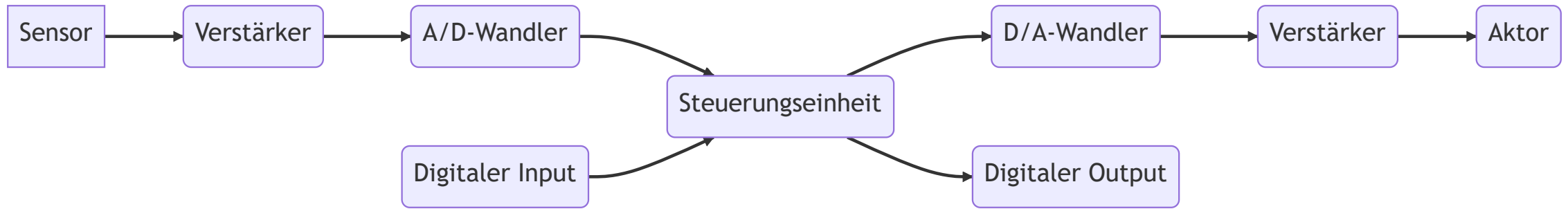
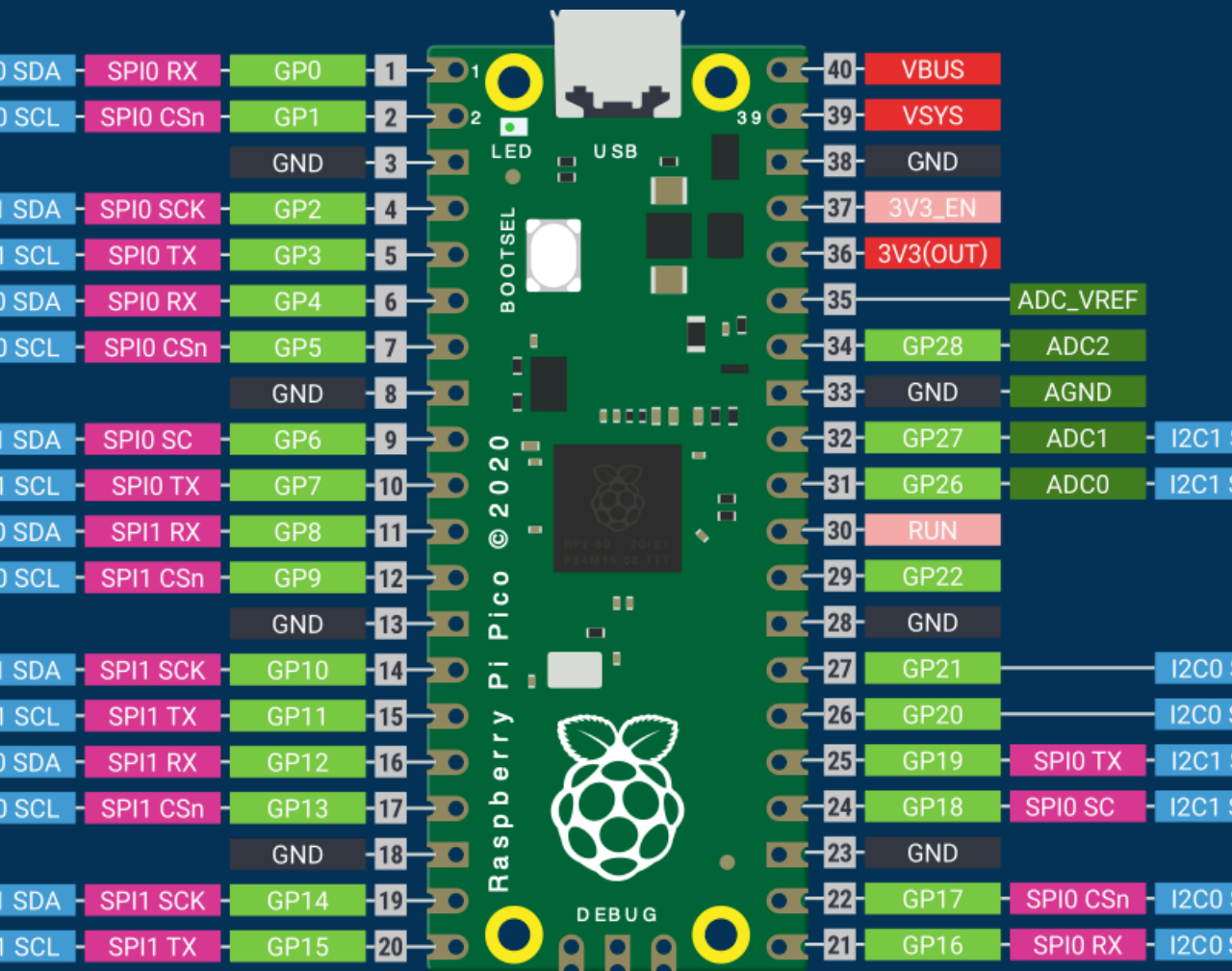


2.1 Messkette

EVA-Prinzip



- Gebäudeautomation wird durch eine Steuerungseinheit überwacht und gesteuert
- Hierzu werden Eingangs-Signale gemessen und Ausgangssignale erzeugt
- In der Steuerungseinheit werden Funktionen implementiert, die die Messsignale in Ausgangssignale umwandeln
- Steuerungseinheiten sind heute meist frei programmierbar (z.B. Speicherprogrammierbare Steuerung) oder wurden für bestimmte Funktionen vorprogrammiert (z.B. Mikrocontroller in LED-Vorschaltgeräten)



Digitale Eingänge

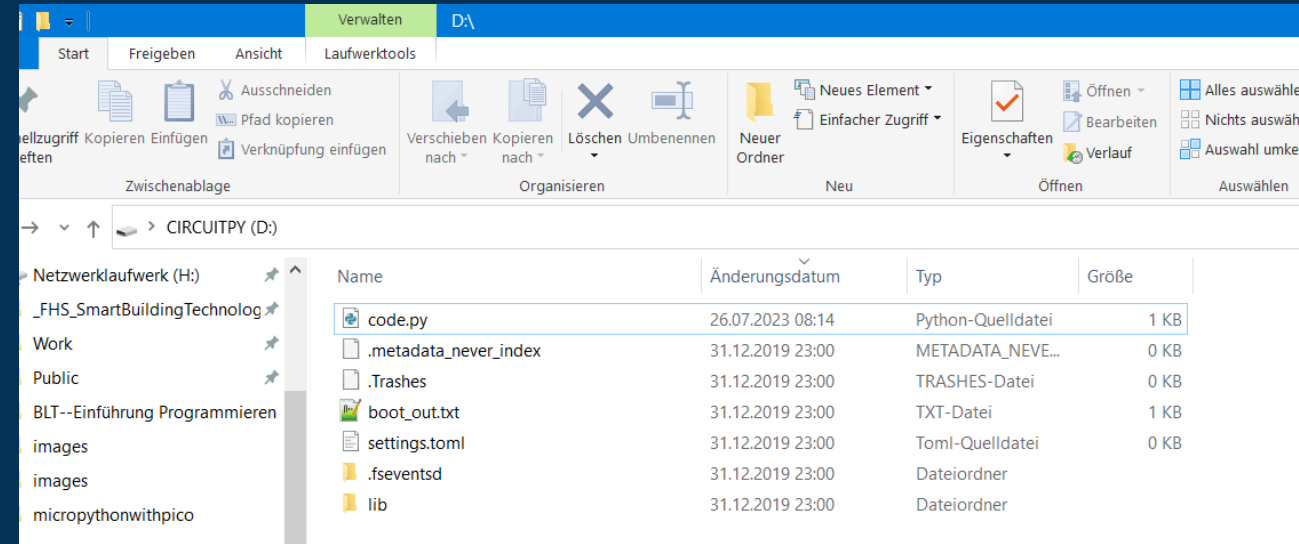
- Digitale Eingänge können nur zwei Zustände annehmen (0: `False` oder 1: `True`)
- Die Zustände werden durch Spannungen repräsentiert
- i.d.R. gibt es Spannungsbereiche, die als `0` oder `1` interpretiert werden

Aufgabe 2_1_1: Raspberry Pi Pico als Mikrocontroller

- Beim Raspberry Pi Pico handelt es sich um einen Mikrocontroller, der mittels Python programmiert werden kann
- Im folgenden wird folgende Hardware benötigt:
 - Raspberry Pi Pico (WH)
 - Breadboard
 - Taster
 - Widerstand ca. 470Ω und $10\text{ k}\Omega$
 - Jumperkabel
- Ziel ist es, dass der Mikrocontroller den Taster ausliest und den Zustand auf der Konsole ausgibt

CircuitPython installieren

- Halten Sie den **BOOTSEL** Taster auf dem Pico gedrückt und verbinden Sie diesen über USB mit dem Rechner
- Passende Firmware **UF2-File** herunterladen und in den als USB-Laufwerk erkannten Pico kopieren
- Pico sollte jetzt neu starten und die Firmware installieren
- Nach dem erneuten Verbinden sollten nun einige Programme im Pico liegen



Programmieren des Pico mittels CircuitPython

- Öffnen Sie im Chrome Browser die Seite des [Online Editors](#) in einem Chromium-basierten Browser
- Verbinden Sie Sich mittels USB
- Wählen Sie die Schnittstelle `CircuitPython CDC Control` aus
- Öffnen Sie das Verzeichnis (USB-Laufwerk) `CIRCUITPY` und wählen Sie `USE /`
- Öffnen Sie die Datei `code.py` und fügen Sie den folgenden Inhalt ein
- Öffnen Sie die Serielle Schnittstellen, um die Ausgabe zu sehen `Serial`, übertragen Sie den Code und starten Sie den Pico neu `Save + Run`

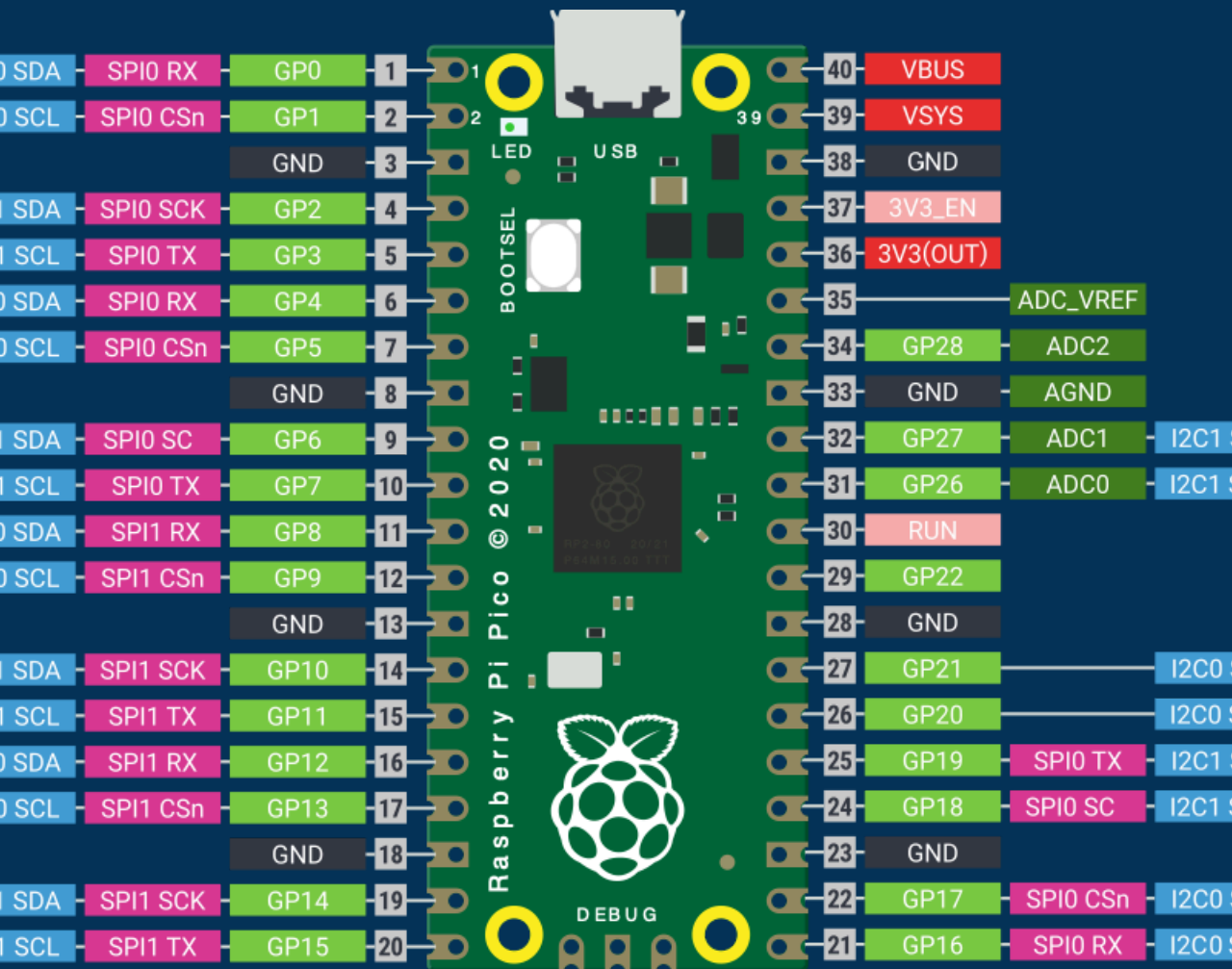
Hauptprogramm `code.py`

- Dieses Programm wird automatisch ausgeführt und ist der Einstiegspunkt für alle Programme (vgl. `MAIN` bei TwinCat)
- Passen Sie das Hauptprogramm so an, dass die LED länger hell als dunkel ist
- Passen Sie die Ausgabe an indem Sie `"Sleep!"` ersetzen

```
# Externe Bibliotheken laden
import time      # Bibliothek Zeit-Funktionen
import digitalio # Bibliothek zur Steuerung von GPIOs
import board     # Bibliothek welches die Adressen der Pins kennt: z.B. board.LED

# Ein- und Ausgänge definieren
led = digitalio.DigitalInOut(board.LED) # Die Variable LED wird mit dem GPIO der LED auf dem Board verbunden
led.direction = digitalio.Direction.OUTPUT # Legt Richtung des PIN fest -> Output

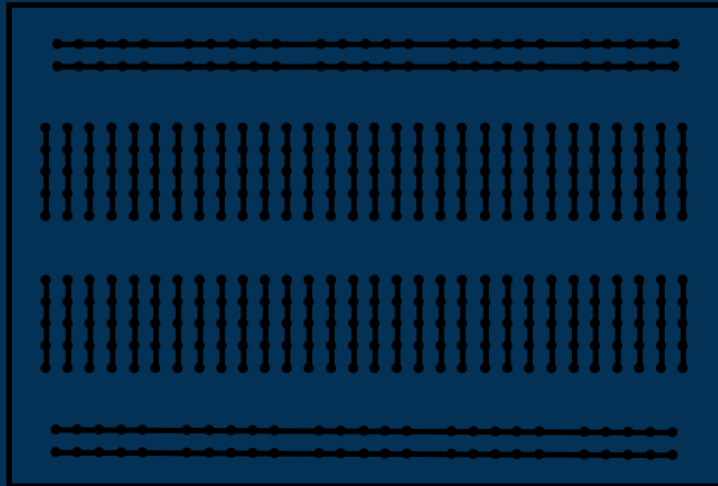
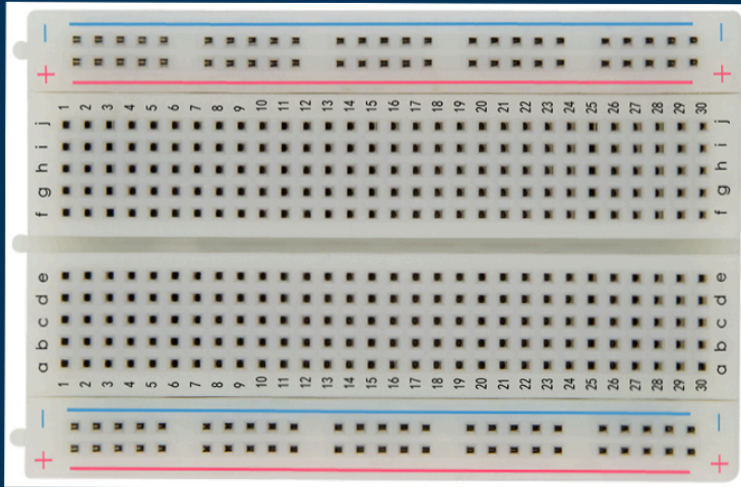
# Endlosschleife
while True:
    led.value = True
    time.sleep(0.5)
    led.value = False
    time.sleep(0.5)
    print("Sleep!")
```



Pin-Übersicht

- VCC Voltage Common Connector: Spannungs-Versorgung 5 oder 3.3 V
 - Alles unter 0,8 V ist low
 - alles über 1,3 V ist high
- Ground: 0 V
- Einige GPIOs können als Busleitungen genutzt werden: UART, SPI, I2C

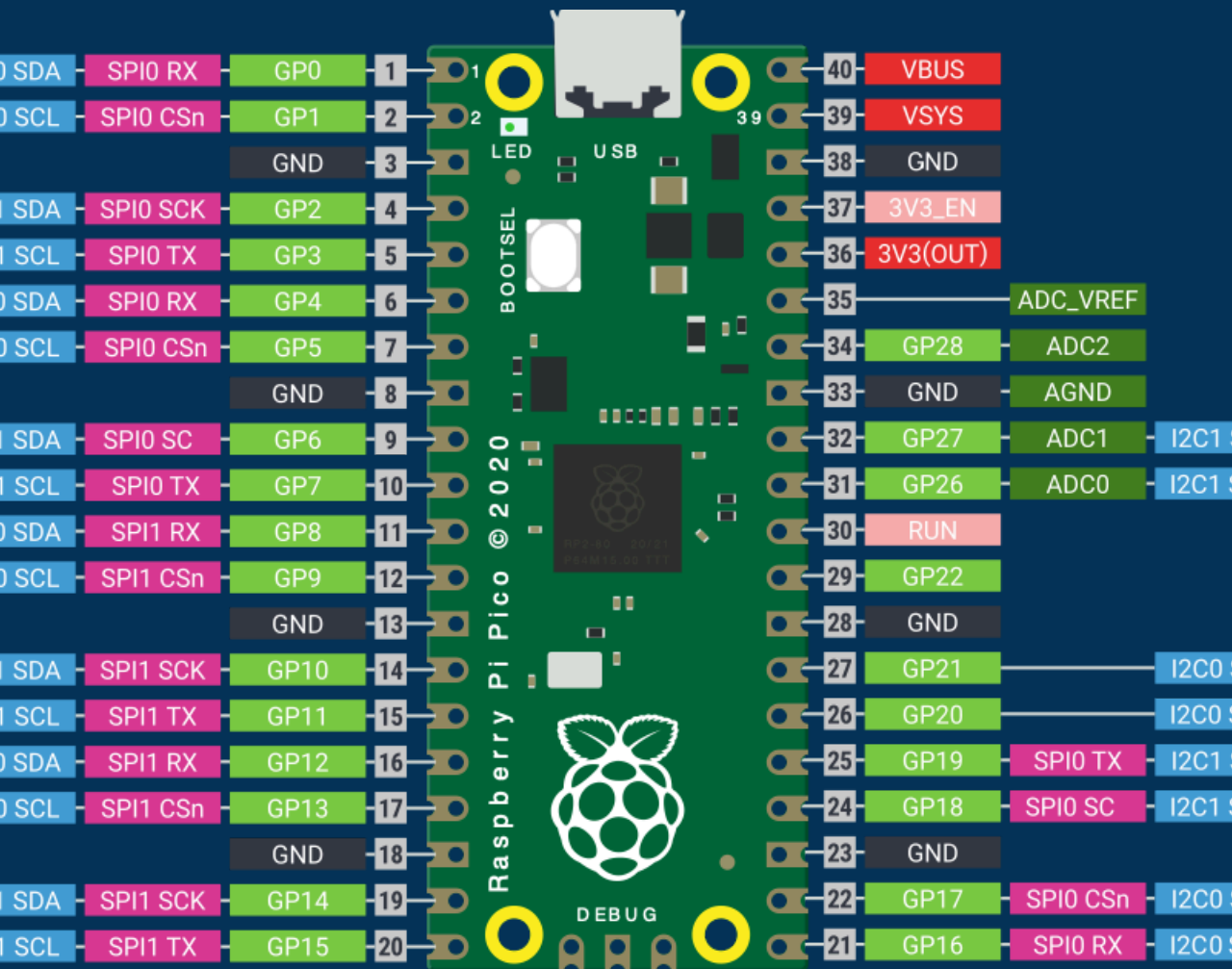
Quelle



Breadboards

- Steckplatine für Systemtest und Prototyping
- vier Reihen für Spannungsversorgung
- weitere Raster sind längs verbunden

Quelle



General Purpose Input/Output

- Digitale Ein- und Ausgänge
- GPIO arbeiten von 2...16 mA
- GPIOs können binär gelesen und geschaltet werden
- **Pin-Belegung**

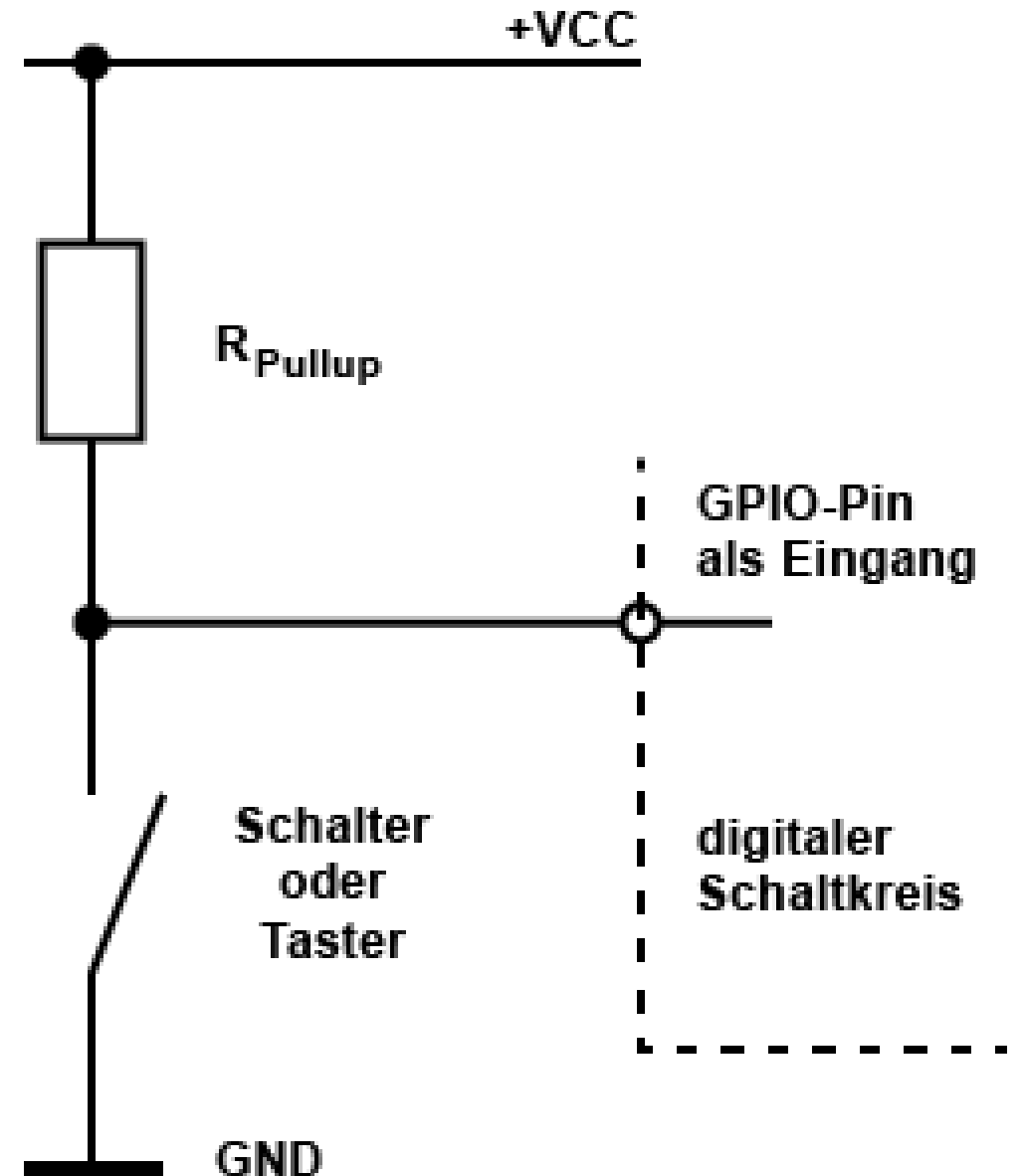
✓ Lösung

??? optional-class "💡 anzeigen"

```
python --8<-- "Aufgaben\2_1_1\code.py"
```

👉 Aufgabe 2_1_2: Anschluss eines Tasters an einen Raspberry Pi Pico

- Schließen Sie den Taster wie folgt an
- $R_{pullup} = 10\text{ k}\Omega$
- Verbinden Sie den Taster mit dem 3.3V Pin und dem GPIO 0
- Fügen Sie die folgenden Code-Teile an den richtigen Stellen ein und starten Sie das Programm



```
import time
import board
import digitalio

button_pin = board.GP0 # Replace with the GPIO pin connected to your button

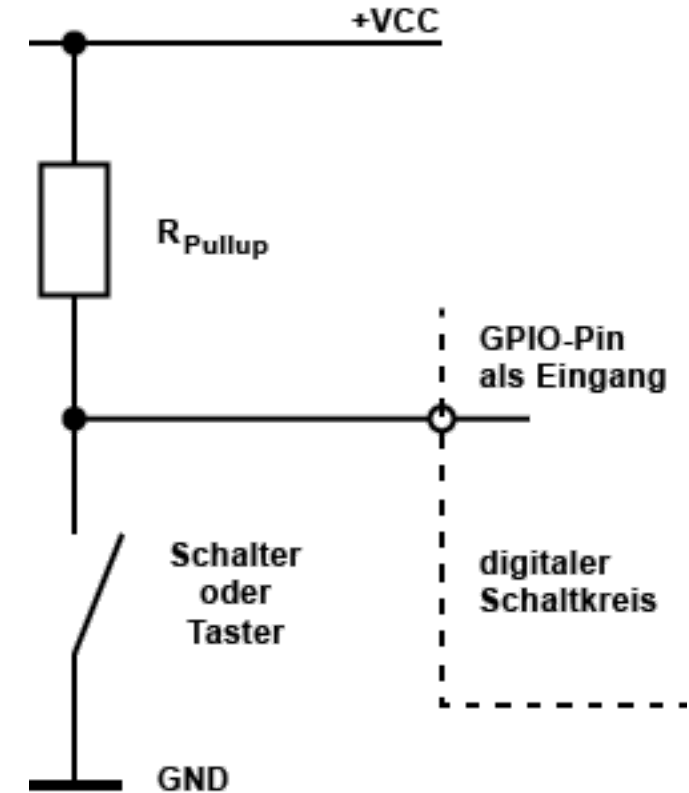
button = digitalio.DigitalInOut(button_pin)
button.direction = digitalio.Direction.INPUT
button.pull = digitalio.Pull.UP # Use pull-up resistor; change if using pull-down

while True:
    if not button.value: # Button is pressed (LOW)
        print("Button Pressed!")
    else:
        print("Button Released!")

    time.sleep(0.1) # Add a small delay to debounce the button
```

GPIO-Eingang mit Taster/Schalter und Pullup-Widerstand

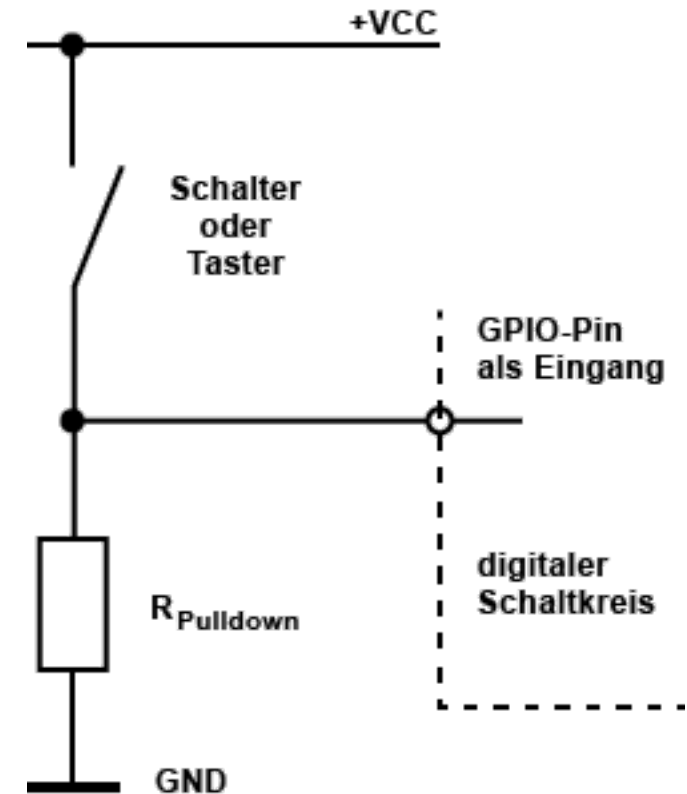
- Unbeschaltet oszillieren die GPIOs häufig unsauber zwischen den Zuständen
- Grundzustand des Eingangs bei offenem Schalter: **high**
- Durch schließen: **low**
- $4,7\text{ k}\Omega$ als Standardwert
- (RaspBerry Pis haben eingebaute Widerstände, die aktiviert werden können)



Quelle1, Quelle2

GPIO-Eingang mit Taster/Schalter und Pulldown-Widerstand

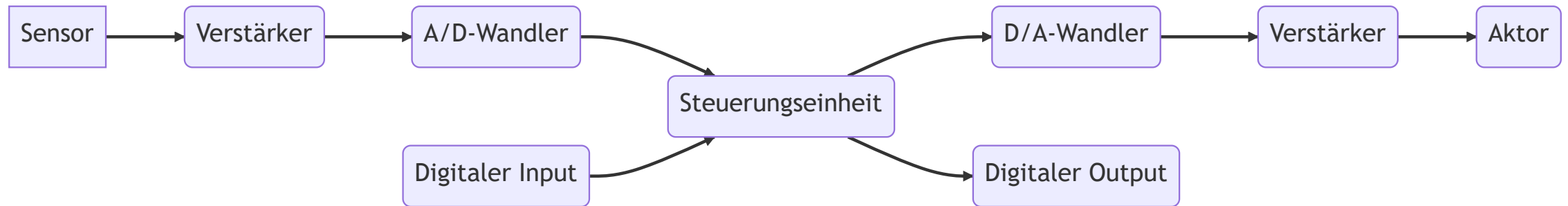
- Grundzustand des Eingangs: low
- Durch schließen: high
- der Regel $10\text{ k}\Omega$



Zusammenfassung Schalter und Taster

- In der Praxis tendiert man dazu, GPIO-Eingänge mit einem Pullup-Widerstand mit +VCC zu verbinden und gegen Ground (GND) zu schalten
- Erfordert Negation in der Software
- Werte von 10 bis 100 k Ω
- GPIO-Eingang mit Taster/Schalter und Querwiderstand
- Mehr zu Pull-Up vs Pull-Down

Digitale Ausgänge



- Ausgänge können mit einer Spannung beschaltet werden
- Bei einem Raspberry Pi Pico sind die Ausgänge auf 3.3 V begrenzt
- Die Ausgänge können bis zu 16 mA liefern

✓ Lösung

??? optional-class "💡 anzeigen"

```
python --8<-- "Aufgaben\2_1_2\code.py"
```

- Nun wollen wir eine LED anschließen in der Folge über den Taster schalten
- Die LED soll nach einem Druck auf den Taster ihren Zustand wechseln
- passen Sie den Code entsprechend an und nutzen Sie dazu die folgenden Code-Teile

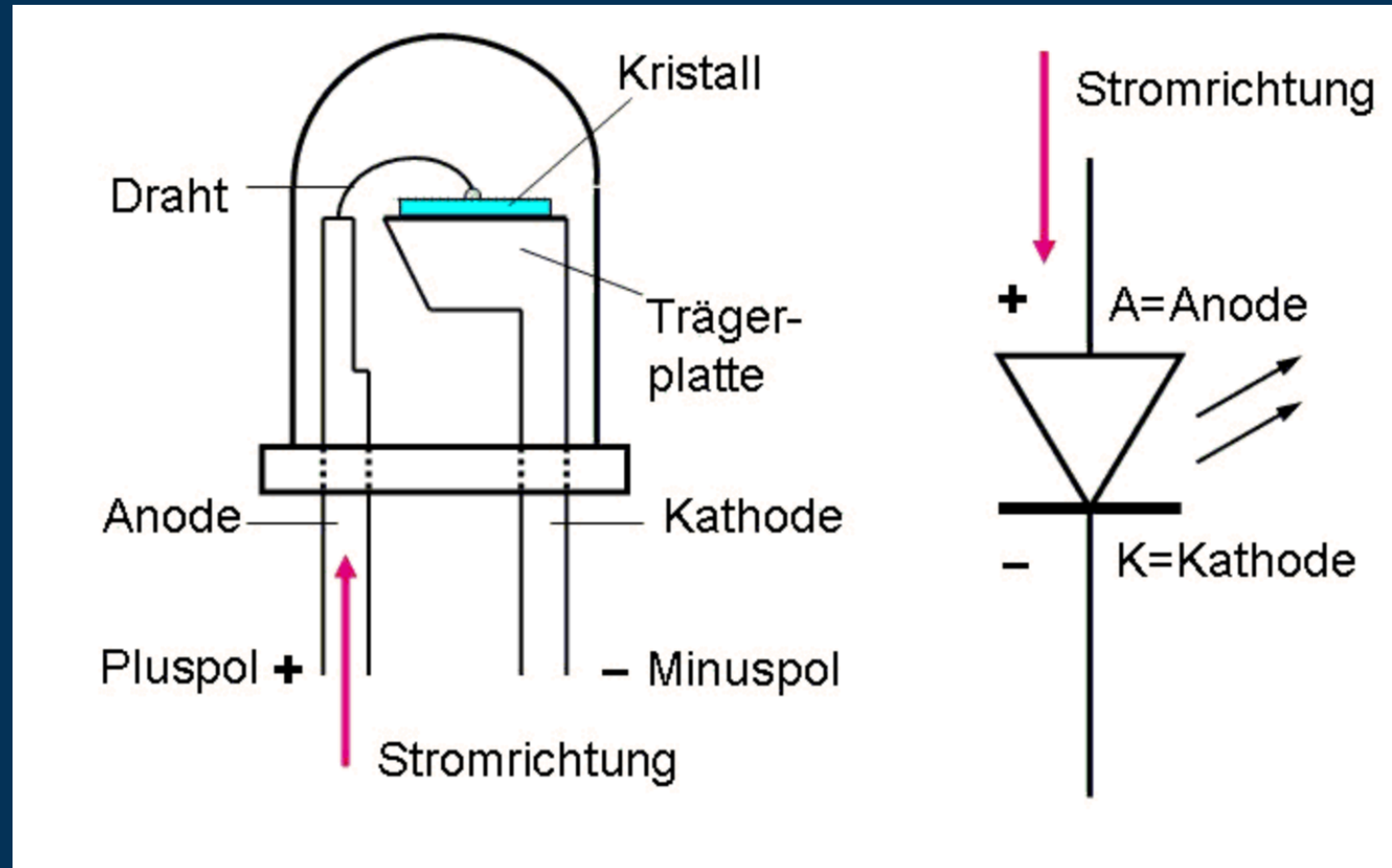
```
import time
import board
import digitalio

led_pin = board.GP1          # Replace with the GPIO pin connected to your LED

led = digitalio.DigitalInOut(led_pin)
led.direction = digitalio.Direction.OUTPUT

while True:
    led.value = not led.value # Toggle the LED state
    time.sleep(0.2) # Add a small delay for debouncing
    time.sleep(0.1)
```

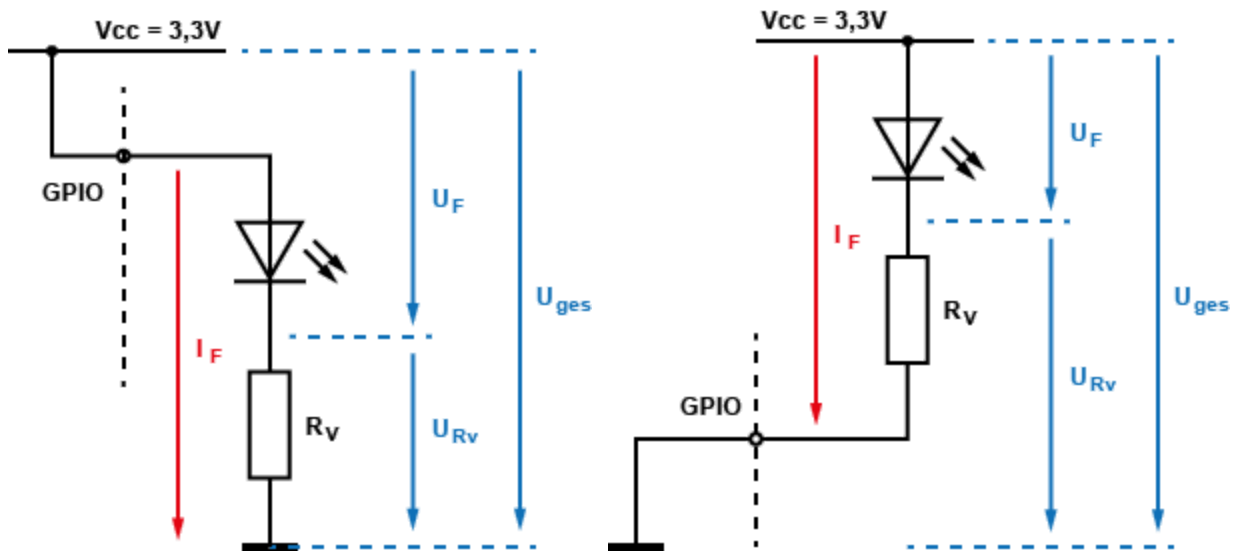
Leuchtdioden



- Langes Bein: Anode

Ausgang verschalten

- links: LED an Masse
 - GPIO auf high > LED an
- rechts: LED an VCC
 - GPIO auf low > LED an
- $R_v = 470 \Omega$



Ausgang verschalten

- Wählen Sie einen geeigneten GPIO
- Schließen Sie die LED in Reihe an den GPIO und einen Widerstand an und verbinden Sie die andere Seite des Widerstands mit Ground (0 V)

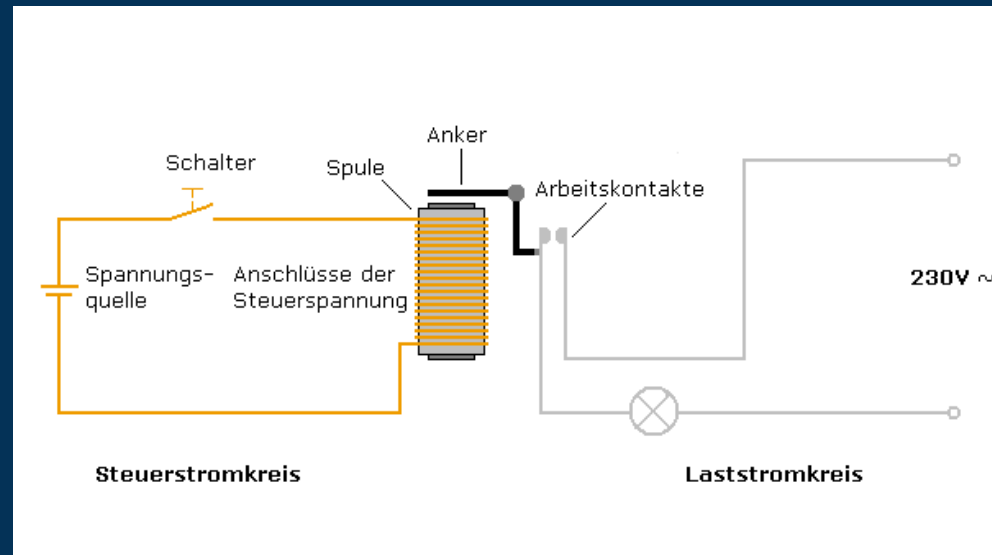
✓ Lösung

??? optional-class "💡 anzeigen"

```
python --8<-- "Aufgaben\2_1_3\code.py"
```

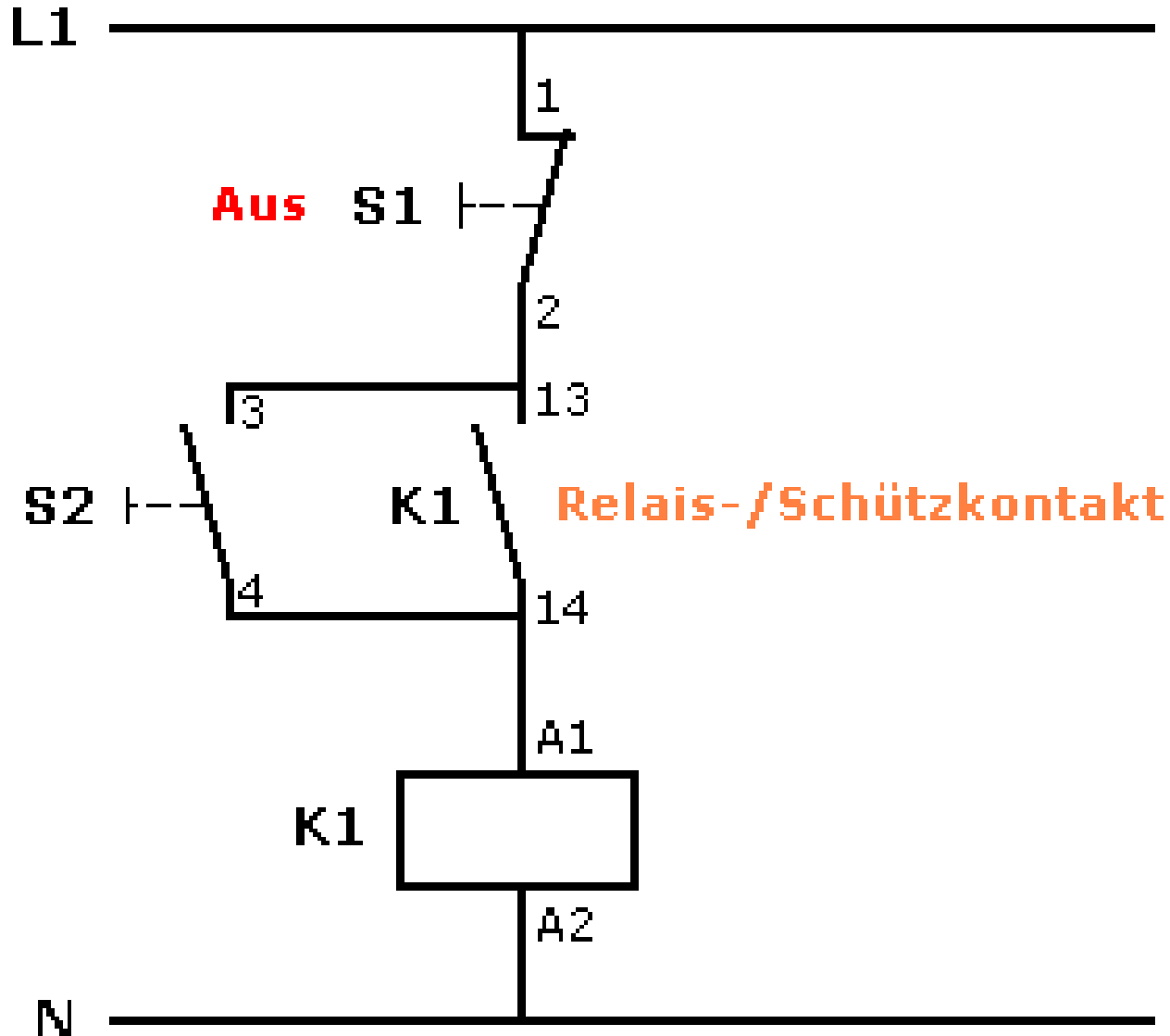
Relais und Schütze

- Für viele Anwendungen ist die Leistung der GPIOs nicht ausreichend ($P = UI = 3.3 \text{ V} \cdot 4 \text{ mA} = 13.2 \text{ mW}$)
- Eine höhere Spannung an den Ausgängen ist nicht möglich (Sicherheit, Energieeffizienz, Bauform)
- Relais sind elektromagnetische Schalter, die eine hohe Leistung schalten können indem sie einen Schaltkontakt öffnen oder schließen
- heute meist nicht mehr mechanisch sondern elektronisch realisiert mit Zusatzfunktionen (Stromstoßrelais, Zeitrelais, Schütze)



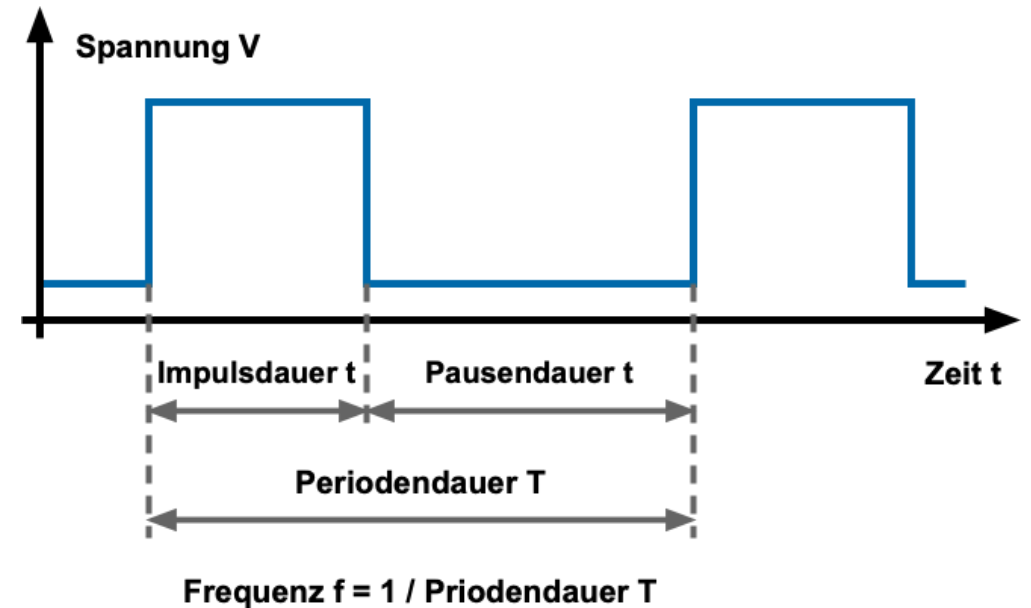
Stromkreis geschlossen, der das Relais anzieht und somit ein andauerndes Schließen des Schalters ermöglicht

Wenn der Taster S2 (Schließer) betätigt wird, zieht das Relais K1 an und schließt den Kontakt K1. Wenn der Taster S2 nun losgelassen wird, überbrückt ihn der Kontakt K1 und das Relais bleibt weiterhin angezogen. Durch Betätigung des Tasters S1 (Öffner) wird das Relais stromlos und fällt ab, K1 ist damit offen. Wenn S2 betätigt wird, würde wieder K1 anziehen und in die



Pulsweitenmodulation

- Digitale Ausgänge können nur zwei Zustände annehmen (0 / False oder 1 : True)
- Einige Verbraucher (z.B. Motoren, LEDs) kann man über PWM quasi-analog steuern (Ausgangsleistung quasi-stetig anpassen)
- Hierzu muss man Periodendauer T und Duty Cycle t (Impulsdauer) geeignet setzen
- Die Frequenz $f = \frac{1}{T}$ ist beim Raspberry Pi Pico standardmäßig 500 Hz



Aufgabe 2_1_4: Anschluss einer LED mit PWM an einen Raspberry Pi Pico

- Sorgen Sie nun dafür, dass die LED mit PWM angesteuert wird, so dass diese nach Betätigung des Tasters für 1 s leuchtet und dann langsam über 5 s ausgeht

Beispielcode für PWM

```
import pwmio
import board

pwm = pwmio.PWMOut(board.GP1) # output on LED pin with default of 500Hz

while True:
    for cycle in range(0, 65535): # Cycles through the full PWM range from 0 to 65535
        pwm.duty_cycle = cycle # Cycles the LED pin duty cycle through the range of values
    for cycle in range(65534, 0, -1): # Cycles through the PWM range backwards from 65534 to 0
        pwm.duty_cycle = cycle # Cycles the LED pin duty cycle through the range of values
```

- Die Länge des Duty-Cycles wird durch $2^{16} = 65536$ Werte abgestuft
- bei `duty_cycle = 0` der Duty-Cycle bei 0% und die LED aus
- bei `duty_cycle = 65535` der Duty-Cycle genau so lang wie die Periodendauer

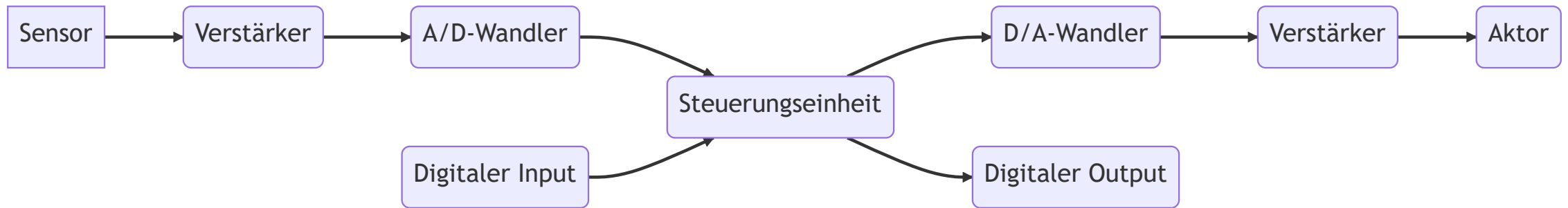
Quelle

✓ Lösung

??? optional-class "💡 anzeigen"

```
python --8<-- "Aufgaben\2_1_4\code.py"
```

Analoge Eingänge



- Sensoren liefern meist analoge Signale (z.B. Spannung, Strom, Widerstand)
- z.B. basieren viele Temperatur-Sensoren auf dem Widerstand von Metallen
- Damit ändert sich bei gleichbleibender Spannung der Strom, welcher am Eingang gemessen werden kann

Analog-Digital-Wandler

- Der Analog-Digital-Wandler (ADC) wandelt ein analoges Signal in eine digitale Zahl um
- Dabei gibt es zwei relevante Parameter
 - Auflösung: Anzahl der möglichen Werte
 - Referenzspannung: Spannungsbereich, der in die Auflösung abgebildet wird
 - z.B. 16 Bit Auflösung und 3.3 V Referenzspannung
 $\Rightarrow 2^{16} = 65536$ Werte zwischen 0 und 3.3 V
- Zudem können sich Systeme in ihrer Abtastrate unterscheiden, d.h. wie oft Werte gelesen werden können (z.B. durch den Sleep-Timer im `while`-loop)

Helligkeitssensors

- Verbinden Sie die **+** und **-** Leiste des Breadboards mit 3.3 V und **GND** des Raspberry Pi Pico
- Verbinden Sie den analogen Eingang **A2** mit einem Female-to-Female-Kabel
- Fügen Sie den folgenden Code ein

```
import board
import analogio
import time

# Initialisierung des ADC (Analog-Digital Converter)
ldr = analogio.AnalogIn(board.A2)

# Wiederholung
while True:
    # ADC als Dezimalzahl lesen
    read = ldr.value
    # Ausgabe in der Kommandozeile/Shell
    print("ADC:", read)
    # Warten
```

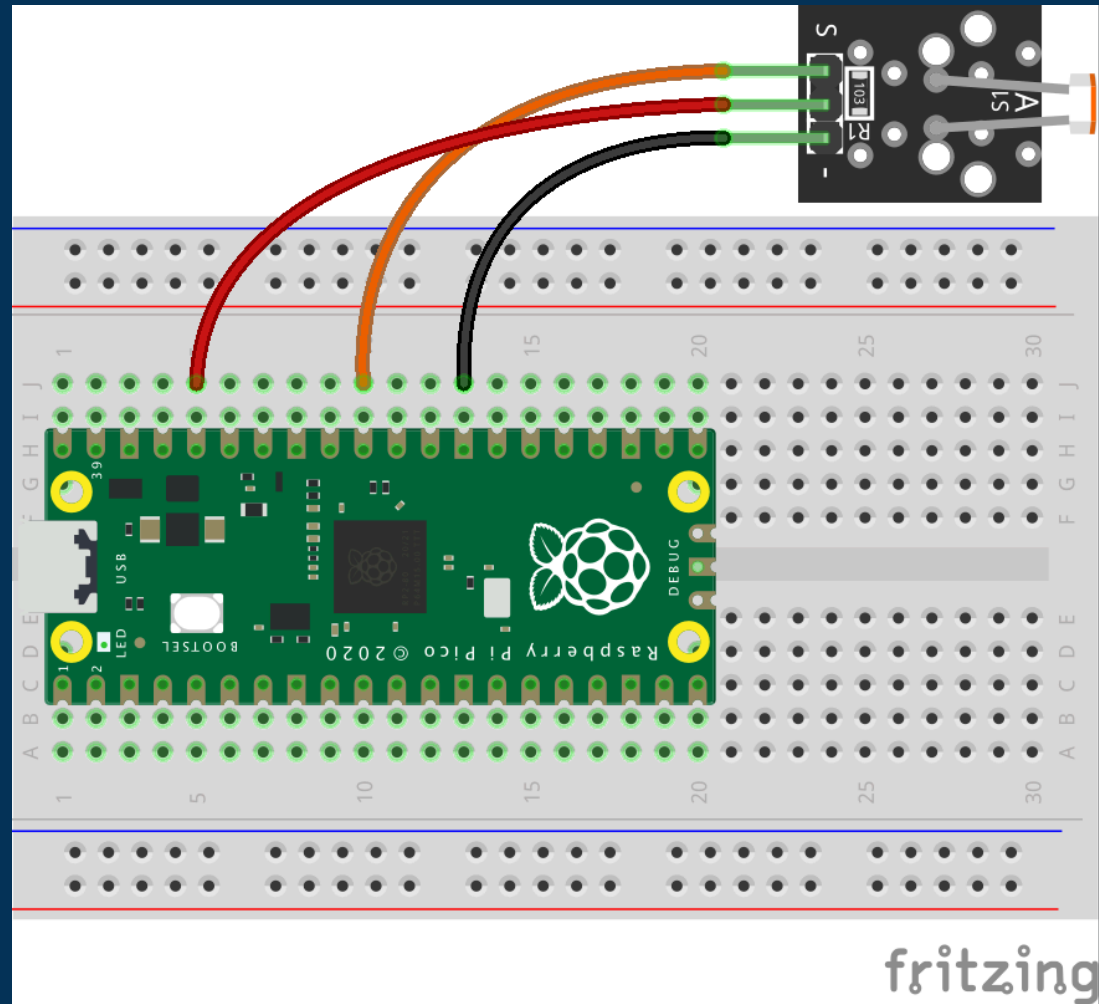

- Verbinden Sie den Eingang zunächst mit $+$, dann mit $-$
- Welche Werte erhalten Sie?

✓ Lösung

??? optional-class "💡 anzeigen"

* Bei einer direkten Verbindung des Eingangs mit **+** oder **-** erhalten Sie die maximalen (**2^{16}**) bzw. minimalen Werte (nahe **0**)

- Schließen Sie einen Fotowiderstand als **analogen Helligkeitssensor** an den Raspberry Pi Pico an
 - Links (I): +VCC z.B. 3,3 oder 5 Volt
 - Mitte: GND / Masse / 0 Volt
 - Rechts (S): Verbindungspunkt des Spannungsteilers
- Sie können den Sensor entweder auf dem Breadboard montieren oder ihn mit Male-Female-Kabeln direkt verbinden
- Verdunkeln Sie und beleuchten Sie den Sensor und beobachten Sie die Änderung des Eingangswertes
- Je mehr Licht auf den Fotowiderstand fällt, desto kleiner wird sein Widerstand.
- Optional können Sie auch die Beleuchtungsstärke mit einem Luxmeter messen und die Werte vergleichen



- Zum Testen können Sie den Analog-Eingang mit 3.3 Volt und 0 Volt verbinden
- Lesen Sie den Wert des Sensors aus und geben Sie diesen auf der Konsole aus
- Notieren Sie sich einige Werte (ADC) für verschiedene Hell-Dunkel-Verhältnisse (z.B. Zuhalten, Raumlicht, Taschenlampe) und notieren Sie die Werte

Umgebung	ADC	E in Lux	U in V
Abgedunkelt			
Raumlicht			
Taschenlampe			

Quelle

Mapping von Eingangswert zu Spannung

- Die Spannung und der ADC - Wert sind linear zueinander

Symbol	Description
U_{max}	maximale Beleuchtungsstärke
U_{min}	minimale Beleuchtungsstärke
z_{max}	maximaler Messwert des ADC
z_{min}	minimaler Messwert des ADC

- Annahme: Linearer Zusammenhang

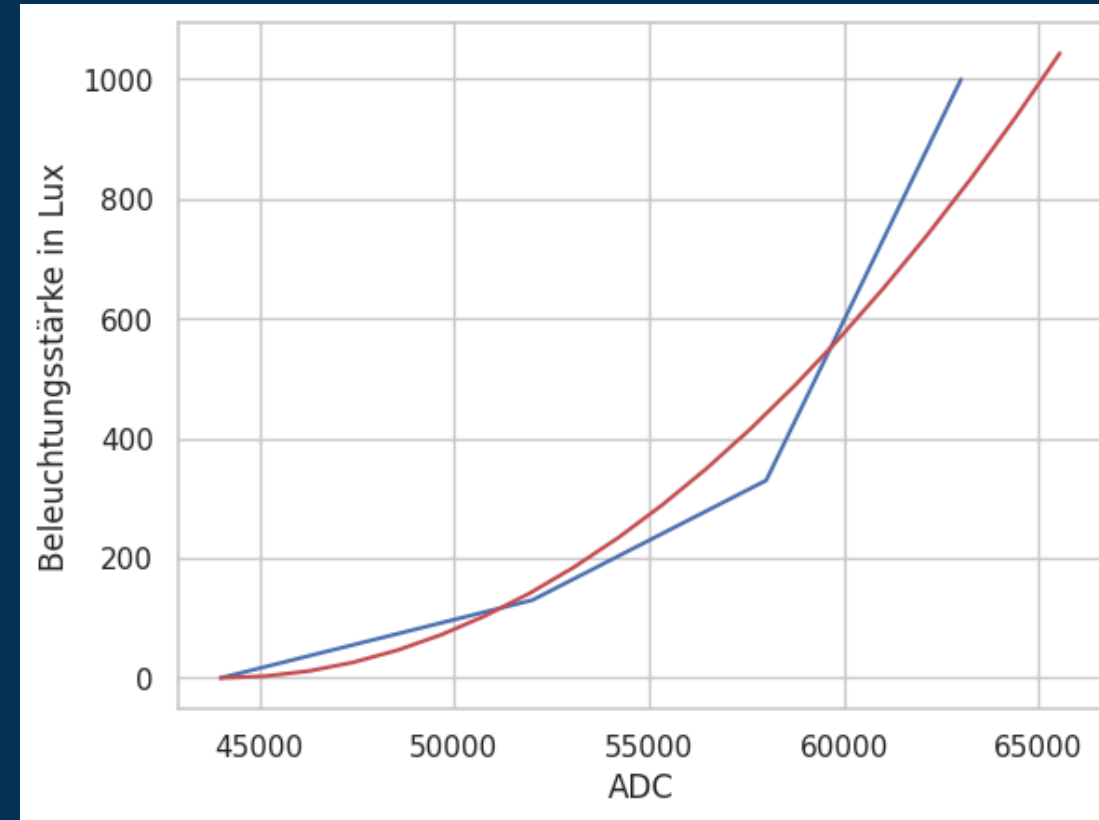
$$U = f(z) = \beta_0 + \beta_1 z$$
- 1: Wie groß ist der Y-Achsenabschnitt β_0 ?
 - Bei welchen Wert hat U , wenn $z = 0$?
- 2: Wie groß ist die Steigung β_1 ?
 - Wie groß ist die Änderung von U pro Änderung von z ?
 - $$\beta_1 = \frac{U_{max} - U_{min}}{z_{max} - z_{min}}$$

- Der folgende Code übernimmt dein Eingangswert und gibt einen Spannungswert zwischen 3.3 und 0 zurück
- Fügen Sie die Funktion `map_lin` in den Code ein und geben Sie die Spannung auf der Konsole aus

```
def map_lin(z):  
    U_max = 3.3  
    U_min = 0  
    z_max = 65535  
    z_min = 0  
    beta_0 = U_min  
    beta_1 = (U_max - U_min) / (z_max - z_min)  
    return beta_0 + beta_1 * z
```

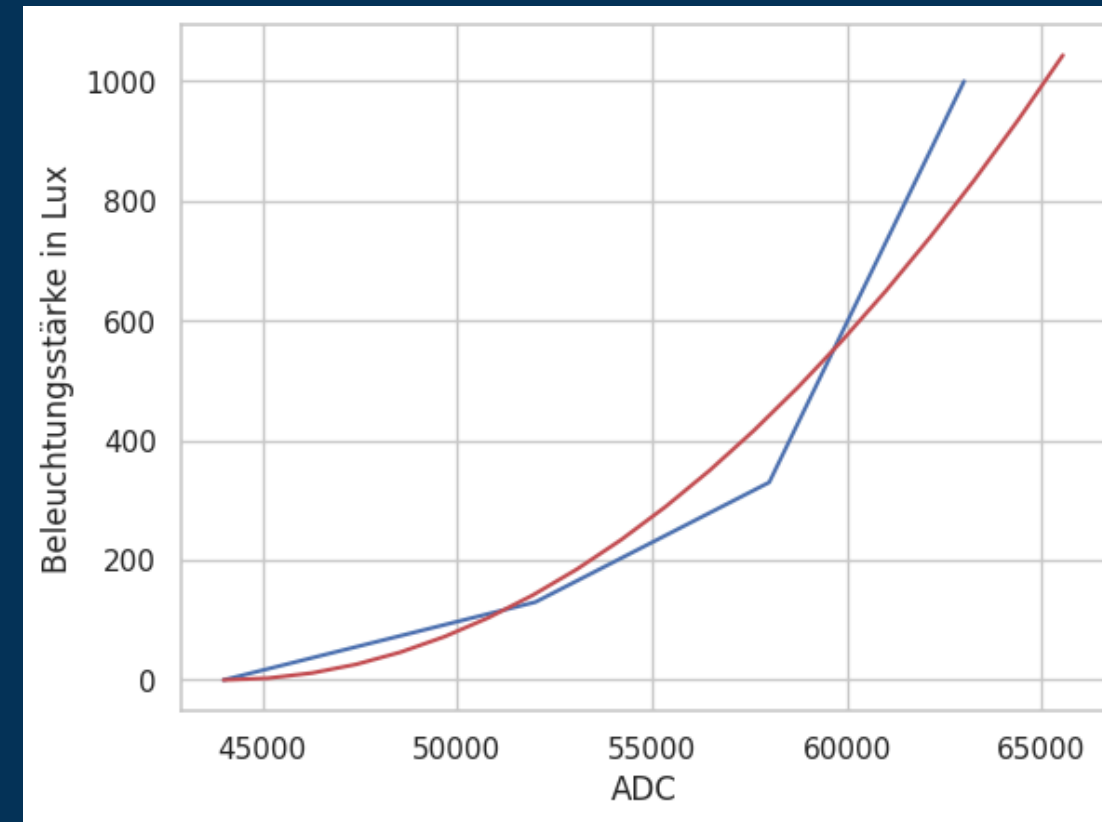
- Wenn Sie Ihren Code schön aufgeräumt haben wollen können eine Datei `mappings.py` im gleiche Ordner wie `code.py` erstellen und die Funktion dort speichern
- Sie können diese dann mittels `from mappings import map_lin` ins `main.py` importieren und nutzen

- Um sinnvoller mit den Werten arbeiten zu können, ist es sinnvoller die gelesenen ADC-Werte in eine Variable mit einer sinnvollen physikalischen Einheit zu überführen
- Im Fall dieses Sensors und Aufbaus lassen sich die Werte gut mit einer Parabel anpassen
- $E = f(x) = (a(x - s))^2$
 - $a = 0.0015$ beschreibt die Steilheit der Parabel
 - $s = 44000$ ist der Verschiebung der Parabel auf der x-Achse
 - x ist der Eingangswert
- Erstellen Sie in eine Datei `mappings.py` (im gleichen Ordner, wie die `code.py`) eine Funktion



Übliche Beleuchtungsstärken E

Umfeld	E in lux
Mondlose, klare Nacht	0,0003
Nachts bei Vollmond	0,2
Beleuchtete Strassen, Plätze	10..20
Abstellräume, Lagerräume	50
Lagerräume, Toiletten, Treppen	100
Speiseräume, Werkhallen,	200



Nachverarbeitung nach ADC

- Viele (teurere) Peripherie-Geräte kommen als Transmitter (Kombination aus dem Sensor selbst und einem Messumformer)
- Diese linearisieren sie spannungs- (oder Strom) Ausgabe
- Eine Umrechnung der Spannungswerte an Eingang in die Physikalische Größen muss jedoch weiterhin stattfinden
- Informationen hierzu finden sich meist im [Datenblatt](#)

Quelle

Helligkeitssensor 0...1.000, 0...10.000, 0...100.000 Lux mit Messumformer 0...10 V

Beschreibung



Leistungsmerkmale

- Standardausgang 0...10 V
- Messbereich 0...1.000 Lux hauptsächlich geeignet für Indoor-Anwendungen zur Messung von künstlichem Licht
- Messbereich 0...10.000 Lux hauptsächlich geeignet für industrielle Anwendungen mit sehr starkem künstlichem Licht
- Messbereich 0...100.000 Lux hauptsächlich geeignet zur Messung von Sonneneinstrahlung
- Hohe Langzeitstabilität
- Lichtsensor und Messumformer kompakt in einem Gehäuse kombiniert
- Durch die Drei-Punkt-Kalibrierung wird eine hohe Genauigkeit über den gesamten Messbereich garantiert
- Hochwertiges Gehäuse aus Kunststoff (IP65)

Anwendungsgebiete

- Gebäudetechnik, Dunkel/Hell Schaltvorgänge
- Helligkeitssensor für regengeschützte Wetterstationen
- Helligkeitssensor für das Schalten von Verbrauchern bei Anwendungen mit Solarmodulen
- Helligkeitssensor für den Einsatz bei starker Sonneneinstrahlung
- OEM-Applikationen

Technische Daten

Helligkeitssensor mit Messumformer	
Messbereich	0...1.000 Lux, 0...10.000 Lux, 0...100.000 Lux
Sensorelemente	Photodiode
Max. spektrale Empfindlichkeit	600 nm
Ausgangsspannung	0...10 V DC, lineare Skalierung
CE-Konformität	2014/30/EU
Genauigkeit	<±10 % bei senkrechtem Lichteinfall
Umgebungstemperatur	-20...+75 °C
EMV-Störaussendung	EN 61000-6-3:2011
EMV-Störfestigkeit	EN 61000-6-1:2007
Schutzart	IP65
Spannungsversorgung	12...24 V AC/DC
Stromaufnahme	ca. 6,2 mA
Überspannungsschutz	Varistor und RC Filter
Anschluss	Kabelverschraubung M16 x 1,5, Klemmbereich: 4,5...10,0 mm
Abmessungen (B x H x T) ohne Kuppel für den Lichtsensor	59 x 65 x 38
Werkstoff	PA6 30% GK

Allgemein

In der Gebäudetechnik werden Lichtsensoren benötigt, die für den Dauereinsatz geeignet sind und gegen Überspannung und Transienten geschützt sind.

Weitere Aspekte sind die Wahl zwischen DC oder AC-Speisungsspannung sowie die Ausgabe des Messwertes als ein 0...10 V Standardsignal. Eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten ergeben sich aus der Bestimmung der Helligkeit zur dynamischen Steuerung von Geräten in der Heim- und Gebäudeautomation wie z.B. der Einsatz als Sonnensensor. Die Messung der Beleuchtungsstärke erfolgt mit einer präzisen und langzeitstabilen Photodiode mit industriellen Leistungsdaten. Die Aufbereitung des Messsignals geschieht mittels moderner Sensortechnik. Die hohe Empfindlichkeit über einen weiten Bereich an Beleuchtungsstärken sowie die Beschaltung machen den Helligkeitssensor auch unter sehr hellen Lichtverhältnissen einsetzbar.

Spannungsversorgung

Die Speisung erfolgt mit +12... 24 V AC/DC Spannung.

Aufgabe 2_1_5: Mapping eines Analogen Helligkeitssensors

- Oben ist die quadratische Funktion gegeben, die die gemessenen Werte in Beleuchtungsstärke in Lux umrechnet
- Implementieren Sie diese Funktion in Python und geben Sie dann eine Nachricht mit der Beleuchtungsstärke in Lux aus
- Orientieren Sie sich dabei an folgendem Code, der ein Beispiel für ein lineares Mapping zeigt
- Evtl. müssen Sie die Werte an Ihren Sensor und Aufbau anpassen, um die Beleuchtungsstärke in Lux zu erhalten

- 😊 Im besten Fall wird `map_lin` in einer eigenen Datei `mappings.py` gespeichert und kann dann mittels `import mappings` in anderen Programmen genutzt werden

```
import board
import analogio
import time
from mappings import map_lin

# Initialisierung des ADC (Analog-Digital Converter)
ldr = analogio.AnalogIn(board.A2)

# Wiederholung
while True:
    # ADC als Dezimalzahl lesen
    read = ldr.value
    # Ausgabe in der Kommandozeile/Shell
    print("ADC:", read)
    print("E in Lux", map_lin(read))
    # Warten
    time.sleep(1)
```

✓ Lösung

??? optional-class "💡 anzeigen"

```
python --8<-- "Aufgaben\2_1_5\code.py"
```

??? optional-class "💡 anzeigen"

```
python --8<-- "Aufgaben\2_1_5\mappings.py"
```



Verwendung von Globalen Variablen

- einige Variablen sind so grundlegend, dass wir Sie nicht im Code sondern zentral verändern wollen
- Hierzu können wir Umgebungsvariablen in der `settings.toml` verändern im Verzeichnis `CIRCUITPY` ändern

```
MY_NAME = "Julian"
```

- Im Code können diese mittels `os` aufgerufen werden

```
# connect to your SSID
import os

print(os.getenv('MY_NAME'))
```

- Passen Sie den Code so an, dass die zur Umwandlung benötigten Werte als Umgebungsvariablen gesetzt werden können

Lösung

??? optional-class "💡 anzeigen"

```
python --8<-- "Aufgaben\2_1_5\code.py"
```

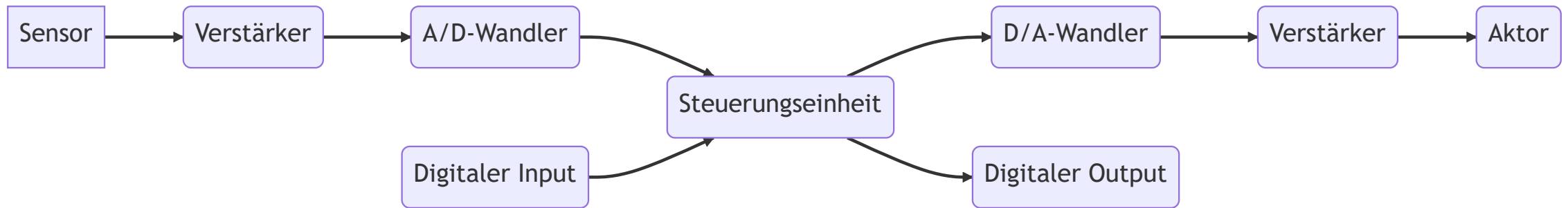
??? optional-class "💡 anzeigen"

```
python --8<-- "Aufgaben\2_1_5\mappings.py"
```


Aufgabe 2_1_6:

- Nicht bei jedem Sensor wird die gefittete Kurve perfekt passen
- passen Sie den Code so an, dass die Parameter der Kurve in der `settings.toml` hinterlegt werden können, um diese möglichst einfach anzupassen

Analoge Ausgänge



- Entsprechend gibt es auch analoge Ausgänge
- Diese können z.B. zur Ansteuerung von Motoren genutzt werden
- Dabei wird einer meist der Wert einer Integer-Variable im Speicher in einen Spannungswert umgewandelt