Jan Niclas Ruppenthal
1481198

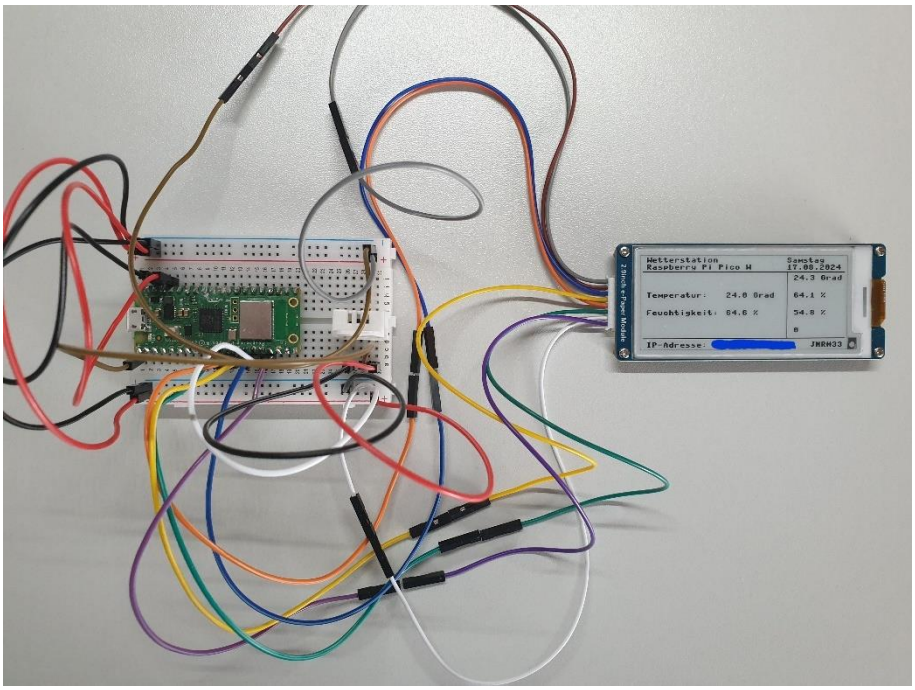
Projekt – Heterogenous Computing

Remote-Wetterstation – Aufbau

In diesem Kapitel geht es um den Aufbau der Remote-Wetterstation. Diese Station besteht aus zwei Bestandteilen: der Innen- und Außenstation. Hierbei wird zuerst der Aufbau der Innenstation beschrieben. Danach geht es um die Webseite dieser Station. Im Anschluss wird der Aufbau der Außenstation vorgestellt. Dabei hat diese auch eine eigene Webseite, die darauffolgend beschrieben wird. Zum Schluss wird noch der Einsatz von NFC-Sticker erklärt.

Aufbau der zentralen Station

Im Folgenden wird der Aufbau der Remote-Wetterstation veranschaulicht:



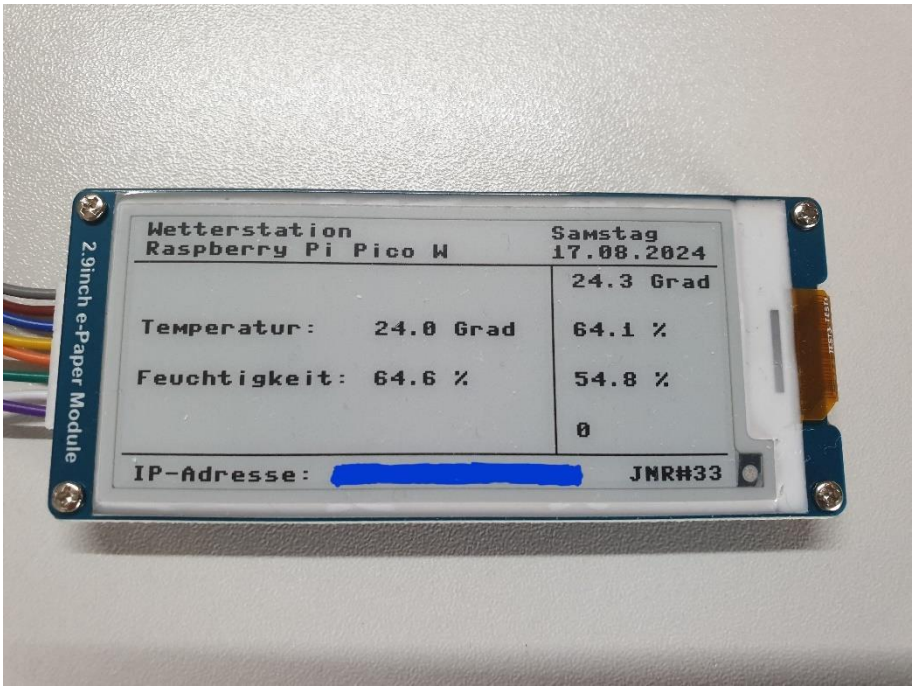
In der obigen Abbildung befindet sich der Aufbau des ersten Teils der Remote-Wetterstation: die Innenstation. Sie besteht aus den folgenden Komponenten:

- Raspberry Pi Pico W[1]
- DHT22 (Temperatur- und Feuchtigkeitssensor)[2]
- E-Paper Display[3]

[1] Die Daten zum Mikrocontroller befinden sich auf der folgenden Seite: https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/pico-series.html#picow-technical-specification (Letzter Zugriff am 13.08.2024).
[2] Die Daten zu DHT22 befinden sich auf https://www.berrybase.de/dht22-digitaler-temperatur-und-luftfeuchtesensor (Letzter Zugriff am 13.08.2024).
[3] Die Daten zum Display befinden sich auf https://www.waveshare.com/2.9inch-e-paper-module.htm (Letzter Zugriff am 13.08.2024).

Jan Niclas Ruppenthal
1481198

Sie ist das Zentrum der Remote-Wetterstation. Hier werden zum einen die Daten des eigenen Temperatur- und Feuchtigkeitssensors gelesen und zum anderen auch die Sensordaten der Außenstation angefragt. Alle Daten werden auf das E-Paper Display angezeigt.



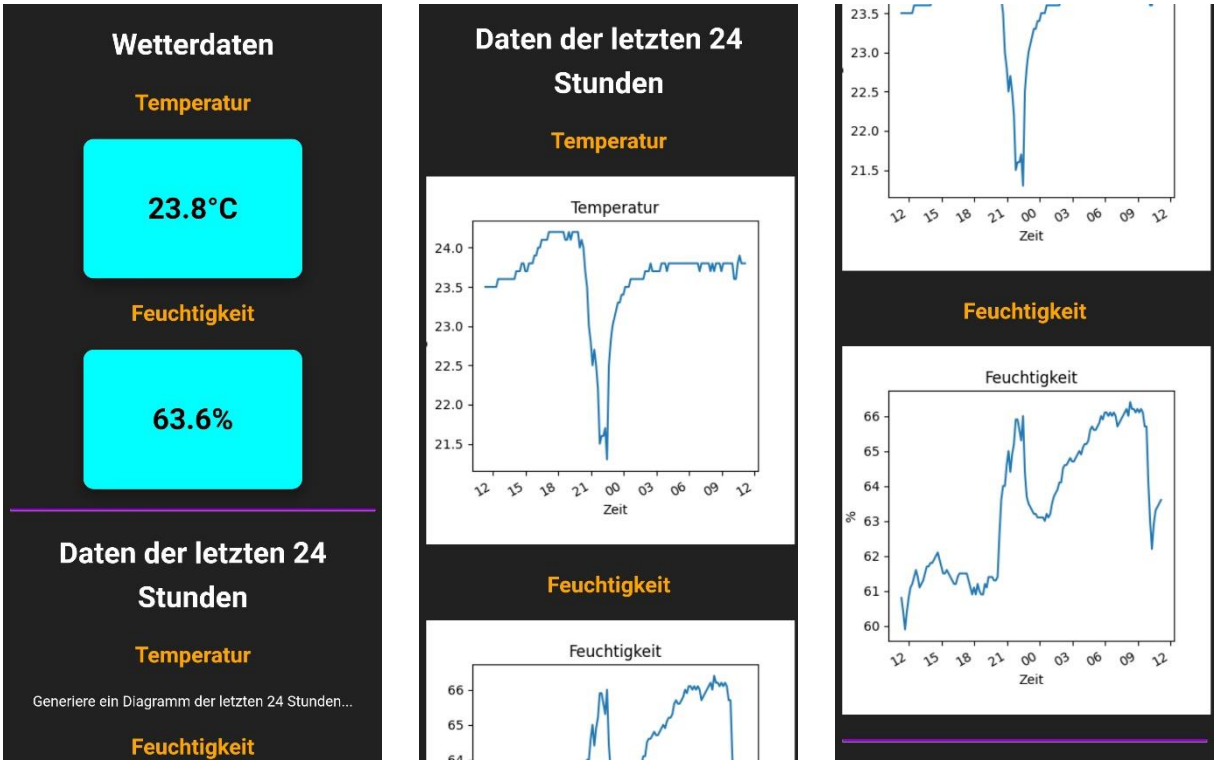
In der obigen Abbildung sieht man die Informationen, die das E-Paper Display anzeigt:

- Titel
- Wochentag mit Datum
- Daten des Temperatur- und Feuchtigkeitssensors (DHT22)
- Daten der Außenstation in der folgenden Reihenfolge:
    - Temperatur
    - Feuchtigkeit
    - Lichtintensität
    - Erkennung von Regen
- IP-Adresse dieser Station
- Meine Initialen

Für dieses Projekt habe ich mich für ein E-Paper Display entschieden, da die Technologie sehr energiesparsam ist und die Station soll durch die fehlende Lichtquelle nicht stören. Hierbei muss man angeben, dass dieses Display keine Hintergrundbeleuchtung besitzt. Das bedeutet, dass man im Dunkeln die Daten der Sensoren nicht lesen kann. Aus diesem Grund habe ich mich auch für einen Raspberry Pi Pico W entschieden. Dieser soll nämlich den Nachteil des Displays mithilfe eines Webservers kompensieren.

Aufbau der Webseite der Innenstation

Die Webseite der Innenstation wurde mithilfe von HTML entwickelt. Hierbei werden die Daten der gemessenen Sensoren angezeigt. Zudem werden auch die Daten der letzten 24 mithilfe zweier Graphen dargestellt.

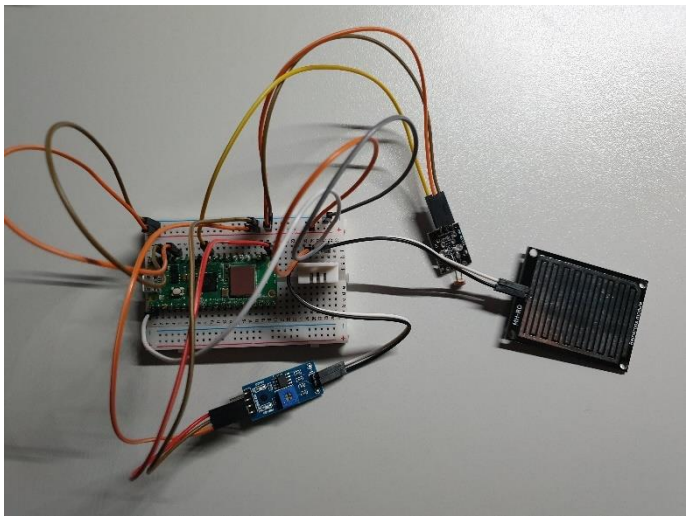


In den obigen drei Abbildungen wird die Webseite der Innenstation dargestellt. Wenn man über die IP-Adresse die Webseite aufruft, werden die gemessenen Daten zur Temperatur und Feuchtigkeit angezeigt. Eine Besonderheit dieser Webseite ist, dass auch die Daten der letzten 24 Stunden dargestellt werden. Mithilfe des Frameworks **PyScript**[4] kann man Python-Skripte im Browser ausführen lassen. Hierbei konnte ich mit der Bibliothek **Matplotlib** Graphen basierend auf diese Daten generieren und anzeigen lassen.

Aufbau der Außenstation

Neben der zentralen Station gibt es noch eine Außenstation, die aus weiteren Sensoren besteht und draußen angebracht werden soll. Dabei habe ich mich gegen ein Display entschieden, da die Daten über HTTP angefragt werden.

[4] Weitere Informationen zum Framework befinden sich auf der folgenden Webseite: https://pyscript.net/ (Letzter Zugriff am 13.08.2024).



Die Außenstation besteht aus den folgenden Komponenten:

- Raspberry Pi Pico W[1]
- Temperatur- und Feuchtigkeitssensor (DHT22)[2]
- Fotowiderstand (KY-018)[5]
- Regentropfen Sensor Modul[6]

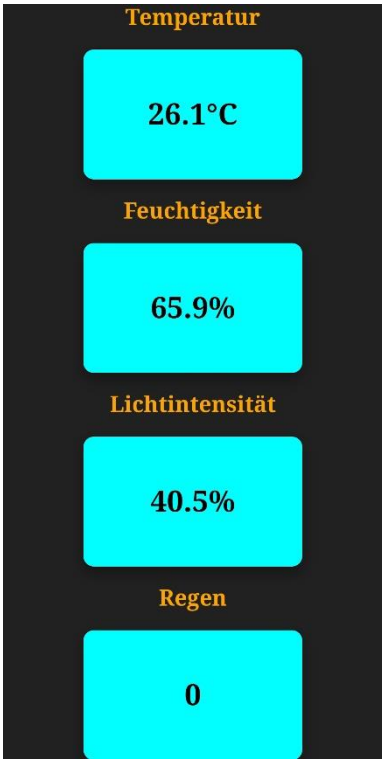
Diese Station misst alle zehn Minuten Daten von den Sensoren, die dann von der Innenstation über GET-Requests angefragt werden. Außerdem wurden zwei neue Sensoren hinzugefügt. Zum einen wird ein Fotowiderstand verwendet. Zum anderen wird ein Regentropfen Sensor Modul genutzt. Wenn Licht auf den Fotowiderstand fällt, dann ändert sich der Widerstand des Sensors. Dieser Wert kann gemessen werden, um die Helligkeit des Lichts zu bestimmen.[5] Das Modul für den Regen erkennt nur, ob es regnet. Hierbei kann nicht gemessen werden, wie viel Liter pro m^2 Regen fallen.

[5] Die Daten zum Sensor werden auf der folgenden Webseite beschrieben: https://www.az-delivery.de/products/licht-sensor-modul (Letzter Zugriff am 13.08.2024).
[6] Die Daten zum letzten Sensor werden auf https://www.az-delivery.de/products/regen-sensor-modul (Letzter Zugriff am 13.08.2024) beschrieben.

Jan Niclas Ruppenthal
1481198

Aufbau der Webseite der Außenstation

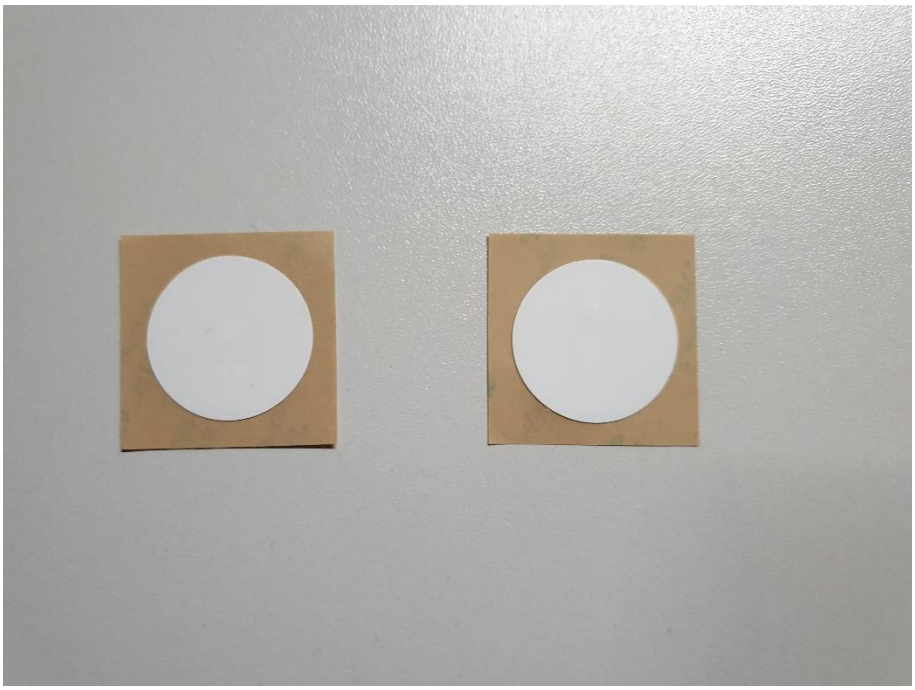
Des Weiteren stellt die Außenstation auch einen Webserver zur Verfügung, damit die Daten der Sensoren auch im Browser gelesen werden können. Hierbei wurde die Webseite aber sehr einfach gehalten, denn diese zeigt nur die letzten gemessenen Daten an:



Die zweite Website hat auch das gleiche Design wie die Website der Innenstation, um die Konsistenz zwischen beiden zu gewährleisten. Des Weiteren wird der Messwert des Fotowiderstands in die Intensität des Lichts in Prozent umgerechnet. Für die Intensität wird nun der Messwert durch 2^{16} (der maximale Widerstandswert des Sensors) dividiert und dieses Ergebnis wird dann mit 100 multipliziert. Für die Erkennung von Regen wird nur 0 oder 1 angegeben.

Zugang zu den Webseiten vereinfachen

Die Remote-Wetterstation hat aber noch ein weiteres Problem: Die beiden Webseiten der Stationen können nur über eine statische IP-Adresse aufgerufen werden. Damit alle Personen im gleichen Haushalt, ohne sich die Adressen merken zu müssen darauf zugreifen können, habe ich zusätzlich NFC-Sticker verwendet.



In der Abbildung oben sind NFC-Sticker zu sehen, die verwendet werden können, um anderen Personen den Zugang zu den Webseiten zu ermöglichen. Der linke Sticker enthält die Adresse der Zentrale, während der rechte Sticker die IP-Adresse der Außenstation enthält.

Übersicht der Funktionen

In diesem Kapitel wird der Quellcode und die Funktionsweise der Remote-Wetterstation beschrieben. Hierbei wird zuerst der Programmcode der Innenstation betrachtet. Danach geht es um den Code für die Webseite dieser Station, da hier das Framework **PyScript**[4] verwendet wird. Zum Schluss werden die Unterschiede zwischen den beiden Station anhand des Quellcodes erläutert.

Quellcode der Innenstation

Der Quellcode wird nun in den folgenden Codeabschnitten beschrieben und erklärt. Hierbei werden nur die wichtigen Teile des Programmcodes betrachtet.

```
def main():
    measure.initialize_led()
    measure.initialize_dht22()
    display.setup_display()
    […]
```

In der Hauptfunktion des Programms werden zuerst die eingebaute LED und der Sensor (DHT22) initialisiert. Darauffolgend wird das E-Paper Display konfiguriert. Hierbei werden alle statischen Elemente bereits auf das Display geschrieben, da diese sich niemals ändern.

Durch die Konfiguration werden diverse Elemente wie der Titel und die horizontalen sowie vertikalen Linien hinzugefügt. Zudem werden auch die Beschreibungen „Temperatur: “ und „Feuchtigkeit: “ auf das Display geschrieben. Des Weiteren werden auch alle Vorkommen von „Grad“ und „%“ eingefügt. Die letzten beiden Elemente, die noch in der Methode *setup_display()* hinzugefügt werden, sind „IP-Adresse: “ und meine persönlichen Initialen.

```
try:
    connection, ip = connect_to_wifi()
except Exception as e:
    display.mark_exception_on_display()
    log_exception(e)
    machine.reset()

display.add_IP_to_display(ip)

set_date_time_NTP()

UTC_OFFSET = -1
last_weekday_number = -1
first_digit_of_minute = -1
temp_first_digit_minute = -1
last_gc_time = time.time()
```

Nach der Konfiguration des E-Paper Displays wird eine Internetverbindung aufgebaut. Hierbei wird die statische IP-Adresse auf das Display geschrieben. In *connect_to_wifi()* wird in einer while-Schleife wiederholt versucht, eine Verbindung herzustellen. Zudem wird auch der Energiesparmodus des WLan-Chips ausgeschaltet, da der Pico als Server dienen soll. Nachdem die IP-Adresse auf das Display hinzugefügt wurde, wird mithilfe des Protokolls NTP (Network Time Protocol) das Datum und die Uhrzeit (Zeitzone: UTC) initialisiert. Anschließend werden diverse notwendige Variablen für die Hauptschleife erstellt.

```
while True:
        # clear memory every 3 minutes
        if (time.time() - last_gc_time >= 180):
            gc.collect()
            last_gc_time = time.time()

        temp_first_digit_minute = get_first_digit_of_minute()
        if (first_digit_of_minute != temp_first_digit_minute):
            first_digit_of_minute = temp_first_digit_minute

            try:
                UTC_OFFSET = calculate_UTC_offset(time.localtime())
                last_weekday_number = update_date_values(UTC_OFFSET,
last_weekday_number)
                update_measure_values()

                # clear memory
                gc.collect()

            except Exception as e:
                display.mark_exception_on_display()
                log_exception(e)
                time.sleep(2)

        time.sleep(1)

        run_server(connection)
```

Im obigen Codeabschnitt befindet sich die Hauptschleife der Innenstation. Alle zehn Minuten sollen Daten des Sensors gelesen werden. Dafür wird jede Sekunde überprüft, ob sich die erste Ziffer der Minute geändert hat. Wenn dieser Fall eintritt, dann wird zuerst der Versatz zwischen UTC und unserer Zeitzone berechnet. Wegen der Sommer- und Winterzeit ist dieser Versatz nicht konstant.

```
def update_date_values(UTC_OFFSET, last_weekday_number):
    date = time.localtime(time.time() + UTC_OFFSET)
    weekday_number = date[6]
    if last_weekday_number != weekday_number:
        display.update_date_on_display(weekday_number, date)
        last_weekday_number = weekday_number

    return last_weekday_number
```

Danach wird getestet, ob sich das gespeicherte Datum geändert hat. Bei einer Änderung des Wochentages wird das Datum und der neue Wochentag auf das E-Paper Display geschrieben.

Nach dieser Überprüfung werden neue Werte von den Sensoren gemessen und über HTTP angefordert.

```
def update_measure_values():
    measure.set_indoor_values()
    measure.set_outdoor_values_http()

    change = check_and_update_values()

    if (change):
        measure.led.on()
        display.update_display()
        measure.led.off()
```

Zuerst werden neue Daten des angeschlossenen Sensors (DHT22) gelesen und in zwei verschiedene Queues gespeichert. Diese Queues werden benötigt, um Graphen mithilfe des Frameworks **PyScript** zu erstellen. Dabei ist die Größe der gewählten Datenstruktur wegen des zehn Minuten Takts auf (60/10) * 24 beschränkt. Dadurch können die Graphen die Werte der letzten 24 Stunden anzeigen. Im Anschluss werden die Daten zu Temperatur, Feuchtigkeit, Lichtintensität sowie Erkennung von Regen angefragt und in Variablen gespeichert. Im Anschluss wird in der Funktion *check_and_update_values* kontrolliert, ob sich mindestens ein Messwert gerändert hat. Bei einer erkannten Änderung leuchtet die eingebaute LED und das E-Paper Display wird anhand des Pufferinhalts aktualisiert.

```
def check_and_update_values():
    change = False

    if (measure.last_temp != measure.temp_value):
        display.set_value_to_buffer(measure.temp_value, 120, 50)
        measure.last_temp = measure.temp_value
        change = True

    […]

    if (measure.last_temp_outdoor != measure.temp_outdoor_value):
        display.set_value_to_buffer(measure.temp_outdoor_value, 220, 25)
        measure.last_temp_outdoor = measure.temp_outdoor_value
        change = True

    […]

    return change
```

Für alle sechs Sensordaten wird überprüft, ob eine Änderung stattgefunden hat. Wenn der neue Messwert nicht mit dem alten zwischengespeicherten Wert übereinstimmt, dann wird er in den Puffer des E-Paper Displays geschrieben. Zudem wird auch der zuletzt gespeicherte Wert entsprechend aktualisiert. Im Anschluss wird die Variable *change* auf True gesetzt. Diese wird am Ende dieser Funktion zurückgegeben.

In der Hauptschleife des Programmcodes soll auch in jeder Iteration die Funktion *run_server* aufgerufen werden:

```
def run_server(connection):
    client = None
    try:
        ready_to_read, _, _ = select.select([connection], [], [], 1)
        if ready_to_read:
            client, _ = connection.accept()
            request = client.recv(1024)

            html_webpage = webpage_indoor(measure.temp_value,
measure.humi_value, measure.temp_queue, measure.humi_queue)
            response = "HTTP/1.1 200 OK\r\nContent-Type: text/html\r\n\r\n"
+ html_webpage
            client.send(response)
            client.close()

            # clear memory
            gc.collect()
    except Exception as e:
        […]
```

In der obigen Funktion wird zuerst überprüft, ob es eine Anfrage eines Clients gibt. Wenn die Webseite angefragt wird, dann wird diese mithilfe der benötigten Daten aufgebaut und wieder über HTTP zurückgegeben. Sowohl in der Hauptschleife als auch in *run_server* wird mithilfe des Garbage Collectors Speicher freigegeben. Dies hat den Grund, dass das verwendete **time** Modul einen Speicherleck im Raspberry Pi Pico W verursacht. Damit hier keine Probleme deswegen auftreten, wird alle drei Minuten (siehe Hauptschleife) als auch bei jedem Webseitenaufruf Speicherplatz freigegeben.

Bei einer Exception innerhalb des Programms wird die Funktion *mark_exception_on_display* aufgerufen. Dadurch wird ein Dreieck mit einem Ausrufezeichen auf das Display geschrieben. Dieses Symbol soll dabei helfen Fehler im Programm zu erkennen, wenn der Raspberry Pi Pico W nicht an einem Computer angeschlossen wurde.

Jan Niclas Ruppenthal
1481198

In der obigen Abbildung sieht man auf der rechten Seite des E-Paper Display das Symbol, wenn ein Fehler aufgetreten ist. Des Weiteren erkennt man im Hintergrund auch noch den vorherigen Zustand des Displays.

```
def log_exception(e):
    with open("log.txt", "a") as f:
        UTC_OFFSET = calculate_UTC_offset(time.localtime())
        date = time.localtime(time.time() + UTC_OFFSET)
        date_str = "{:02d}.{:02d}.{:d}".format(date[2], date[1], date[0])
        clock_str = "{:02d}:{:02d}".format(date[3], date[4])
        f.write(f"At {date_str} {clock_str} I got the following exception:
{e}\n")
```

Zusätzlich wird der geworfene Fehler auch mithilfe der Funktion *log_exception* in *util/logging.py* in einer Datei geschrieben. Dabei enthält sie neben der Exception auch noch Metadaten wie Datum und Uhrzeit, um Probleme besser identifizieren zu können. Diese Funktion wird auch von der Außenstation verwendet, da hier kein Display vorhanden ist.

Jan Niclas Ruppenthal
1481198

HTML-Code der zugehörigen Webseite

Die Webseite besteht aus drei wichtigen Bestandteilen: Die Einbindung von **PyScript**[4], die Boxen mit den Wetterdaten sowie den Python-Code für die Diagramme. Die Verwendung von **PyScript**[4] erfolgt ohne Installation des Frameworks. Hierfür muss man nur die folgenden zwei Zeilen in den Header einfügen:

```
        <link rel="stylesheet"
href="https://pyscript.net/latest/pyscript.css">
        <script defer
src="https://pyscript.net/latest/pyscript.js"></script>
```

Der Nachteil von **PyScript**[4] ist, dass das Framework bei jedem Aufruf der Webseite auf jedem Gerät geladen werden muss. Zur Veranschaulichung der Ladezeiten habe ich drei verschiedene Videos erstellt und im gleichen GitHub Repository hochgeladen. Ein Video mit dem Titel „Ladezeiten_Webseite_mit_PyScript_<Gerät>.mp4“ zeigt den Aufruf der Webseite auf dem jeweiligen Gerät. Dabei habe ich mein Handy, mein Tablet und meinen Laptop verwendet, um die Videos zu erstellen.

```
<h2 style="
                text-align: center;
                margin-top: 5%;
                margin-bottom: 5%;
                color: orange">Temperatur</h2>
        <div style="
                border: 1px solid #000000;
                background-color: aqua;
                padding: 5%;
                margin: 20px auto;
                width: 50%;
                text-align: center;
                border-radius: 12px;
                box-shadow: 0px 8px 16px rgba(0, 0, 0, 0.3);
                ">
                <p style="font-size:200%"><b>{temp_value}°C</b></p>
        </div>
```

Im obigen Abschnitt befindet sich die Definition der Untertitel und die blauen Boxen mit den Messwerten. Diese Werte werden durch die Formatierung des Strings eingesetzt. Im obigen Beispiel wird der aktuelle Messwert zur Temperatur eingesetzt.

Auf der nächsten Seite befindet sich der Python-Code für die Erstellung der beiden Diagramme auf der Webseite.

```
<py-script>
            import micropip
            import asyncio
            from datetime import datetime, timedelta

            async def main():
                await micropip.install('matplotlib')
                import matplotlib.pyplot as plt
                from matplotlib.dates import DateFormatter

                # x-Axis for the last 24 hours
                now = datetime.now()
                time_labels = [now - timedelta(minutes=i*10) for i in
range((60//10) * 24)]
                time_labels.reverse()

                def create_plot(queue, title, ylabel):
                    fig, ax = plt.subplots(figsize=(4, 4))
                    ax.plot(time_labels, queue)
                    ax.set(title=title, xlabel='Zeit', ylabel=ylabel)
                    ax.xaxis.set_major_formatter(DateFormatter('%H'))
                    fig.autofmt_xdate()
                    return fig

                Element('output_temp').write(create_plot({temp_queue},'Temp
eratur', '°C'))
                Element('output_humi').write(create_plot({humi_queue},
'Feuchtigkeit', '%'))
            asyncio.ensure_future(main())
        </py-script>
```

Im letzten gezeigten Abschnitt des HTML-Codes befindet sich der Quellcode für die Diagramme im *py-script* Tag. Durch *asyncio.ensure_future(main())* wird sichergestellt, dass *main* als asynchrone Funktion aufgerufen wird. Hierbei soll zuerst **Matplotlib** installiert werden, bevor es in *create_plot* genutzt wird. In dieser Hauptfunktion des Python-Skripts werden die einzelnen beiden Diagramme zu Temperatur und Feuchtigkeit erstellt und in die div-Elemente „output_temp“ und „output_humi“ eingesetzt.

Quellcode der Außenstation

Der Programmcode der Außenstation ist nahezu identisch zum Quellcode der Innenstation. Hierbei werden nur die Unterschiede zwischen beiden Programmen betrachtet.

```
def main():
    measure.initialize_led()
    measure.initialize_dht22()
    measure.initialize_photo_resistor()
    measure.initialize_raindrop_sensor()

    measure.led.on()

    try:
        connection, ip = connect_to_wifi()
    except Exception as e:
        log_exception(e)
        machine.reset()

    measure.led.off()
```

Auch wie beim Programmcode der vorherigen Station werden hier als Erstes die eingebaute LED sowie die Sensoren initialisiert. Im Anschluss wird eine Verbindung zum Internet aufgebaut. Da kein Display vorhanden ist, leuchtet die LED so lange bis eine Verbindung etabliert werden konnte. Dadurch kann man eventuelle Verbindungsprobleme besser erkennen, wenn der Raspberry Pi Pico W am Strom angeschlossen wurde.

```
    first_digit_of_minute = -1
    last_gc_time = time.time()

    while True:
        # clear memory every 3 minutes
        if (time.time() - last_gc_time >= 180):
            gc.collect()
            last_gc_time = time.time()

        temp_first_digit_minute = get_first_digit_of_minute()
        if (first_digit_of_minute != temp_first_digit_minute):
            first_digit_of_minute = temp_first_digit_minute

            try:
                measure.set_outdoor_values()

                # clear memory
                gc.collect()

            except Exception as e:
                log_exception(e)
                machine.reset()

        time.sleep(1)

        run_server(connection)
```

In der Hauptschleife des Programms werden alle zehn Minuten neue Sensordaten gemessen und gespeichert. Dabei wird auch jede Sekunde die Funktion *run_server* aufgerufen. Durch das fehlende Display existieren in der *main.py* im Verzeichnis *outdoor* keine Überprüfungen auf Änderungen der Messwerte.

Jan Niclas Ruppenthal
1481198

```
def run_server(connection):
    try:
        ready_to_read, _, _ = select.select([connection], [], [], 1)
        if ready_to_read:
            measure.led.on()
            […]

            if '/temp_value' in request:
                response = f"HTTP/1.1 200 OK\nContent-Type:
text/plain\n\n{measure.temp_value}"
            elif '/humi_value' in request:
                response = f"HTTP/1.1 200 OK\nContent-Type:
text/plain\n\n{measure.humi_value}"
            elif '/rain_value' in request:
                response = f"HTTP/1.1 200 OK\nContent-Type:
text/plain\n\n{measure.rain_value}"
            elif '/light_value' in request:
                response = f"HTTP/1.1 200 OK\nContent-Type:
text/plain\n\n{measure.light_value}"
            else:
                html_webpage = webpage_outdoor(measure.temp_value,
measure.humi_value, measure.light_value, measure.rain_value)
                response = "HTTP/1.1 200 OK\nContent-Type:
text/html\r\n\r\n" + html_webpage

            […]

    except Exception as e:
        log_exception(e)
        machine.reset()
```

Die Funktion *run_server* wurde leicht angepasst. In Abhängigkeit der Anfrage eines Clients sendet der Raspberry Pi Pico W verschiedene Antworten. Falls ein Messwert angefragt wird, dann wird dieser als Text übermittelt. Wenn kein Messwert angefragt wird, dann wird die Webseite als Antwort gesendet. Als Zusatz blinkt auch hier bei jeder Anfrage eines Clients die eingebaute LED. Der Code zur Webseite ist auch nahezu identisch zur Webseite der anderen Station. Deshalb wird der HTLM-Code nicht erneut aufgeführt und beschrieben.

Probleme und Verbesserungen

Ursprünglich hatte ich die Vision, dass nur eine Webseite existiert, die alle Daten der letzten 24 Stunden von allen Sensoren sammelt und in diverse Graphen darstellt. Hierbei kam der Raspberry Pi Pico W an seine Grenzen und es traten einige Schwierigkeiten auf. Ein Problem war, dass die Queues nicht vollständig in den HTML-Code eingebunden werden konnten. Eine Queue war immer unvollständig. Deshalb fiel die Entscheidung, verschiedene Webseiten für beide Stationen zu erstellen. Hierbei hat auch nur die Webseite der Innenstation die Möglichkeit, die Daten in einem Graphen darzustellen, weil nur zwei Messwerte vorhanden sind. Die andere Station hat zu viele Daten für vier Diagramme.

Eine Lösung wäre, den Raspberry Pi Pico W der Innenstation mit einem Raspberry Pi 4 oder sogar 5 zu ersetzen. Dieser hätte genug Leistung, um alle Dateien in diversen Diagrammen darstellen zu können. Des Weiteren wird dann auch nur eine Webseite benötigt. Die Microcontroller hätten die Aufgabe, die Daten von den Sensoren zu lesen und über HTTP zur Verfügung zu stellen. Zudem könnte man auch mit weiteren Raspberry Pi Picos verschiedene Daten wie Temperatur oder Feuchtigkeit in weiteren Räumen messen. Man kann auch weitere Sensoren bspw. für den Luftdruck oder Luftqualität verwenden.

Zusätzlich hätte man auch die Möglichkeit dieses Projekt mit Home Automation zu verknüpfen. Da ich aber nicht viele Geräte bezüglich Home Automation besitze, konnte ich das Projekt nicht mit weiteren Geräten im Haushalt verbinden.

Grundlegend kann ich sagen, dass ich viel Spaß bei diesem Projekt hatte. Zukünftig könnte ich mir auch vorstellen, weitere Projekte mit Raspberry Pis oder andere Microcontroller zu beginnen.