einfacher gegangen, nur weniger lehrreich:

```
oled.write_line(0, 0, "Ass")
```

Wenn ihr beides hintereinander ausführt, steht oben “Ass” per Textfunktion und darunter “ASS” als eigene Bitmaps. Die `write_line()`-Funktion verwendet intern eine eingebaute

Schriftart: Für jedes Zeichen ist in einer Tabelle hinterlegt, welche Pixel im 5×8-Raster leuchten.

Schriftarten für Pixel-Displays sind im Kern nichts anderes als Sammlungen von Bitmaps: Für jedes Zeichen wird festgelegt, welche Pixel leuchten. Wenn ihr eine andere Schrift wollt, erstellt ihr einfach eine neue Bitmap-Tabelle, etwa eine fette oder schmale Variante, und verwendet diese beim Zeichnen.

Diese Bitmap-Schriften funktionieren hervorragend in festen Rastergrößen, stoßen aber an Grenzen, sobald die Größe der Buchstaben beliebig geändert werden soll. Beim Vergrößern treten dann unschöne Treppeneffekte auf. Hier kommen Vektorgrafiken ins Spiel.

4.5 Vektorgrafiken

Während Bitmaps jedes Pixel explizit speichern, beschreiben Vektorgrafiken Objekte über geometrische Formen, etwa "eine Linie von A nach B" oder "ein Kreis mit Mittelpunkt M und Radius r".

Eine Vektor-Schriftart (wie TrueType) enthält keine 5×8-Raster pro Zeichen, sondern Pfade für die Konturen von "A", "S" etc. Der Vorteil: Diese Formen lassen sich beliebig vergrößern oder verkleinern, ohne dass Treppeneffekte entstehen. Das ist ideal für hochauflösende Displays und Druck.

Schaut euch zur Verdeutlichung der Problematik einmal die beiden "a" aus Abbildung 4.10 an. Das linke "a" ist eine TrueType-Schriftart, die als Vektorgrafik beschrieben wird. Das rechte "a" ist über eine Bitmap definiert und wurde stark vergrößert. Während das rechte "a" pixelig wirkt – wir sprechen vom Treppeneffekt – ist die als Vektorgrafik beschriebene Variante gestochen scharf, auch in großen Größen.

Wie funktioniert das? Dazu betrachten wir ein anderes Beispiel für eine Vektorgrafik im weit verbreiteten Format *Scalable Vector Graphics* (SVG). Kopiert den folgenden Code in eine Textdatei und benennt sie `vector_graphics.svg`. Öffnet die Datei anschließend in einem Webbrowser.

```
<svg width="440" height="220" xmlns="http://www.w3.org/2000/svg">
  <circle cx="60" cy="60" r="50" stroke="#0085C7" stroke-width="10" fill="none" />
  <circle cx="180" cy="60" r="50" stroke="#000000" stroke-width="10" fill="none" />
  <circle cx="300" cy="60" r="50" stroke="#DF0024" stroke-width="10" fill="none" />
  <circle cx="120" cy="110" r="50" stroke="#FFD500" stroke-width="10" fill="none" />
  <circle cx="240" cy="110" r="50" stroke="#009F3D" stroke-width="10" fill="none" />
</svg>
```

Source: Wikipedia

Abbildung 4.10: Das linke “a” ist eine TrueType-Schriftart, das rechte “a” eine Bitmap. Quelle: Wikipedia.

Ihr solltet ein Bild wie in Abbildung 4.11 sehen. Zoomt nun einmal stark hinein (Strg + Plus bzw. Cmd + Plus). Die Kreise bleiben scharf, ohne Treppeneffekte. Das liegt daran, dass Vektorgrafiken mathematisch beschrieben werden und nicht auf eine feste Pixelauflösung angewiesen sind.

Aber Moment: Wenn Vektorgrafiken auf einem Bildschirm angezeigt werden, müssen sie dann nicht auch als Pixel dargestellt werden? Schließlich besteht doch jedes Bild im Endeffekt aus Pixeln.

Genau. Während Vektorgrafiken das, was auf dem Bildschirm erscheinen soll, über geometrische Formen beschreiben, muss das Bild letztlich in eine Bitmap umgewandelt werden, damit es auf dem Bildschirm angezeigt werden kann. Dieser Prozess wird als Rasterisierung bezeichnet.

In Abbildung 4.12 seht ihr die Vektorgrafik von oben, die in eine Bitmap mit niedriger Auflösung (100 × 50 Pixel) umgewandelt wurde. Wenn man dieses Bild stark vergrößert oder auf ein großes Werbeplakat druckt, erkennt man die Treppeneffekte deutlich. Die Auflösung einer Bitmap ist somit entscheidend für die Bildqualität.

Bei Vektorgrafiken spielt die Auflösung dagegen erst bei der Rasterisierung eine Rolle: Wir können für ein 3×2 m Werbeplakat einfach eine entsprechend hochauflösende Bitmap gene-

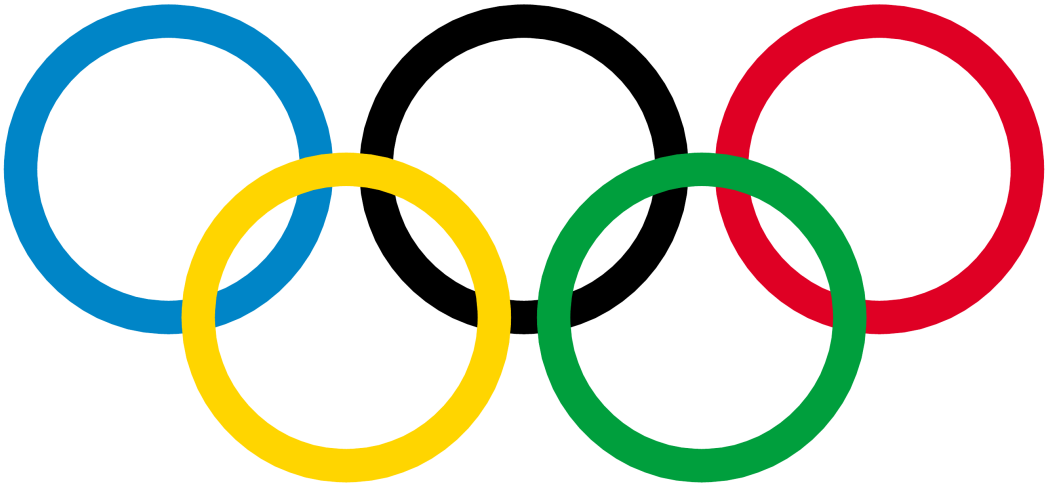


Abbildung 4.11: Ein Versuch der Olympischen Ringe als Vektorgrafik, die man ohne Qualitätsverlust beliebig vergrößern kann.

rieren, ohne dass die Qualität leidet, weil die Vektorgrafik immer die gleichen geometrischen Formen *beschreibt*.

Aufgrund ihrer Eigenschaften werden Vektorgrafiken insbesondere für Logos, Icons und Schriftarten verwendet, die in verschiedenen Größen dargestellt werden müssen. Für komplexe Bilder mit vielen Farben und Details, wie Fotos, sind Bitmaps jedoch besser geeignet, weil eine Beschreibung als reine Geometrie zu aufwendig wäre.

Am Ende landen aber sowohl Bitmaps als auch Vektorgrafiken auf unserem Display immer als dasselbe: als Liste von Bits für die Pixel. Genau diese Perspektive nehmen wir im nächsten Abschnitt ein.

4.6 Von Bits zum Bild

Wir bleiben in diesem Kapitel bei Bitmaps, denn ein Bildschirm kennt nur Pixel. Egal, ob ein Bild ursprünglich eine Vektorgrafik war oder direkt als Bitmap vorliegt: Um es auf unserem Display anzuzeigen, müssen wir es in eine Liste von Pixelwerten umwandeln und mit `write_pixels()` zeichnen.

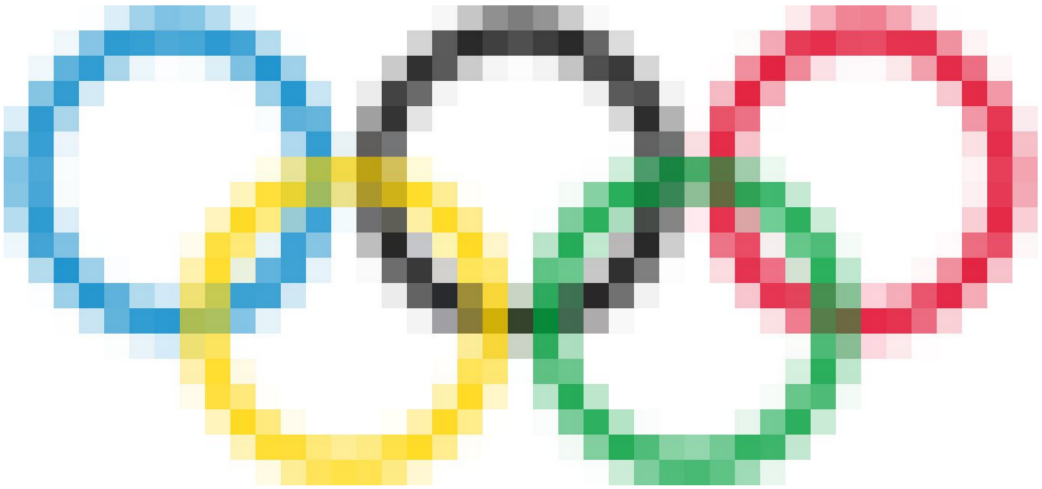


Abbildung 4.12: Die Beschreibung der geometrischen Objekte muss irgendwann in ein Bild aus Pixeln überführt werden. Dann spielt die Auflösung die entscheidende Rolle.

Auf unserem OLED reicht eine Liste mit Binärwerten (0 und 1) aus, um jedes Pixel als ein- oder ausgeschaltet zu kennzeichnen. Für farbige Displays (z.B. Smartphone, TV) werden mehrere Bits pro Pixel benötigt. Ihr erinnert euch an den RGB-Farbcode aus Kapitel 1.

4.6.1 Darth Vader als Pixelart

Betrachtet einmal das Bild in Abbildung 4.13. Ihr erkennt bestimmt, was es zeigt: eine Bitmap-Darstellung von Darth Vaders Kopf aus Star Wars. Das Bild ist 27 Pixel breit und 24 Pixel hoch, also insgesamt 648 Pixel. Jedes Pixel ist entweder schwarz oder weiß, das passt problemlos auf unser Display.

Unser Ziel ist es, dieses Bild auf dem Display anzuzeigen. Dafür brauchen wir eine Liste aus Nullen und Einsen, die jedes Pixel repräsentiert. Die Idee, diese Liste per Hand aus einem Bild abzulesen, ist sehr mühsam und fehleranfällig.

Glücklicherweise liegt das Bild bereits digital vor – nicht als Bilddatei, sondern als Excel-Tabelle. Die Idee habe ich aus dem CS50-Kurs der Harvard University übernommen: Dort erstellen Studierende Pixelbilder in Excel, indem sie die Zellen einfärben. Jede Zelle entspricht einem Pixel, das entweder schwarz oder weiß ist.

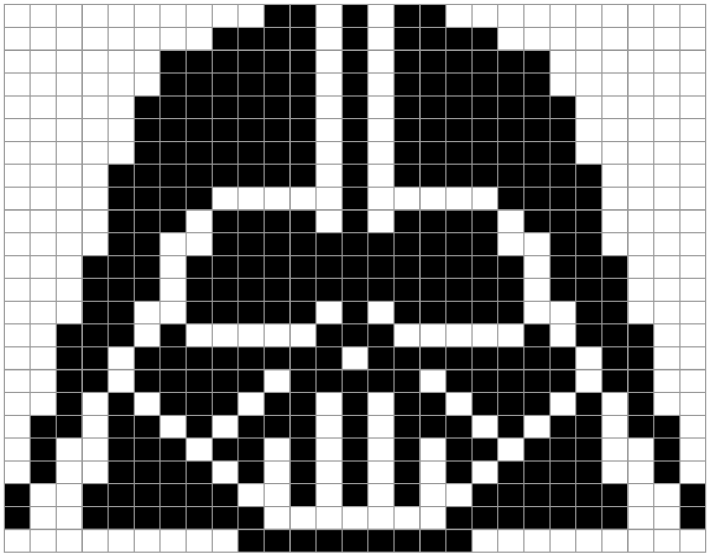


Abbildung 4.13: Darth Vaders Kopf aus Star Wars als Bitmap

Die Excel-Datei mit Darth Vaders Maske könnt ihr euch herunterladen und das Ganze selbst ausprobieren.

Wir können das Problem im Sinne des EVA-Modells auffassen: Eingabe sind die Zellfarben in der Excel-Tabelle, Ausgabe soll eine Liste von Bits sein. Dazwischen liegt die Verarbeitung, die wir mit Python programmieren.

4.6.2 Excel mit Python einlesen

Um Excel-Dateien in Python zu lesen, müssen wir das Rad nicht neu erfinden. Es gibt verschiedene Bibliotheken für diesen Job, eine der beliebtesten und einfachsten ist `openpyxl`. Installiert sie mit:

```
pip install openpyxl
```

(MacOS-Nutzer verwenden `pip3`.)

`openpyxl` stellt uns die Funktion `load_workbook()` zur Verfügung, der wir den Pfad der Excel-Datei übergeben können:

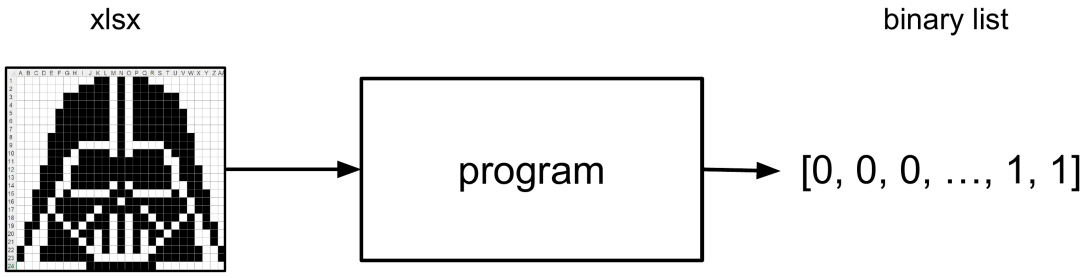


Abbildung 4.14: Die Überführung einer Excel-basierten Bitmap in eine Liste aus Bits im EVA-Modell.

```
from openpyxl import load_workbook                                    ①
workbook = load_workbook("Darth Vader Pixel Art.xlsx")                ②
```

① Wir kündigen an, dass wir die Funktion `load_workbook()` verwenden möchten.
② Wir laden die Excel-Datei und speichern das Ergebnis in der Variable `workbook`.

Ein Excel-Dokument kann mehrere Tabellenblätter enthalten. Wir wählen das Blatt “Darth Vader” aus:

```
sheet = workbook["Darth Vader"]
```

4.6.3 Zeile für Zeile die Pixelwerte extrahieren

Um aus der Excel-Darstellung zu einer Liste mit 0 und 1 zu kommen, schreiben wir ein Programm, das genau das Vorgehen simuliert, das wir per Hand machen würden: Zeile für Zeile durch die Tabelle gehen und für jede Zelle von links nach rechts prüfen, ob sie schwarz oder weiß ist.

Für wiederholte Abläufe verwenden wir Schleifen. Die Methode `sheet.iter_rows()` liefert uns alle Zeilen, über die wir mit einer `for`-Schleife iterieren können. Jede Zeile ist wiederum eine Liste von Zellen, über die wir ebenfalls iterieren:

```
for row in sheet.iter_rows():                                    ①
    for cell in row:                                             ②
        ...                                                      ③
```

① Die äußere Schleife iteriert über jede Zeile im Tabellenblatt.
② Die innere Schleife iteriert über jede Zelle in der aktuellen Zeile.
③ Hier ergänzen wir gleich den Code, der die Farbe der Zelle prüft.

Was passiert nun in der inneren Schleife? Wir müssen die Farbe der Zelle auslesen. Das geht über die Attribute `cell.fill.fgColor.rgb`. Die Details muss man nicht auswendig wissen, sie stehen in der Dokumentation.

Probieren wir, die Farbe der Zelle auszulesen und auszugeben:

```
for row in sheet.iter_rows():
    for cell in row:
        color = getattr(cell.fill.fgColor, "rgb", None)          ①
        print(color)                                             ②
```

① Wir lesen den Farbwert als Hexadezimalzahl aus.
② Wir geben den Farbwert aus, um zu sehen, wie er aussieht.

Die Ausgabe sieht ungefähr so aus:

```
00000000
00000000
...
FF000000
FF000000
...
```

Offenbar bekommen wir 8-stellige Hexadezimalzahlen. Was bedeuten die noch gleich?

4.6.4 Hexadezimale Farbwerte

Im vorigen Kapitel Kapitel 2 haben wir das Binärsystem kennengelernt. Es ist ein Stellenwertsystem zur Basis 2. Ein weiteres, in der Informatik wichtiges System, ist das Hexadezimalsystem zur Basis 16. Es verwendet die Ziffern 0 bis 9 und anschließend die Buchstaben A bis F für die Werte 10 bis 15.

Hexadezimale Zahlen werden häufig verwendet, um Bytes kompakt darzustellen. Wie ihr gleich sehen werdet, passt ein Byte nämlich perfekt in zwei Hexadezimalziffern.

Wir können unser bekanntes Stellenwertschema auf die Basis 16 anwenden:

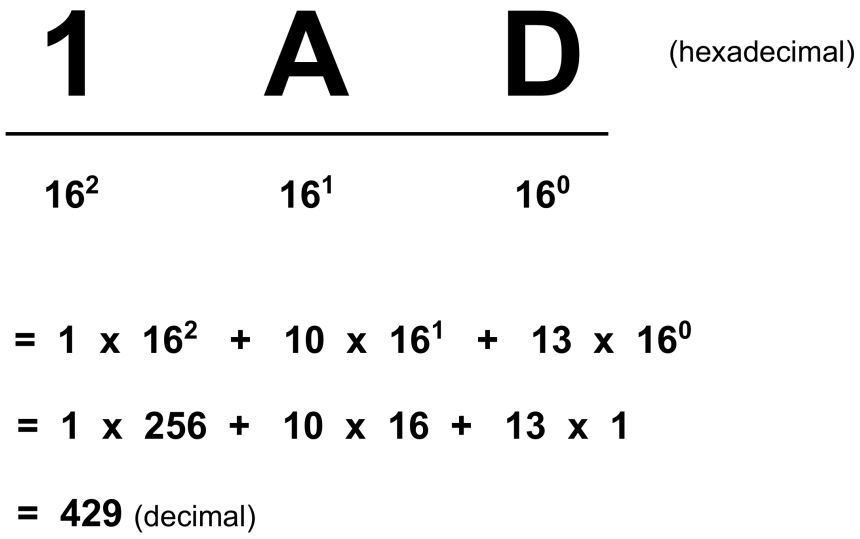


Abbildung 4.15: Das Stellenwertschema für das Hexadezimalsystem zur Basis 16. Funktioniert wie jedes andere Stellenwertsystem.

Die rechte Stelle hat den Wert $16^0 = 1$, die nächste links den Wert $16^1 = 16$, dann $16^2 = 256$ usw. Um den Wert einer Hexadezimalzahl zu berechnen, multiplizieren wir jede Ziffer mit ihrer Stellenwertigkeit und addieren die Ergebnisse.

Warum ist das interessant? Mit einer Hexadezimalziffer können wir Werte von 0 bis 15 darstellen. Im Binärsystem benötigen wir dafür vier Bits. Vier Bits entsprechen genau einem halben Byte, einem so genannten Nibble. Zwei Hexadezimalziffern können also alle 256 möglichen Werte eines Bytes (0–255) darstellen.

Kleine Randnotiz: In der Informatik wird eine Hexadezimalzahl häufig mit einem vorangestellten `0x` gekennzeichnet, um klarzumachen, dass es sich um eine Hexadezimalzahl handelt. So wird aus der Zahl 255 im Dezimalsystem die Zahl `0xFF` im Hexadezimalsystem.

Alpha-Werte

Zurück zur Ausgabe von oben: Wir haben 8-stellige Hexadezimalzahlen gesehen, obwohl ein RGB-Wert aus drei Bytes (also 6 Hexziffern) besteht. Die Erklärung: Die ersten beiden Ziffern

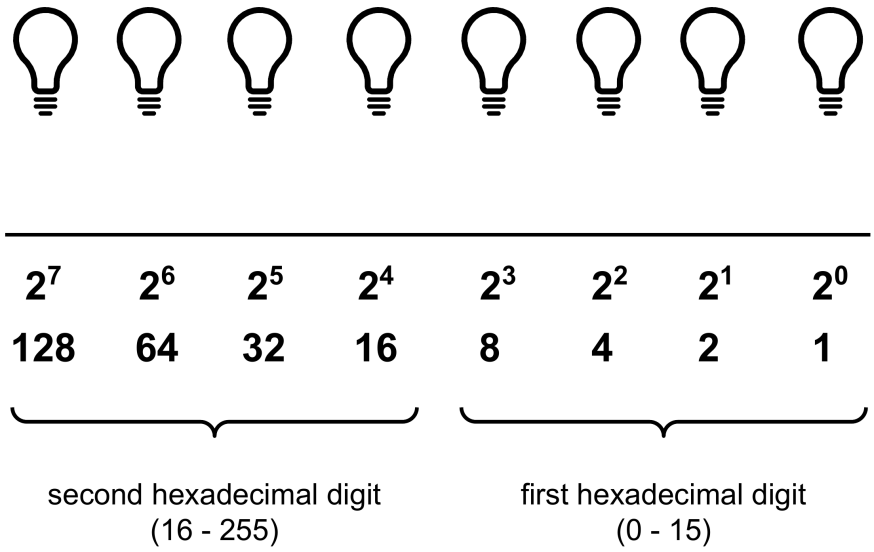
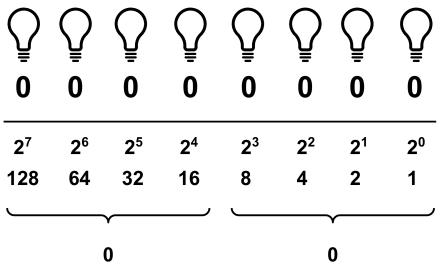
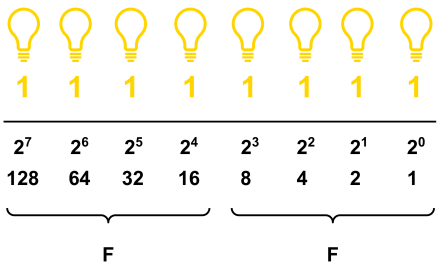


Abbildung 4.16: Ein Byte lässt sich schön kompakt mit zwei Hexadezimalziffern darstellen.



(a) 0 entspricht dem Hexadezimalwert 0x00.



(b) 255 entspricht dem Hexadezimalwert 0xFF.

Abbildung 4.17: Darstellung von Bytes als Hexadezimalzahlen.

repräsentieren die Transparenz (Alpha-Kanal), gefolgt von den sechs Ziffern für Rot, Grün und Blau.

In unserem Fall sind die Farben entweder komplett schwarz (`FF000000`) oder komplett weiß (`FF000000` für schwarz mit vollem Alpha, später `FFFFFFFF` für weiß). Die ersten beiden Ziffern `FF` stehen dabei für den Alpha-Wert: vollständig sichtbar.

Macht einmal den Test und färbt die obere linke Zelle in Rot ein. Nach einem erneuten Lauf (Excel speichern und schließen!) erhaltet ihr z.B.:

```
FFFF0000
00000000
...
```

`FFFF0000` steht für: FF (Alpha, voll sichtbar), FF (Rot, volle Intensität), 00 (Grün, 0), 00 (Blau, 0) – also Rot.

4.6.5 Die Liste mit Bits erstellen

Jetzt, da wir die Farbwerte verstehen, können wir sie auswerten. Für Darth Vader ist jede schwarze Zelle ein gesetztes Pixel (`1`), jede nicht-schwarze Zelle ein ausgeschaltetes Pixel (`0`):

```
from openpyxl import load_workbook

workbook = load_workbook("Darth Vader Pixel Art.xlsx")
sheet = workbook["Darth Vader"]

bits = []
for row in sheet.iter_rows():
    for cell in row:
        color = getattr(cell.fill.fgColor, "rgb", None)
        if color == "FF000000":        # schwarz
            bits.append(1)
        else:                           # alles andere behandeln wir als weiß
            bits.append(0)

print(f"Bitmap with {len(bits)} bits: {bits}")
```

Die `if`-Anweisung entscheidet, ob wir eine 1 oder 0 anhängen. Das Hinzufügen am Ende der Liste erledigt die `append()`-Methode. Am Ende haben wir eine Liste mit 648 Einträgen, genau so viele wie das Bild Pixel hat.

4.6.6 Anzeige auf dem Display

Wie wir Pixel auf dem Display anzeigen, haben wir in Abschnitt 4.2 gelernt. Jetzt nutzen wir dieselbe `write_pixels()`-Funktion, um Darth Vaders Maske darzustellen.

Wir müssen nur die Position und Größe des Bildes festlegen. Ich habe mich für die Position (50, 20) als oberen linken Punkt entschieden, so erscheint das Bild ungefähr in der Mitte. Das Bild ist 27 Pixel breit und 24 Pixel hoch, der untere rechte Punkt ist also (76, 43):

```
oled.write_pixels(50, 20, 76, 43, bits)
```

Natürlich müssen wir zuvor wie gewohnt den Boilerplate-Code zum Initialisieren des Displays ergänzen. Das komplette Programm sieht dann so aus:

```
from openpyxl import load_workbook
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_oled_128x64_v2 import BrickletOLED128x64V2

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect('localhost', 4223)
oled = BrickletOLED128x64V2('25zo', ipcon)
oled.clear_display()

workbook = load_workbook("xlsx/Darth Vader Pixel Art.xlsx")
sheet = workbook["Darth Vader"]

bits = []
for row in sheet.iter_rows():
    for cell in row:
        color = getattr(cell.fill.fgColor, "rgb", None)
        if color == "FF000000":
            bits.append(1)
        else:
            bits.append(0)

print(f"Bitmap with {len(bits)} bits: {bits}")
oled.write_pixels(50, 20, 76, 43, bits)
```

Und voilà: Darth Vader erscheint auf dem Display!

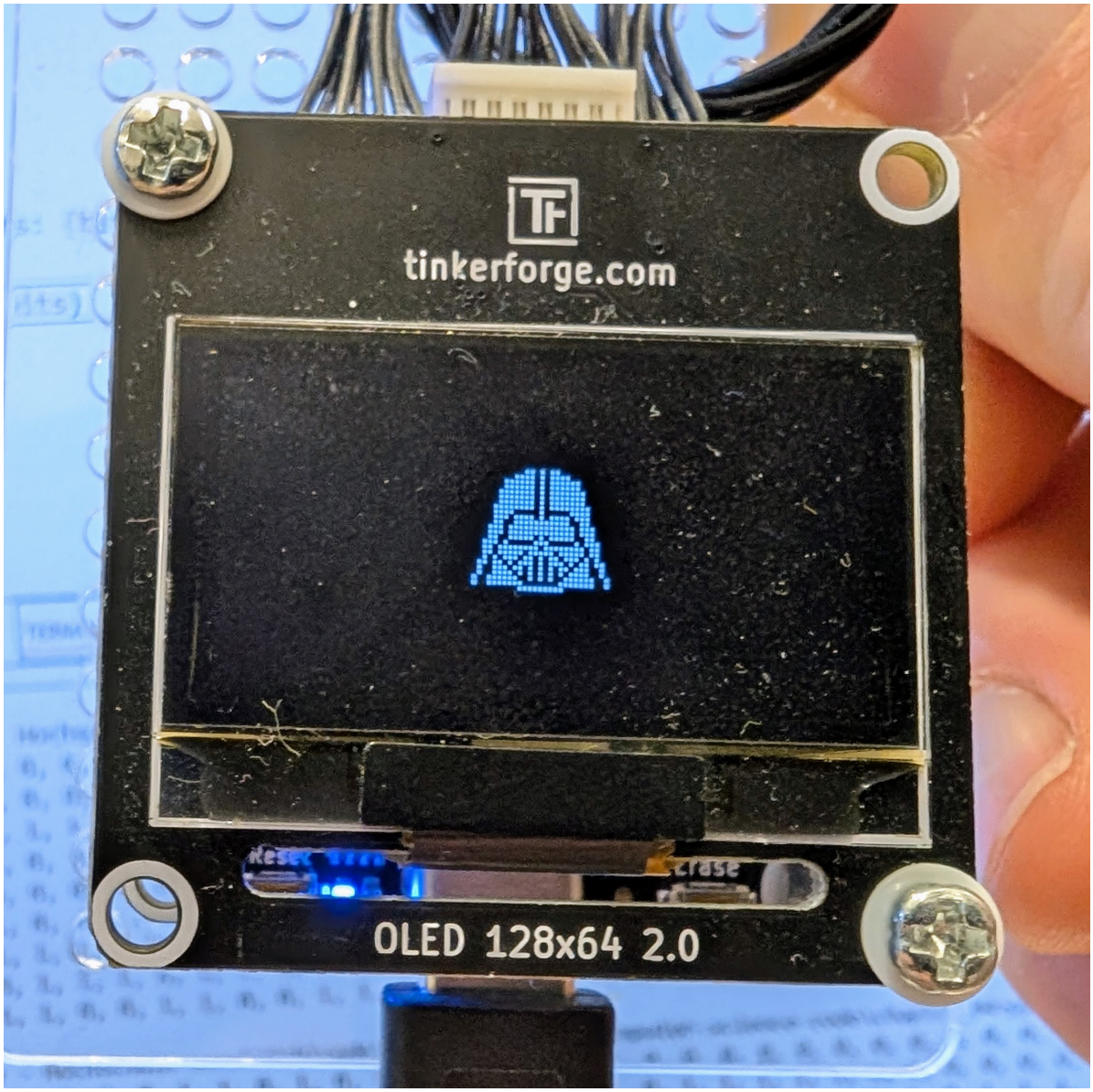


Abbildung 4.18: Darth Vaders Maske als Bitmap aus dem OLED-Display.

4.6.7 Eine Bitmap speichern

Wir haben ein Programm geschrieben, das eine Bitmap aus Excel ausliest und auf dem Display anzeigt. Excel ist dafür aber eher eine Notlösung. Für Bitmaps gibt es besser geeignete Formate, z.B. BMP (Bitmap). Es ist ein einfaches, unkomprimiertes Format, das die Pixelwerte direkt als Abfolge von Bits speichert.

Wenn wir das händisch machen wollten, müssten wir uns mit dem genauen Aufbau des BMP-Formats beschäftigen. Das besteht neben den Farbwerten nämlich auch aus einem so genannten Header, der Metainformationen wie Breite, Höhe oder die Farbtiefe eines Bildes speichert. Das sparen wir uns an dieser Stelle und nutzen stattdessen wieder eine Bibliothek, die alle einfacher macht: `Pillow`.

Installiert sie mit:

```
pip install Pillow
```

(MacOS-Nutzer: `pip3`.)

Mit `Pillow` können wir Bilder bequem erstellen und speichern. Für Darth Vader (27×24 Pixel, Schwarzweiß) sieht das so aus:

```
from PIL import Image                                    ①
...
image = Image.new('1', (27, 24))                         ②
image.putdata(bits)                                      ③
image.save("xlsx/darth_vader.bmp")                       ④
```

① Wir importieren die `Image`-Klasse aus `PIL` (Teil von `Pillow`).
② Wir erstellen ein neues Bildobjekt mit der Größe 27×24 Pixel im Modus `"1"` (Schwarzweiß).
③ Wir setzen die Pixelwerte des Bildes mit unserer Liste `bits` (zeilenweise von links nach rechts, oben nach unten).
④ Wir speichern das Bild als BMP-Datei.

Zuerst erstellen wir eine leere Hülle für unsere Bild und geben die Dimensionen sowie die Farbtiefe an. Anschließend übergeben wir dem Bild die Daten, hier unsere Liste `bits` mit den Nullen und Einsen. Mit `image.save()` speichern wir die Bitmap-Datei ab. Im Ordner `xlsx` solltet ihr nun die Datei `darth_vader.bmp` finden.

Damit haben wir die Kette geschlossen: Excel-Pixel → Bitliste → Anzeige auf dem Display → echte Bitmap-Datei. Im nächsten Schritt erweitern wir das Ganze auf Farbbilder.

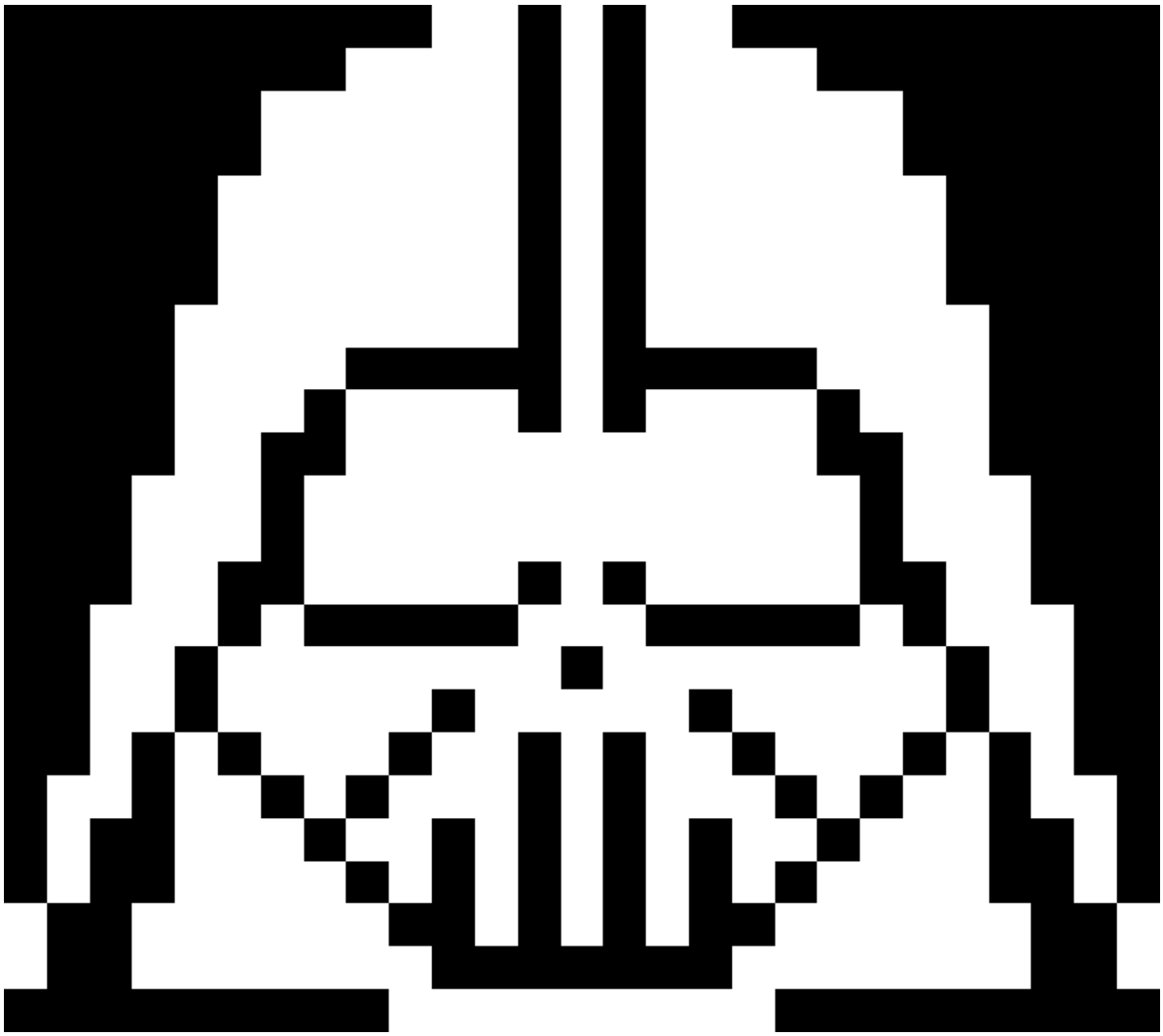


Abbildung 4.19: Darth Vader als Bitmap-Datei auf eurer Festplatte.

4.7 Farbe

Bisher haben wir nur Schwarzweiß-Bitmaps verwendet, in denen ein Pixel entweder 0 (schwarz) oder 1 (weiß) ist. Für unser Display reicht das, aber typische Bildschirme arbeiten mit Farben.

Die wichtigste Grundlage dafür, nämlich den RGB-Code, haben wir bereits in Kapitel 1 kennengelernt.

4.7.1 Bitmaps im RGB-Format

In Abbildung 4.20 seht ihr eine farbige Bitmap von Super Mario, wie sie auf der 8-Bit-Konsole Nintendo Entertainment System (NES) über den Bildschirm geflimmert ist. Die Auflösung der NES-Konsole war 256 × 240 Pixel – deutlich weniger als heutige Full-HD-Bildschirme, aber für viel Spielspaß ausreichend.

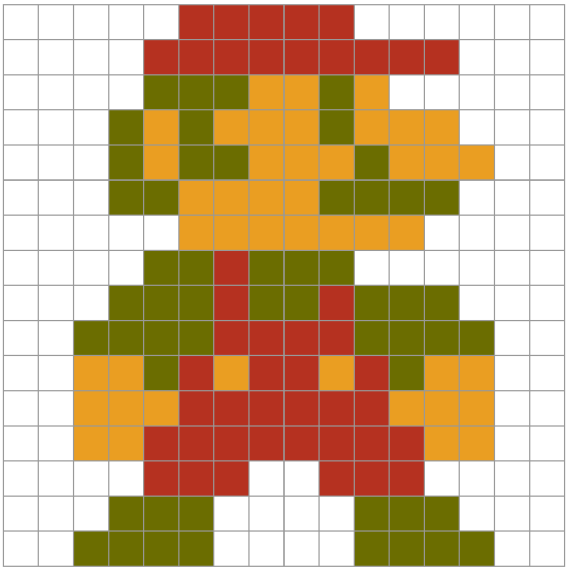


Abbildung 4.20: Super Mario aus der 8-Bit Nintendo-Spielkonsole NES als Bitmap

Super Mario in dieser Darstellung ist 16 Pixel breit und 16 Pixel hoch, also 256 Pixel. Jedes Pixel ist farbig und wird durch einen RGB-Wert (3 Bytes) repräsentiert. Damit benötigt die gesamte Bitmap 256 Pixel × 3 Bytes = 768 Bytes Speicherplatz. Übrigens: Die NES-Spielekonsole konnte nur 256 Farben gleichzeitig darstellen, was 8 Bits pro Pixel entspricht. In

diesem Fall wären es 256 Pixel × 1 Byte = 256 Bytes. Heute sind 24 Bits (3 Bytes) pro Pixel üblich, was 16,7 Millionen Farben ermöglicht.

Zum Vergleich: Darth Vader hatte 27×24 = 648 Pixel, aber nur 1 Bit pro Pixel. Das sind 648 Bits = 81 Bytes. Ein größeres Bild kann also *weniger* Speicher benötigen, wenn es nur Schwarzweiß ist. Die Farbtiefe spielt neben der Auflösung eine entscheidende Rolle für die Dateigröße.

Auch Super Mario habe ich als Excel-Tabelle erstellt, genau wie Darth Vader. Ihr könnt die Datei hier herunterladen.

Wir können unser Programm von oben grundsätzlich wiederverwenden, müssen es aber anpassen: Statt 0 oder 1 pro Pixel wollen wir die RGB-Werte in eine Liste von Dreiertupeln überführen: Ein Wert für jeden Farbkanal im RGB-Code.

Wir laden zunächst die neue Excel-Datei und das Tabellenblatt:

```
workbook = load_workbook("Super Mario Pixel Art.xlsx")
sheet = workbook["Super Mario"]
```

Die verschachtelten Schleifen bleiben, aber diesmal interessieren uns nicht nur Schwarz und Weiß, sondern die vollen RGB-Farben. `openpyxl` liefert die Farbwerte wieder als 8-stellige Hexadezimalzahlen (inklusive Alpha-Kanal). Uns interessieren nur die letzten 6 Ziffern:

```
bitmap = []
for row in sheet.iter_rows():
    for cell in row:
        color = getattr(cell.fill.fgColor, "rgb", None)
        color = color[2:]                                    ①
        print(color)                                         ②
```

① Wir schneiden die ersten beiden Ziffern (Alpha-Wert) ab.
② Wir prüfen, ob wir tatsächlich 6-stellige RGB-Werte erhalten.

Die Ausgabe sieht z.B. so aus:

```
FFFFFF
FFFFFF
...
B53120
B53120
...
```

Für die Bildspeicherung im RGB-Format benötigt `Pillow` pro Pixel ein Dreiertupel mit Dezimalwerten, z.B. für drei weiße Pixel:

```
bitmap = [(255, 255, 255), (255, 255, 255), (255, 255, 255)]
```

Wir müssen also:

1. Den Hex-String `RRGGBB` in seine Bestandteile zerlegen und
2. Jede Komponente in eine Dezimalzahl umwandeln.

Beides erledigt Python für uns:

```
...
color = getattr(cell.fill.fgColor, "rgb", None)
color = color[2:]

r = int(color[0:2], 16)                                                    ①
g = int(color[2:4], 16)                                                    ②
b = int(color[4:6], 16)                                                    ③
print(r, g, b)                                                             ④
```

① Wir extrahieren die ersten beiden Ziffern (Rot) und wandeln sie in eine Dezimalzahl um.
② Wir extrahieren die nächsten beiden Ziffern (Grün).
③ Wir extrahieren die letzten beiden Ziffern (Blau).
④ Wir prüfen, ob die Umwandlung funktioniert hat.

Die Ausgabe beginnt z.B. so:

```
255 255 255
255 255 255
...
181 49 32
...
```

Nun sammeln wir die RGB-Werte in einer Liste von Tupeln:

```
bitmap = []
for row in sheet.iter_rows():
    for cell in row:
        color = getattr(cell.fill.fgColor, "rgb", None)
        color = color[2:]
        r = int(color[0:2], 16)
```

```
        g = int(color[2:4], 16)
        b = int(color[4:6], 16)
        rgb_tuple = (r, g, b)
        bitmap.append(rgb_tuple)
```

Mit dieser Liste `bitmap` können wir nun ein farbiges Bild von Super Mario erzeugen und speichern. Das funktioniert analog zu Darth Vader oben, nur dass wir diesmal den Modus `'RGB'` und eine Dimensionierung von 16×16 Pixeln verwenden:

```
image = Image.new('RGB', (16, 16))
image.putdata(bitmap)
image.save("xlsx/super_mario_color.bmp")
```

Wenn ihr die Datei `super_mario_color.bmp` öffnet, seht ihr Mario in Farbe.

4.7.2 Struktur einer Bitmap-Datei

Schauen wir uns nun die Dateigröße an. Im Datei-Explorer oder im Terminal könnt ihr euch die Details einer Datei anzeigen lassen. Auf der Kommandozeile in Windows mit dem Befehl `dir`, unter Mac/Linux geht das mit `ls -lh`. So ungefähr sieht die Ausgabe aus:

```
28.10.2025  19:41    822 super_mario_color.bmp
```

Die Zahl direkt vor dem Dateinamen ist die Dateigröße in Bytes. In meinem Fall sind es 822 Bytes.

Rein rechnerisch bräuchten wir aber nur:

$$16 \cdot 16 \cdot 3 = 768$$

Bytes, denn wir haben $16 \times 16 = 256$ Pixel und jedes Pixel benötigt 3 Bytes. Wo kommen also die restlichen 54 Bytes her?

Die Erklärung: Eine Bitmap-Datei (und praktisch jede andere Datei auch) enthält neben den eigentlichen Informationen (hier: Pixelwerte) noch Metainformationen, also Informationen *über* das Bild. Dazu gehören z.B. Breite, Höhe und Farbtiefe. Diese Metadaten stehen im sogenannten Header am Anfang der Datei.

Die wichtigsten Strukturelemente einer Bitmap-Datei sind in Abbildung 4.21 dargestellt. Wir sehen dort die Datei in einem Hexadezimal-Editor. Jedes Kästchen repräsentiert ein Byte (2 Hexadezimalziffern). Die farbigen Bereiche kennzeichnen die verschiedenen Abschnitte der Datei.

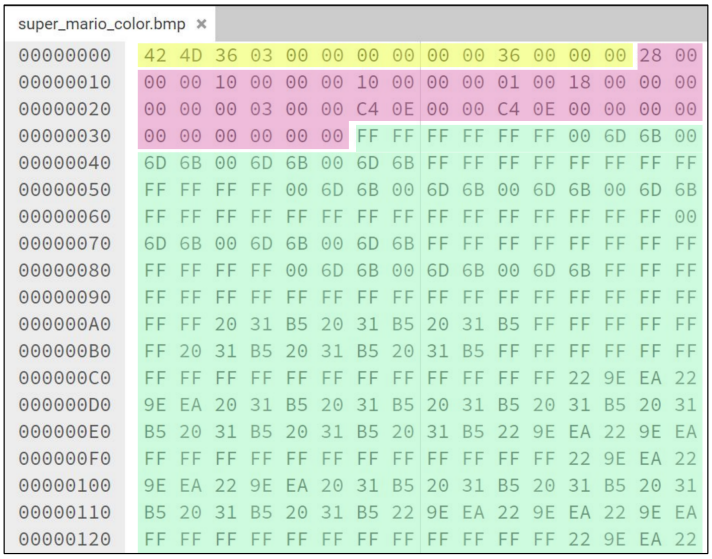


Abbildung 4.21: Die Struktur einer Bitmap-Datei am Beispiel der super_mario_color.bmp von oben

- Der kleine gelbe Bereich am Anfang ist 14 Bytes lang und stellt den Datei-Header dar. Die ersten beiden Bytes `42` und `4D` stehen für die ASCII-Zeichen “B” und “M” – ein Kennzeichen für Bitmap-Dateien. Hier steht auch die Gesamtgröße der Datei (z.B. `36 03 00 00`, was 822 Bytes entspricht; im sogenannten Little-Endian-Format sind die Bytes in umgekehrter Reihenfolge gespeichert) und die Position, an der die eigentlichen Pixelwerte beginnen (hier: Byte 54).
- Direkt danach folgt der rosafarbene Bereich mit 40 Bytes: der DIB-Header (Device Independent Bitmap). Hier sind u.a. Breite, Höhe und Farbtiefe gespeichert. Die `18` steht z.B. für 24 Bits Farbtiefe.
- Erst danach folgen die eigentlichen Pixelwerte (grün markiert). In unserem Fall sind das 768 Bytes.

Probiert es am besten selbst aus: Öffnet die Webseite hexed.it in eurem Browser, ladet `super_mario_color.bmp` und schaut euch die Datei an. Der Editor zeigt jedes Byte als Hexadezimalzahl an. In Abbildung 4.22 sind die Farbwerte der ersten drei Pixel rot umrandet.

Es passt also alles zusammen:

- 14 Bytes Datei-Header
- 40 Bytes DIB-Header

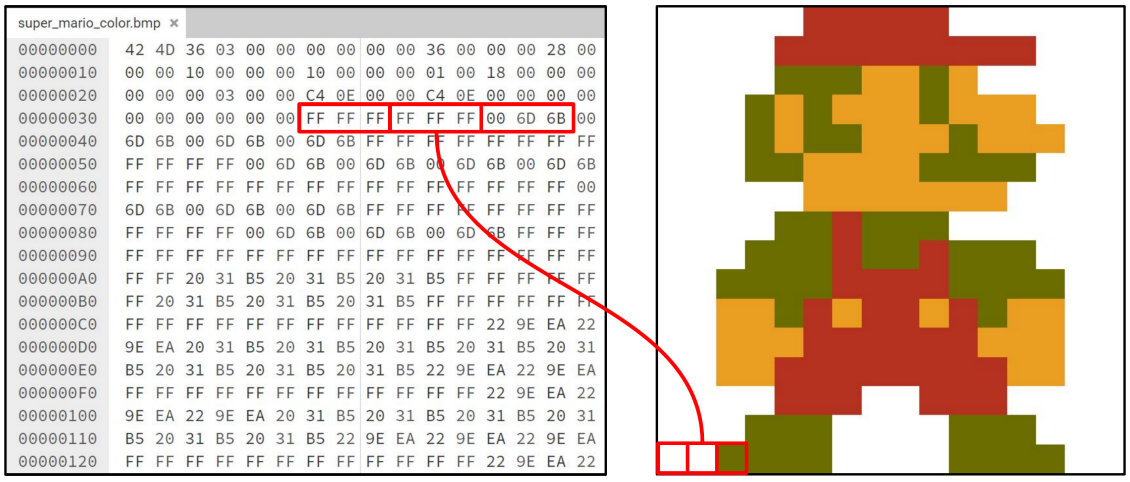


Abbildung 4.22: Marios Bitmap im Hex-Editor. Hier wird jedes Byte als Hexadezimalzahl angezeigt.

- 768 Bytes Pixelwerte

Das macht insgesamt 822 Bytes. Wir haben damit ein sehr konkretes Beispiel dafür, wie Bilddaten im Computer gespeichert werden.

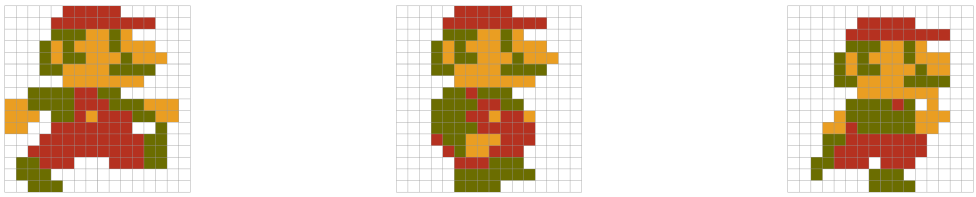
Im nächsten Schritt machen wir diese Bilder lebendig.

4.8 Animationen

Viele Anwendungen, z.B. Videospiele wie Super Mario, kommen mit statischen Bildern nicht aus. Mario kann laufen, hüpfen und Feuerkugeln schleudern. Auch bei Videoclips auf YouTube oder Filmen auf Netflix stehen bewegte Bilder im Vordergrund. Wie funktionieren solche bewegten Bilder?

Das Verständnis von statischen Bildern ist die Grundvoraussetzung dafür. Eine Animation besteht im Kern aus einer schnellen Abfolge von Einzelbildern (Frames), die nacheinander angezeigt werden. Wenn die Bilder schnell genug wechseln, entsteht der Eindruck von Bewegung. Unser Gehirn kann ab einer bestimmten Bildwechselrate nicht mehr zwischen einzelnen Bildern unterscheiden.

Um das einmal Hands-On zu erfahren, versuchen wir, Mario zum Laufen zu bringen. Dazu benötigen wir mehrere Bilder, die nacheinander die unterschiedlichen Posen abbilden, die Mario beim Laufen einnimmt. In Abbildung 4.23 seht ihr drei solcher Bilder (die werden auch Sprites genannt) – direkt aus dem Spiel "Super Mario Bros." der 1980er-Jahre.



(a) Erster Frame (b) Zweiter Frame (c) Dritter Frame

Abbildung 4.23: Drei Bilder – oder Frames – um Mario zum Laufen zu bringen.

Ein Sprite ist ein kleines Bild, das in Videospielen Figuren oder Objekte darstellt. In der Regel sind Sprites Teil einer größeren Grafikdatei, des sogenannten Sprite-Sheets. Jedes Bild im Sprite-Sheet repräsentiert eine bestimmte Pose oder Aktion. Indem das Spiel schnell zwischen diesen Bildern wechselt, entsteht der Eindruck von Bewegung.

Das fertige Ergebnis einer Mario-Animation seht ihr in **?@fig-images-super-mario-animation**. Es handelt sich um ein GIF (Graphics Interchange Format). Ein GIF ist ein Bildformat, das mehrere Einzelbilder in einer Datei speichern kann. Jedes Einzelbild wird als Frame bezeichnet, und die Frames werden in schneller Abfolge abgespielt.

Wir können dasselbe Prinzip nutzen, um eine Animation auf unser OLED-Display zu bringen: Wir zeigen mehrere Bitmaps nacheinander an und legen dazwischen kurze Pausen ein. Unser Display hat allerdings eine Einschränkung: Es kann nur Schwarzweiß. Also müssen wir unsere farbigen Sprites zunächst in Graustufen und dann in Schwarzweiß umwandeln.

4.9 Transformationen

Der große Vorteil digitaler Bilder ist, dass wir sie mit einfacher Arithmetik fast beliebig bearbeiten können. Viele Fotofilter (z.B. in Instagram oder Snapchat) basieren auf relativ einfachen Berechnungen pro Pixel.

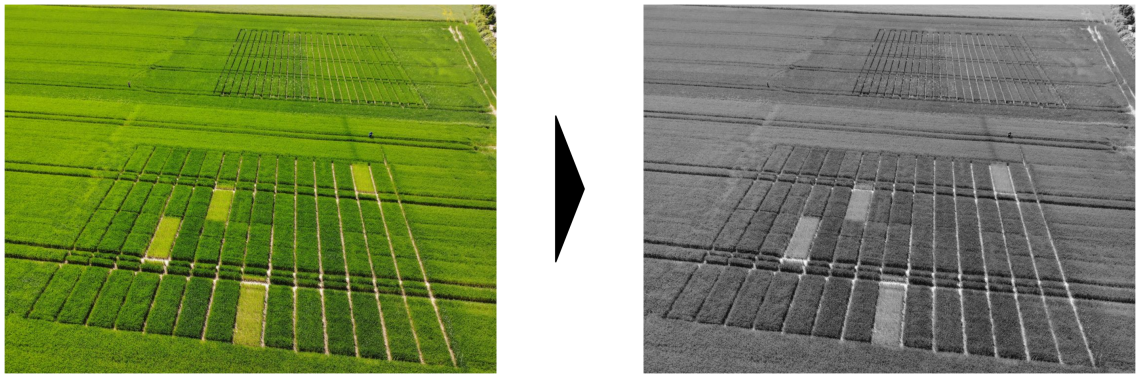
Für unsere Zwecke, ein Bild von Farbe zu Schwarzweiß zu transformieren, brauchen wir zwei Schritte:

1. Wir transformieren jedes Pixel eines Farbbilds in einen Grauwert (Graustufenbild).
2. Wir wandeln die Graustufen in Schwarzweiß um, indem wir einen Schwellenwert festlegen.

Wir demonstrieren das wieder an Super Mario.

4.9.1 Graustufen

In Abbildung 4.24 seht ihr ein Farbbild und die entsprechende Graustufenversion.



72

Abbildung 4.24: Ein Drohnenbild in Farbe und in Graustufen.

Um ein Farbbild in ein Graustufenbild zu verwandeln, müssen wir für jedes Pixel einen Helligkeitswert (Luminanz) berechnen. Eine einfache Möglichkeit wäre der Durchschnitt der drei Farbkanäle:

$$\text{luminance} = \frac{R + G + B}{3}$$

Besser an die menschliche Wahrnehmung angepasst ist jedoch eine gewichtete Summe, denn unser Auge reagiert empfindlicher auf Grün und Rot als auf Blau:

$$\text{luminance} = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$$

Wir wollen Mario möglichst menschenähnlich erscheinen lassen und verwenden deshalb diese gewichtete Summe.

In Python sieht die Luminanzberechnung so aus:

```
luminance = 0.299 * r + 0.587 * g + 0.114 * b
luminance = round(luminance)
```

`round()` wandelt den berechneten Wert in eine Ganzzahl um, denn die RGB-Werte müssen schließlich Ganzzahlen sein.

Zuerst laden wir das Farbbild von Mario mit `Pillow`:

```
from PIL import Image
image = Image.open("super_mario_color.bmp")                    ①
```

① Mit `Image.open()` laden wir die Bitmap-Datei und erhalten ein Bildobjekt.

Sobald wir ein Bild geladen haben, können wir über `image.getpixel()` den Farbwert eines bestimmten Pixels auslesen. Testen wir das Pixel in der linken oberen Ecke (0, 0):

```
pixel = image.getpixel((0, 0))
print(pixel)
```

Die Ausgabe lautet:

```
(255, 255, 255)
```

Wir erhalten also ein Tupel mit den RGB-Werten. Extrahieren wir sie und berechnen die Luminanz:

```
pixel = image.getpixel((0, 0))
r = pixel[0]
g = pixel[1]
b = pixel[2]

luminance = 0.299 * r + 0.587 * g + 0.114 * b
luminance = round(luminance)
print(f"R: {r}, G: {g}, B: {b}, Luminance: {luminance}")
```

Für das sechste Pixel in der ersten Reihe (x = 5, y = 0) erwarten wir einen rötlichen Wert (Marios Mütze):

```
pixel = image.getpixel((5, 0))
r = pixel[0]
g = pixel[1]
b = pixel[2]

luminance = 0.299 * r + 0.587 * g + 0.114 * b
luminance = round(luminance)
print(f"R: {r}, G: {g}, B: {b}, Luminance: {luminance}")
```

Die Ausgabe sieht z.B. so aus:

```
R: 181, G: 49, B: 32, Luminance: 87
```

Damit wir die Umrechnung nicht für jedes Pixel neu schreiben müssen, kapseln wir sie in einer Funktion:

```
def rgb_to_luminance(rgb_tuple):                                    ①
    r = rgb_tuple[0]
    g = rgb_tuple[1]
    b = rgb_tuple[2]

    luminance = 0.299 * r + 0.587 * g + 0.114 * b
    luminance = round(luminance)
    return luminance
```

① Die Funktion `rgb_to_luminance` erwartet ein Tupel `(R, G, B)` und gibt die Luminanz als Ganzzahl zurück.

Jetzt können wir für beliebige Pixel einfach:

```
pixel = image.getpixel((4, 0))
luminance = rgb_to_luminance(pixel)
print(f"Luminance of pixel (4,0): {luminance}")
```

4.9.2 Bitmap in Graustufen umwandeln

Jetzt müssen wir nur noch die neue Funktion auf alle Pixel anwenden und das Ergebnis speichern. Dazu können wir erneut zwei Schleifen einsetzen, die eine für jede Zeile, die andere für jedes Pixel in einer Zeile. Dafür benötigen wir die Breite und Höhe des Bildes, die wir beide auf einen Schlag mit `image.size` auslesen können:

```
w, h = image.size
```

Nun iterieren wir mit zwei verschachtelten `for`-Schleifen über alle Pixelkoordinaten und sammeln die Luminanzwerte in einer Liste:

```
w, h = image.size
grayscale_values = []
for y in range(h):
    for x in range(w):
        r, g, b = image.getpixel((x, y))
        luminance = rgb_to_luminance((r, g, b))
        grayscale_values.append(luminance)
```

(Vertipper in der Variablenname sind in eurem Code bitte zu vermeiden – hier nennen wir sie besser `grayscale_values`.)

Mit den gesammelten Graustufenwerten erzeugen wir ein neues Bild:

```
grayscale_image = Image.new("L", (w, h))  # Modus "L" für Graustufen
grayscale_image.putdata(grayscale_values)
grayscale_image.save("super_mario_grayscale.bmp")
```

Das Ergebnis seht ihr in Abbildung 4.25.

Der vollständige Code zur Umwandlung von Farbe in Graustufen sieht so aus:

4.9.3 Schwarzweiß

Unser Display kann nur zwei Zustände: Pixel an oder aus. Aus dem Graustufenbild müssen wir also im letzten Schritt ein reines Schwarzweißbild erzeugen. Aber wie?

Die Frage ist: Welche Pixel aus dem Graustufenbild sollen im Schwarzweißbild schwarz oder weiß sein? Dazu wäre es sinnvoll, dass wir uns einen Schwellenwert setzen, der die Grenze zwischen schwarz und weiß definiert. Alle dunkleren Graustufenwerte unterhalb des Schwellenwerts werden zu schwarz (0), alle darüber oder gleich dazu zu weiß (1). Wir implementieren das direkt als Funktion:

```
def luminance_to_bw(luminance, threshold=128):                    ①
    if luminance < threshold:
        return 0
    else:
        return 1
```

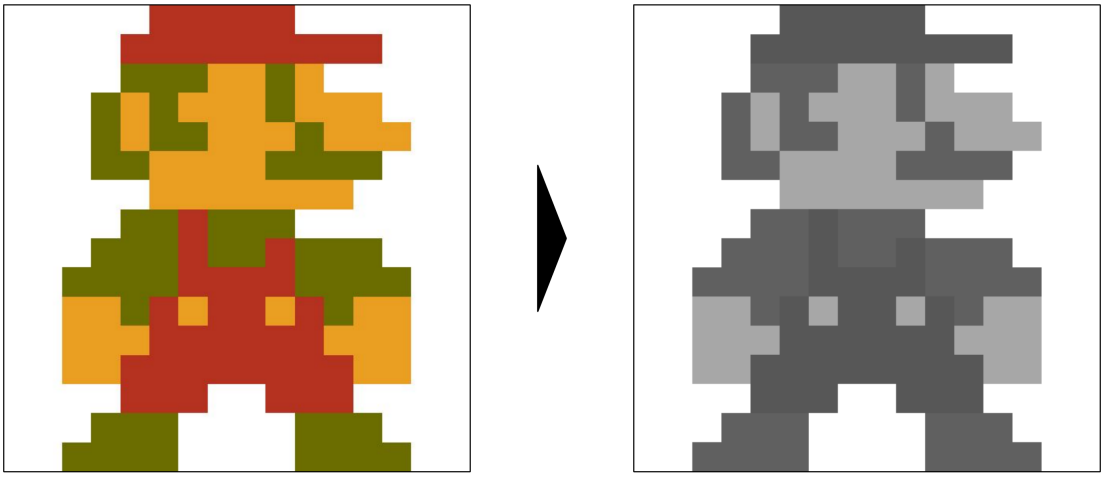


Abbildung 4.25: Mario als Graustufenbild, das unser Programm erzeugt hat.

① Die Funktion erwartet einen Luminanzwert und einen optionalen Schwellenwert (Standard: 128) und liefert 0 (schwarz) oder 1 (weiß).

Wie zuvor mit der Graustufenumwandulung können wir die neue Funktion auf jedes Pixel anwenden. Und zwar in der inneren Schleife, damit wir die neue Funktion auf alle Pixel des Graustufenbildes anwenden können:

```
from PIL import Image
image = Image.open("xlsx/super_mario_grayscale.bmp")

def luminance_to_bw(luminance, threshold=128):
    if luminance < threshold:
        return 0
    else:
        return 1

w, h = image.size
bw_values = []
for y in range(h):
    for x in range(w):
        grayscale_value = image.getpixel((x, y))
```

Listing 4.1 Der vollständige Code zur Umwandlung von Farbe in Graustufen.

```
from PIL import Image
image = Image.open("xlsx/super_mario_color.bmp")

def rgb_to_luminance(rgb_tuple):
    r = rgb_tuple[0]
    g = rgb_tuple[1]
    b = rgb_tuple[2]

    luminance = 0.299 * r + 0.587 * g + 0.114 * b
    luminance = round(luminance)
    return luminance

w, h = image.size
grayscale_values = []
for y in range(h):
    for x in range(w):
        r, g, b = image.getpixel((x, y))
        luminance = rgb_to_luminance((r, g, b))
        grayscale_values.append(luminance)

print(f"Grayscale bitmap with {len(grayscale_values)} pixel values: {grayscale_values}")

grayscale_image = Image.new("L", (w, h))
grayscale_image.putdata(grayscale_values)
grayscale_image.save("xlsx/super_mario_grayscale.bmp")
```

```
        bw = luminance_to_bw(grayscale_value, 128)
        bw_values.append(bw)

print(f"Black and white bitmap with {len(bw_values)} pixel values: {bw_values}")

bw_image = Image.new("1", (w, h))
bw_image.putdata(bw_values)
bw_image.save("xlsx/super_mario_bw.bmp")
```

Das Ergebnis seht ihr in Abbildung 4.26. Wie ihr sicher erkennt, verlieren wir auf dem Weg von Links nach Rehcts eine Menge Informationen.

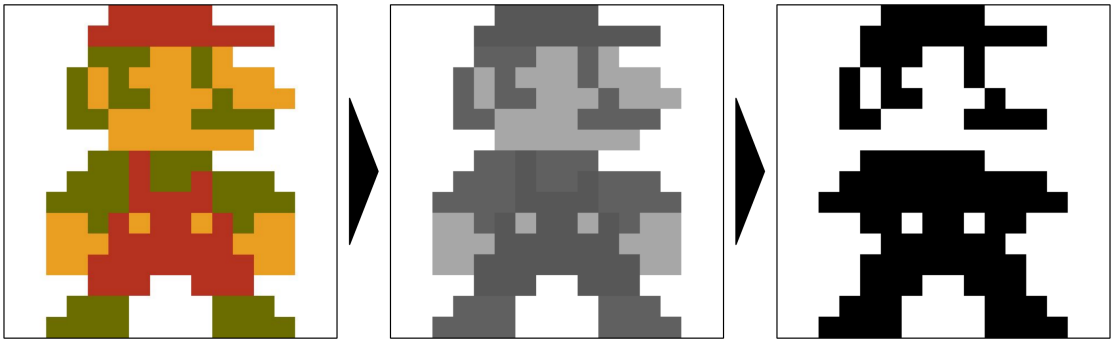


Abbildung 4.26: Mario in Schwarzweiß, was offensichtlich ein großer Informationsverlust ist.

4.9.4 Informationsverlust

Was fällt an der Kaskade von Farbe über Graustufen zu Schwarzweiß auf? Es geht eine Menge Information verloren.

- In Farbe haben wir 256 Farbstufen pro Kanal, also über 16 Millionen mögliche Farben.
- In Graustufen haben wir 256 Helligkeitswerte.
- In Schwarzweiß bleiben nur noch 2 Zustände.

Mario ist am Ende zwar noch erkennbar, aber viele Details sind verloren gegangen. Besonders die seine Haut ist jetzt weiß und setzt sich nicht mehr vom Hintergrund ab. Wir könnten mit dem Schwellenwert experimentieren, aber mit nur zwei Farben bleibt die Darstellungsqualität stark begrenzt.

Eine wichtige Erkenntnis: Die Anzahl an Informationen im Bild (Farbtiefe und Auflösung) bestimmt maßgeblich die Qualität. Mehr Farben und mehr Pixel bedeuten ein detailreicheres Bild, aber auch größere Dateien. Dieser Trade-off zwischen Qualität und Größe begleitet uns überall in der Informatik.

Für Mario, der in seinem echten Klempnerdasein farbig ist, funktioniert die schwarzweiße Welt nicht gut. Wir nutzen deshalb für die Animation auf unserem Display eine Figur, die sowieso in Unifarbe daher kommt. Wenn ihr aber trotzdem mal ausprobieren wollt, wie Mario

in Schwarzweiß auf dem Laufsteg aussieht, könnt ihr das gerne ausprobieren. Ihr findet die drei Bilder in dem zu diesem Buch gehörigen GitHub-Repository.

Für eine Animation auf unserem kleinen Display suchen wir uns eine Figur, die auch in Schwarzweiß gut funktioniert: Pacman.

4.10 Pacman

4.10.1 Von Farbe zu Schwarzweiß

Am Beispiel von Mario haben wir bereits eine Verarbeitungslogik von Farbe zu Schwarzweiß kennengelernt. Für Pacman können wir uns das Leben noch weiter vereinfachen.

Pacman ist ein weiterer Spieleklassiker aus den 1980er Jahren, mit dem ich meine ganz eigene Geschichte habe: Mein erstes größeres Programmierprojekt war die Entwicklung eines Pacman-Spiels in Turbo Pascal. Das ist 1998 während meines Ausslandsaufenthaltes in North Carolina in der elften Schulklasse entstanden. Für das Projekt habe ich Pacman Pixel für Pixel gezeichnet und animiert.

Das Spiel ist schnell erklärt. Pacman ist eine kreisförmige, gelbe Figur, die der Spieler durch ein Labyrinth steuert und dabei möglichst viele Punkte frisst. Währendessen wird Pacman von Geistern gejagt. Einen Eindruck vom Originalspiel seht ihr in Abbildung 4.27.

Wenn Pacman läuft, öffnet und schließt sich sein Mund im Wechsel. In Abbildung 4.28 seht ihr diese Mundbewegung in drei Bildern. Diese drei Sprites wollen wir im Folgenden auf unser Display übertragen.

Pacman von Farbe zu Schwarzweiß umzuwandeln ist denkbar einfach: Es gibt im Wesentlichen nur eine relevante Farbe (Gelb). Wir entscheiden also: Alle gelben Pixel werden weiß (1), alle anderen schwarz (0). Praktisch prüfen wir einfach, ob ein Pixel *nicht* weiß ist.

Wir laden zunächst das Bitmap-Bild von Pacman mit geschlossenem Mund und iterieren dann über alle Pixel, um die Schwarzweiß-Werte zu erzeugen:

```
from PIL import Image
image = Image.open("bmp/pacman_closed.bmp")                    ①

w, h = image.size                                              ②
pacman_closed = []                                             ③

for y in range(h):                                             ④
    for x in range(w):
        r, g, b = image.getpixel((x, y))                       ⑤
```

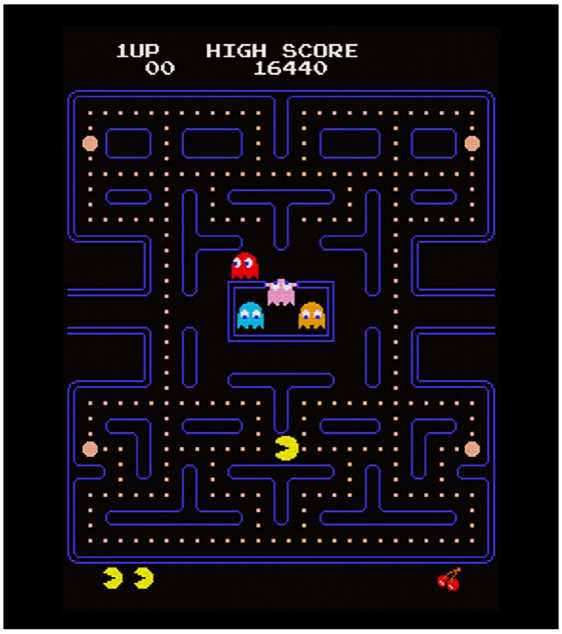


Abbildung 4.27: So sah Pacman früher als Arcade-Game aus.

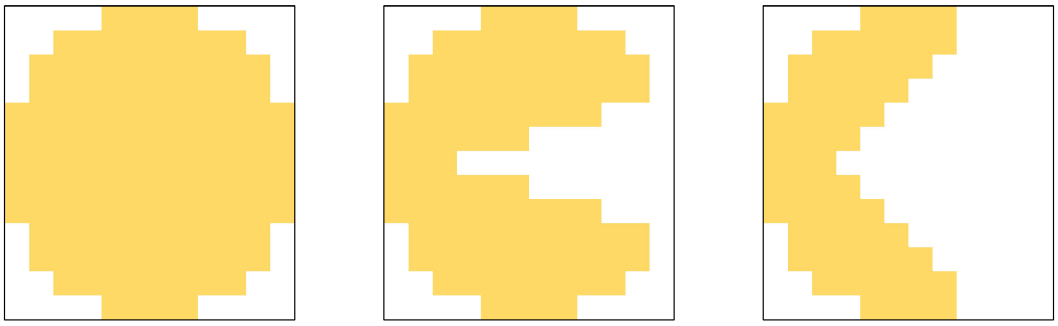


Abbildung 4.28: Pacman öffnet den Mund in 3 Bildern

```
        if r == 255 and g == 255 and b == 255:                    ⑥
            pacman_closed.append(0)
        else:
            pacman_closed.append(1)

print(pacman_closed)
```

① Wir laden die Bitmap-Datei von Pacman mit geschlossenem Mund.
② Wir lesen Breite und Höhe aus.
③ Wir erstellen eine Liste für die Schwarzweiß-Werte.
④ Zwei verschachtelte Schleifen iterieren über alle Pixelkoordinaten.
⑤ Wir lesen den RGB-Wert des aktuellen Pixels.
⑥ Ist das Pixel weiß, fügen wir eine 0 hinzu, sonst eine 1.

Die Logik in der Schleife ist einfach: Wenn alle Farbkomponenten den Wert 255 haben, dann ist das Pixel weiß und gehört somit nicht zu Pacman. Wir notieren also eine 0. Ansonsten ist das Pixel Teil von Pacman, und wir notieren eine 1.

Die Ausgabe in der letzten Zeile ist eine Liste, die etwa so aussieht:

```
[0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, ... 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0]
```

Genau dieses Format benötigen wir, um das Bild auf dem Display darzustellen. Perfekt!

Jetzt ergänzen wir wieder unseren Tinkerforge-Boilerplate und zeigen Pacman an:

```
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_oled_128x64_v2 import BrickletOLED128x64V2

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect('localhost', 4223)
oled = BrickletOLED128x64V2('25zo', ipcon)
oled.clear_display()

# Code zum Laden und Umwandeln des Bildes in Schwarzweiß (siehe oben)
...

oled.write_pixels(10, 10, 21, 22, pacman_closed)
```

Wir setzen Pacmans obere linke Ecke auf (10, 10). Pacman ist 12×13 Pixel groß, der untere rechte Eckpunkt ist also (21, 22). Wenn ihr das Programm ausführt, sollte Pacman mit geschlossenem Mund auf dem Display erscheinen (siehe Abbildung 4.29a).

4.10.2 Pacman-Animation

Dasselbe Vorgehen können wir für die beiden anderen Bilder (halb geöffneter und geöffneter Mund) wiederholen. Anstatt den Code zu kopieren, kapseln wir die Umwandlung in eine Funktion:

```
from PIL import Image


def convert_rgb_to_bw(image_path):
    image = Image.open(image_path)
    w, h = image.size

    bw_values = []
    for y in range(h):
        for x in range(w):
            r, g, b = image.getpixel((x, y))

            if r == 255 and g == 255 and b == 255:
                bw_values.append(0)
            else:
                bw_values.append(1)

    return bw_values
```

Die Funktion `convert_rgb_to_bw` nimmt den Pfad eines Bildes entgegen, lädt es, wandelt alle Pixel in 0 oder 1 um und gibt die resultierende Liste zurück.

Wir rufen sie für alle drei Pacman-Bilder auf:

```
pacman_half = convert_rgb_to_bw("bmp/pacman_half.bmp")
pacman_closed = convert_rgb_to_bw("bmp/pacman_closed.bmp")
pacman_open = convert_rgb_to_bw("bmp/pacman_open.bmp")
```

Jetzt können wir die drei Bitmaps mit `write_pixels()` nacheinander anzeigen. Dazwischen legen wir kurze Pausen ein, damit unser Auge die Bilder wahrnehmen kann. Das Ganze läuft in einer Endlosschleife:

```
import time

wait_time = 0.1
while True:
```

```
    oled.write_pixels(10, 10, 21, 22, pacman_closed)
    time.sleep(wait_time)
    oled.write_pixels(10, 10, 21, 22, pacman_half)
    time.sleep(wait_time)
    oled.write_pixels(10, 10, 21, 22, pacman_open)
    time.sleep(wait_time * 2)
    oled.write_pixels(10, 10, 21, 22, pacman_half)
    time.sleep(wait_time)
```

Über die Variable `wait_time` könnt ihr die Geschwindigkeit der Animation steuern. In der letzten Phase (`pacman_open`) verdoppeln wir die Wartezeit, damit Pacman mit offenem Mund etwas länger sichtbar ist.

(a) Erster Frame (b) Zweiter Frame (c) Dritter Frame

Abbildung 4.29: Die drei Pacman-Frames auf dem OLED-Display.

So sieht das Ganze als bewegtes Bild auf dem Display aus (siehe **?@fig-images-pacman-animation-display**):

In Listing 4.2 findet ihr den vollständigen Code für die Pacman-Animation, den ihr auch im GitHub-Repository findet:

Im echten Spiel bewegt Pacman nicht nur seinen Mund, sondern wandert durch das Labyrinth. Dafür müssten wir die Koordinaten des Rechtecks verändern und Pacman Pixel für Pixel über das Display bewegen. Ihr könnt das einmal selbst ausprobieren: Lasst Pacman von Links nach Rechts über den Bildschirm laufen. Wenn er am Ende angekommen ist, beginnt wieder von Vorne.

Für ein echtes Spiel müssten wir zusätzlich weitere Sprites für die Bewegungen in die anderen drei Richtungen erzeugen. Wenn Pacman nach rechts läuft, dann sollte er auch in die entsprechende Richtung blicken. Das selbe gilt für Oben und Unten. Das sparen wir uns an dieser Stelle, denn schließlich wollen wir kein komplettes Spiel entwickeln, sondern etwas über

die Grundlagen moderner Computer lernen. Das haben wir hoffentlicht für das Theme Bilder heute geschafft.

Im nächsten Kapitel wenden wir uns wieder einem anderen spannenden Thema zu, das eine große Relevanz im Zusammenhang mit Computern hat: Töne und Klänge.

Listing 4.2 Der vollständige Code für die Pacman-Animation

```
from tinkerforge.ip_connection import IPConnection
from tinkerforge.bricklet_oled_128x64_v2 import BrickletOLED128x64V2
import time
from PIL import Image

ipcon = IPConnection()
ipcon.connect("localhost", 4223)
oled = BrickletOLED128x64V2("<YOUR_UID>", ipcon)
oled.clear_display()

def convert_rgb_to_bw(image_path):
    image = Image.open(image_path)
    w, h = image.size

    bw_values = []
    for y in range(h):
        for x in range(w):
            r, g, b = image.getpixel((x, y))

            if r == 255 and g == 255 and b == 255:
                bw_values.append(0)
            else:
                bw_values.append(1)

    return bw_values

pacman_half = convert_rgb_to_bw("bmp/pacman_half.bmp")
pacman_closed = convert_rgb_to_bw("bmp/pacman_closed.bmp")
pacman_open = convert_rgb_to_bw("bmp/pacman_open.bmp")

wait_time = 0.1
while True:
    oled.write_pixels(10, 10, 21, 22, pacman_closed)
    time.sleep(wait_time)
    oled.write_pixels(10, 10, 21, 22, pacman_half)
    time.sleep(wait_time)
    oled.write_pixels(10, 10, 21, 22, pacman_open)
    time.sleep(wait_time * 2)
    oled.write_pixels(10, 10, 21, 22, pacman_half)
    time.sleep(wait_time)
```

Literaturverzeichnis

Adami, Christoph. 2016. „What is Information¿‘ *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 374 (2063): 20150230. https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0230.

Brookshear, J. Glenn, und Dennis Brylow. 2020. *Computer science: an overview*. 13th edition, global edition. NY, NY: Pearson.

Gallenbacher, Jens. 2020. *Abenteuer Informatik: IT zum Anfassen für alle von 9 bis 99, vom Navi bis Social Media*. 4. Auflage, korrigierte Publikation. Berlin Heidelberg: Springer.

Petzold, Charles. 2022. *Code: the hidden language of computer hardware and software*. 2. Aufl. Hoboken: Microsoft Press.

Pólya, George, und John Horton Conway. 2004. *How to solve it: a new aspect of mathematical method*. Expanded Princeton Science Library ed. Princeton science library. Princeton [N.J.]: Princeton University Press.

Scott, John C. 2009. *But how do it know?: the basic principles of computers for everyone*. Oldsmar, FL: John C. Scott.

Index