

# iCity: Intelligente Stadt Smart Public Buildings and Infrastructures CO<sub>2</sub>-Ampel zur Bestimmung der Raumbelegung

Humboldtgymnasium Solingen  
10.08.2023

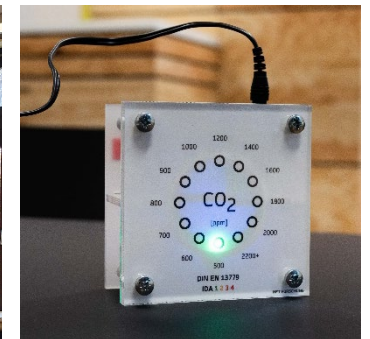
# Smart Public Buildings and Infrastructures

**Praxispartner:** Stadt Solingen (Stabsstelle Solingen Digital)

**Ausgewähltes Gebäude:** Humboldtgymnasium Solingen

**Use Cases:** Energiemonitoring, Auslastung der Gebäude, Sensormanagement

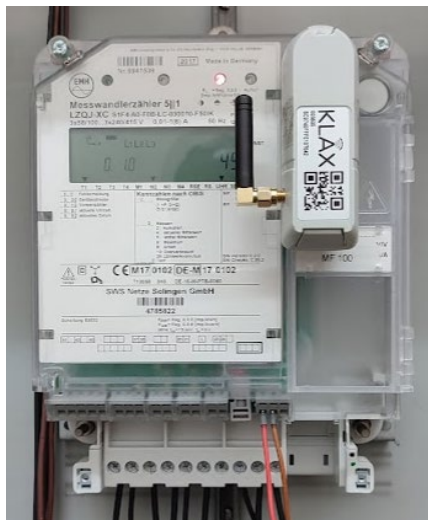
**Projekt mit dem Humboldtgymnasium:** CO<sub>2</sub>-Ampel zur Bestimmung der Raumbelegung



Schulgelände Humboldtgymnasium Solingen, PC-Raum R101, CO<sub>2</sub>-Ampel der HFT Stuttgart (Bilder: HFT Stuttgart)

# Energiemonitoring Humboldtgymnasium

**Sensoren & Gateway:** Nachrüsten der Hauptzähler für Wärme, Strom und Gas mit passenden LoRaWAN-Sensoren. Drei Temperatursensoren in Klassenzimmern. Ausbau des LoRaWAN-Netzwerks vor Ort. Sensordaten werden per MQTT abgerufen und zusammen mit Wetterdaten in eine Datenbank überführt.



Stromzähler mit Klax v2



Neun Wärmemengenzähler mit Elvaco-Karte



Gaszähler mit EnergyCam (und IMST Range Extender)



Sensor für Temperatur und Luftfeuchte (derzeit 3 in Klassenzimmern, bspw. Computerraum)

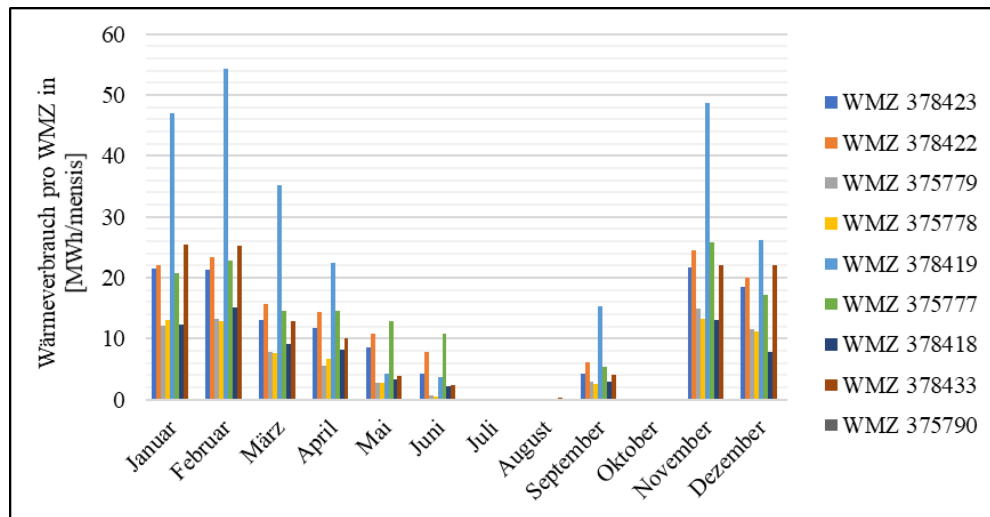


LoRaWAN-Gateway mit LTE (indoor)

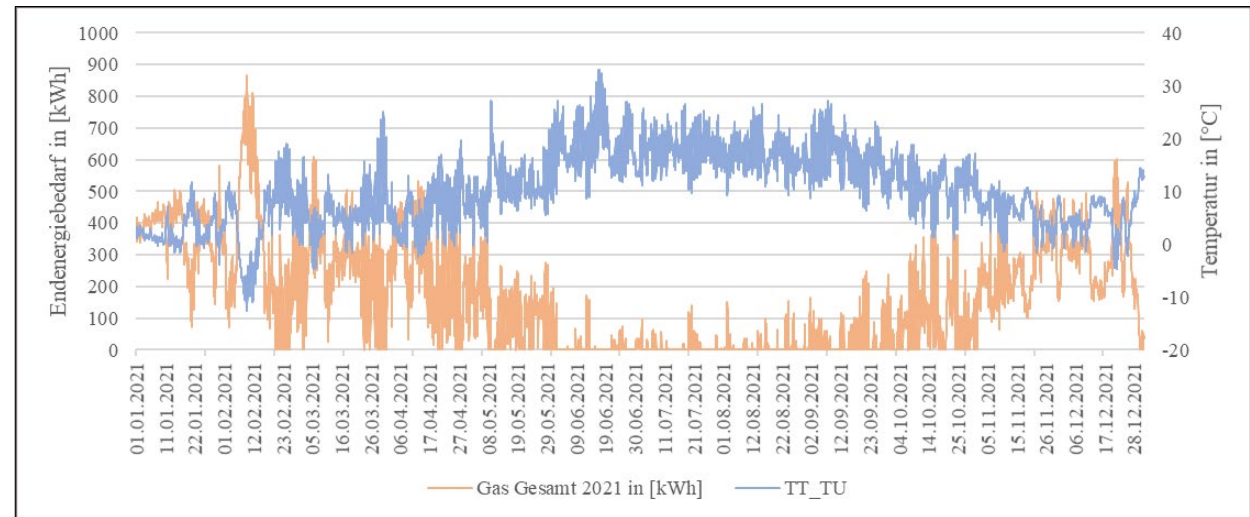


# Energiemonitoring Humboldtgymnasium

- Digitalisierung der Raumpläne des Humboldtgyrnasiums Solingen
- Bemessung der Raumflächen der jeweiligen Heizstränge
- Darstellung der Energieverbräuche pro Wärmemengenzähler (WMZ) in 2022
- Darstellung der Energieverbräuche über 10 Jahre, witterungsbereinigt
- Prüfung der Daten auf Konsistenz
- Dynamisierung nach dem Heizgradstundenverfahren



Wärmeverbrauch pro WMZ in 2022 (ohne Oktober)

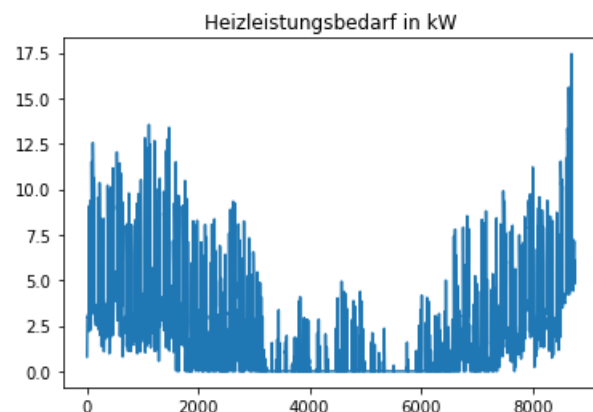


Energiebedarf gesamt in 2021 korreliert mit Wetterdaten

# Energiemonitoring Humboldtgymnasium

**Thermische Jahressimulation (8.760 h) für das „schlechteste“ Klassenzimmer (4. OG, Nord-West). Drei Szenarien:**

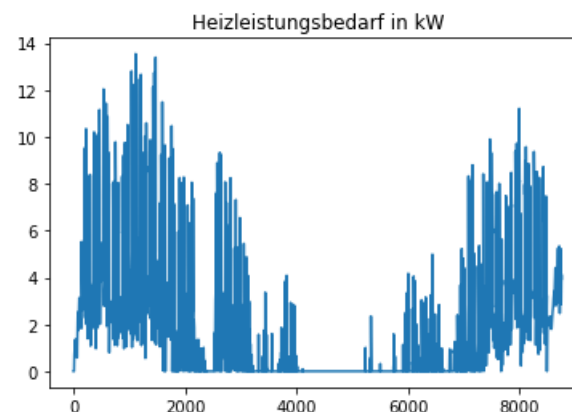
1. Statische Raumtemperatur mit Nachtabsenkung (Status Quo)
2. Steuerung der Solltemperatur durch ein Heizungsthermostat anhand Präsenz (19° Celsius Temperaturabsenkung nachts und bei ungenutztem Raum, 12° Celsius Temperaturabsenkung in den Ferien)
3. Steuerung der Solltemperatur durch ein Heizungsthermostat anhand Präsenz (16° Celsius Temperaturabsenkung nachts und bei ungenutztem Raum, 12° Celsius Temperaturabsenkung in den Ferien)



## 1) Status Quo

Spez. Nutzenergiebedarf: 221,8 kWh/m<sup>2</sup>a  
Spez. Endenergiebedarf: 254,95 kWh/m<sup>2</sup>a

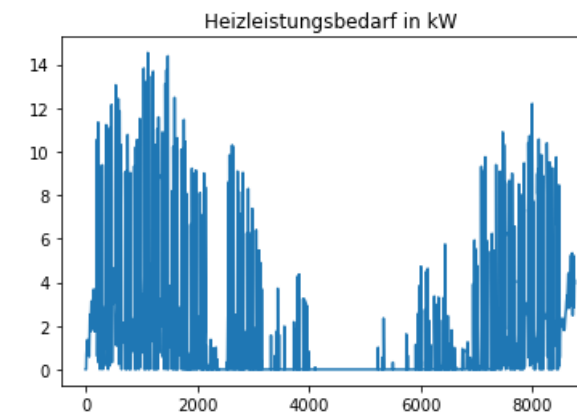
Schätzung mit 12 ct/kWh Gas:  
Kosten: 134,250.91 €/a



## 2) Steuerungskonzept 1

Spez. Nutzenergiebedarf: 186,9 kWh/m<sup>2</sup>a  
Spez. Endenergiebedarf: 214,83 kWh/m<sup>2</sup>a

Schätzung mit 12 ct/kWh Gas:  
Einsparung ca. 21.480 €/a



## 3) Steuerungskonzept 2

Spez. Nutzenergiebedarf: 156,3 kWh/m<sup>2</sup>a  
Spez. Endenergiebedarf: 179,67 kWh/m<sup>2</sup>a

Schätzung mit 12 ct/kWh Gas:  
Einsparung ca. 40.300 €/a

# Sensoren und Aktoren

Welche Sensorik und Aktorik wollen wir außerdem im Projekt verwenden?  
Beispielhafte Ausstattung von zwei Klassenräumen (R101, R314) mit:

## 1) Tektelic Präsenzsensoren LoRa

- Kosten: 60 €
- Informiert über Präsenz im Raum
- Kann Energiesparsam betrieben werden



## 2) MClimate Vicki LoRa-Thermostat

- Kosten: 75 €
- Kann Ferngesteuert werden
- Batterielaufzeit ca. 10 Jahre
- Steuerung auf Solltemperaturen bei Präsenz

## 3) Tektelic CO2-Sensor mit

- Kosten: ca. 250 €
- Batterielaufzeit ca. 10 Jahre
- Überwachung der CO2-Werte



## 4) MClimate Wireless Thermostat

- Kosten: 190 €
- Batterielaufzeit ca. 10 Jahre
- Manuelle Steuerung aller Thermostate im Raum
- Anzeige des Raumklimas
- Feedback für intelligente Steuerung

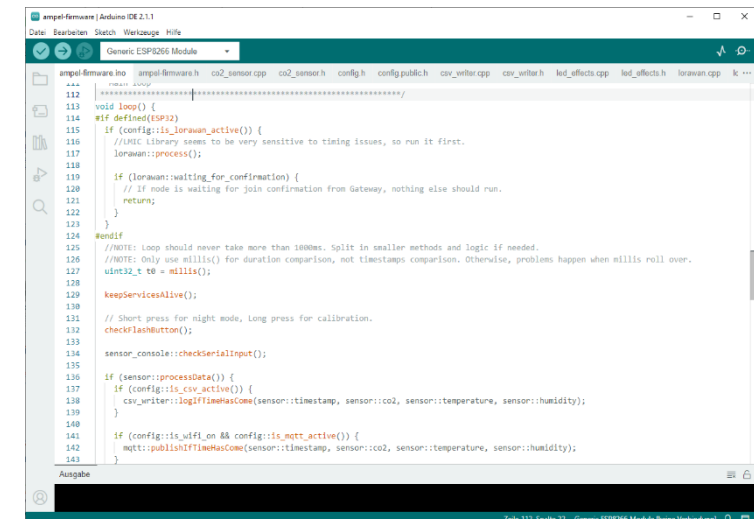
## 5) Dragino Außenfühler

- Kosten: 60 €
- Batterielaufzeit ca. 10 Jahre
- Referenzmessung für den Fühler im Schacht



# CO2-Ampel der HFT Stuttgart

- Offener Bausatz und offene Software: <https://transfer.hft-stuttgart.de/gitlab/co2ampel>
- Programmcode (C++) ist einsehbar und kann konfiguriert werden, bspw. in Arduino IDE.
- Wi-Fi für den Versand der Daten per MQTT an einen Server.
- Lokaler Webserver für Konfiguration, Visualisierung und Download der Messdaten.

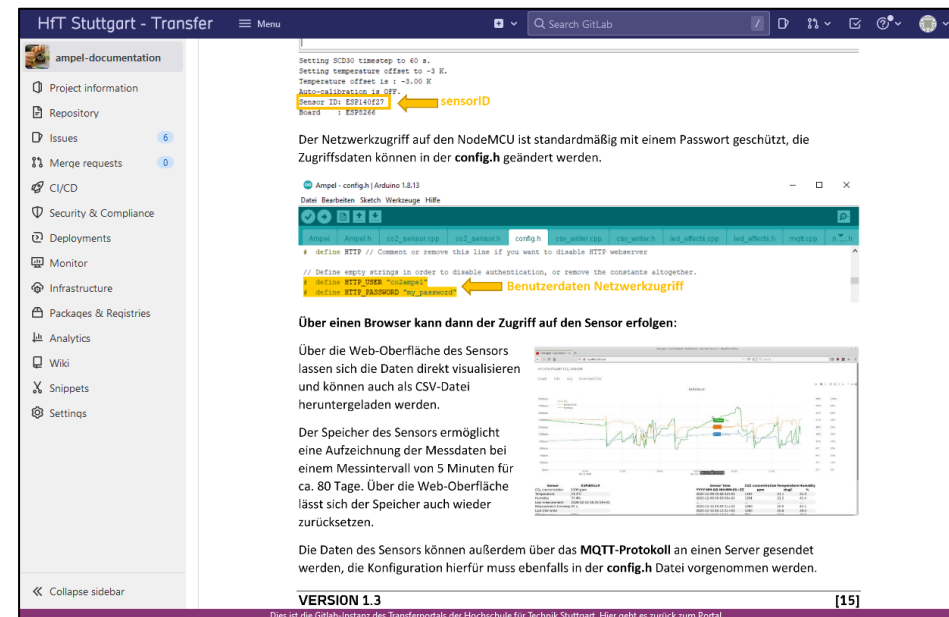
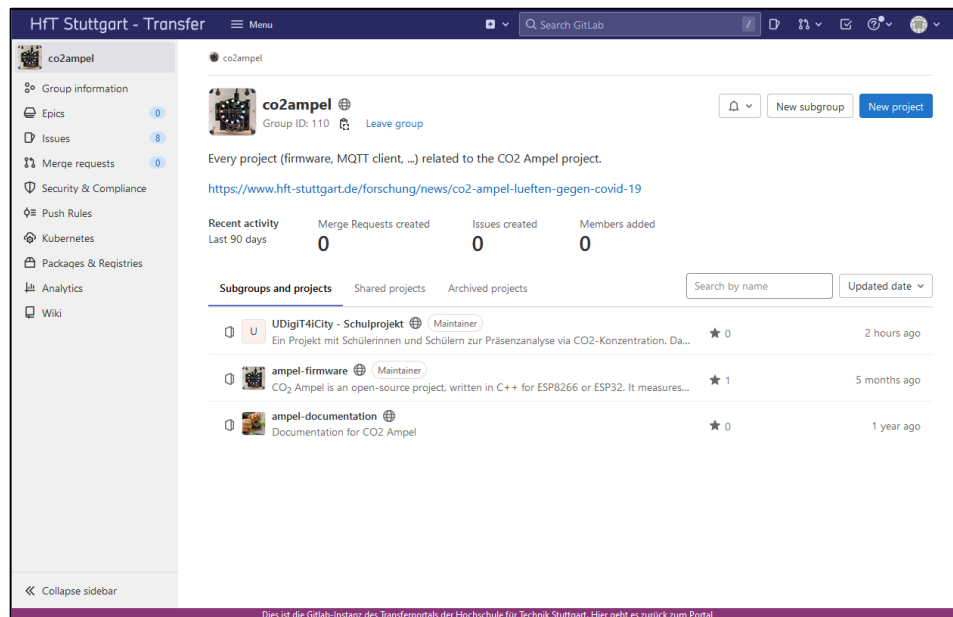


DIY-Bausatz CO2-Ampel der HFT Stuttgart: CO2-Ampel, Einzelne Komponenten, Arduino IDE mit Ampelcode (Bilder: HFT Stuttgart).

# CO2-Ampel der HFT Stuttgart

Moodle für Unterrichtsmaterialien und Dokumentation,  
 GitLab der HFT Stuttgart für Anleitung zur CO2-Ampel, zum Nachlesen und für Upload der Messdaten:

- <https://transfer.hft-stuttgart.de/gitlab/co2ampel/udigit4icity-schulprojekt>
- [https://transfer.hft-stuttgart.de/gitlab/co2ampel/ampel-documentation/-/blob/master/HFT\\_CO2-Ampel\\_Handbuch.pdf](https://transfer.hft-stuttgart.de/gitlab/co2ampel/ampel-documentation/-/blob/master/HFT_CO2-Ampel_Handbuch.pdf)



GitLab der HFT Stuttgart.



# CO2-Ampel – Aufgabenbeschreibung

Aufgabenbeschreibung mit grobem Fahrplan (wird dynamisch angepasst):

[https://transfer.hft-stuttgart.de/gitlab/co2ampel/udigit4icity-schulprojekt/-/blob/master/Arbeitsmaterialien/UDigit4iCity\\_Aufgabenbeschreibung\\_Humboldtgynasium\\_Solingen.pdf](https://transfer.hft-stuttgart.de/gitlab/co2ampel/udigit4icity-schulprojekt/-/blob/master/Arbeitsmaterialien/UDigit4iCity_Aufgabenbeschreibung_Humboldtgynasium_Solingen.pdf)



AP1: Was sind ppm und wie wird der Anteil berechnet?

AP2: Erfassung & Analyse der Messdaten

AP3: Entwicklung eines Workflows zur Bestimmung der Präsenz in einem Raum

AP4: Umsetzung eines Skriptes in Python, das anhand der Messwerte die Anzahl der Personen in einem Raum berechnet

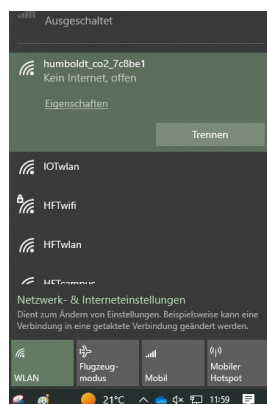
AP5: Dokumentation des Projektes in Moodle und auf dem GitLab-Transfer Portal der HFT Stuttgart

# C02-Ampel – Zugangsdaten

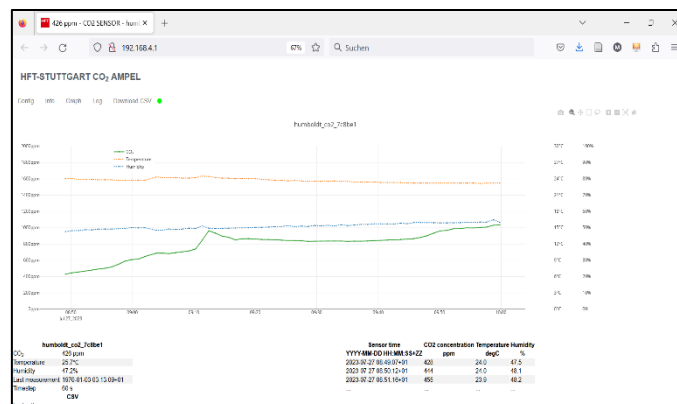
Access Point:      Name der Ampel, bspw. „humboldt\_ co2\_7c8be1“ (letzte 3 Byte der MAC-Adresse)  
IP-Adresse:        http://192.168.4.1  
User:                admin  
Passwort:          bspw. „co2\_7c8be1“ bei Ampelname „humboldt\_co2\_1481ab“

# CO2-Ampel – Messungen durchführen

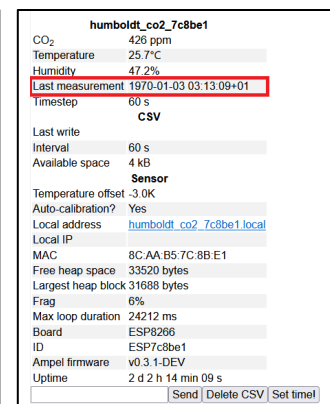
1. Verbinden mit dem Access Point, auf den Webserver der Ampel browsen: <http://192.168.4.1>
2. Wegen fehlender Internetverbindung wird zunächst die „Epoch“ (01.01.1970, 00:00 Uhr UTC) statt aktueller Zeit angezeigt:
  - a. Ganz unten auf **Set time** klicken und warten (ggf. Seite aktualisieren), bis aktuelle Zeit angezeigt wird (UTC-Zeitstempel, daher eine Stunde zurück im Sommer, im Winter zwei Stunden Differenz)
  - b. Dann **Delete CSV** klicken (neue Datei wird geschrieben, verhindert Vermischung mit alten Messdaten, falls der Zeitstempel springt)



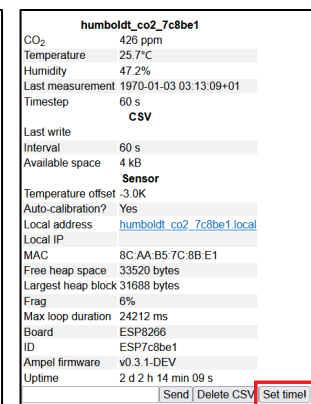
1



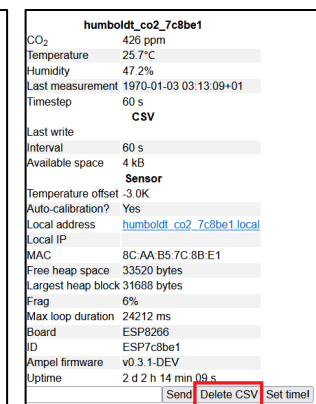
1



2



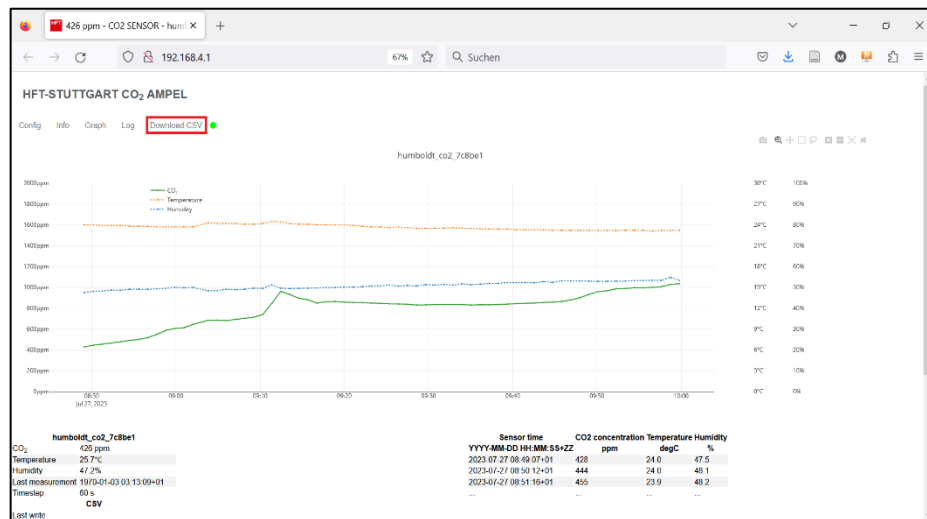
2a



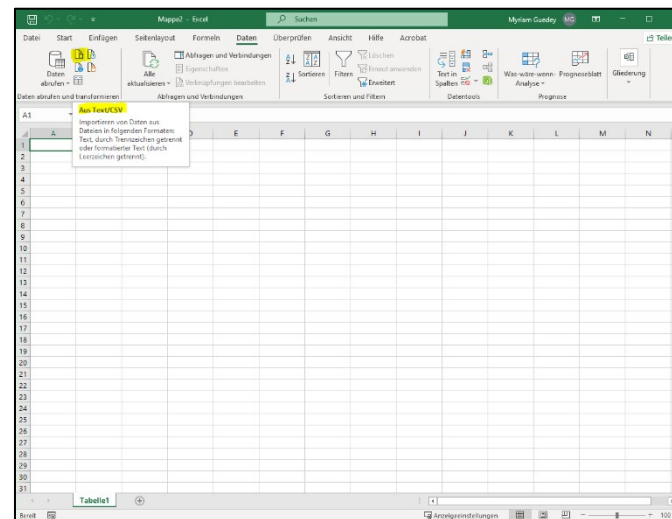
2b

# CO2-Ampel – Messungen durchführen

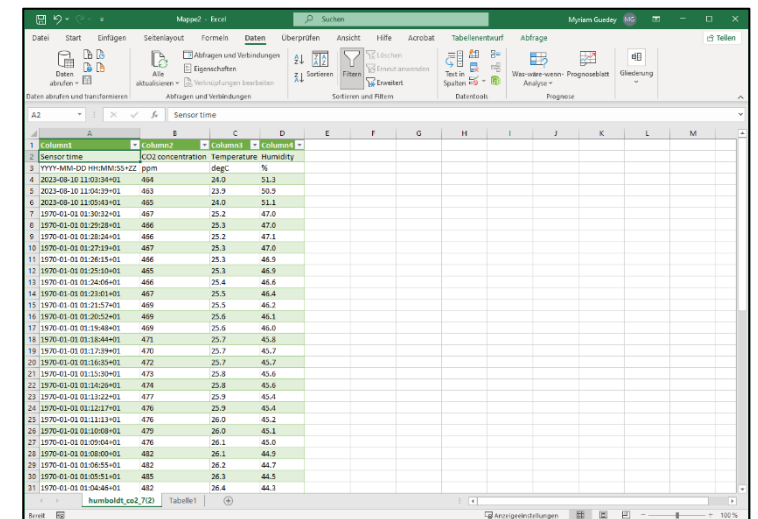
3. Nach Abschluss der Messreihe (Schulstunde) CSV-Datei herunterladen
4. Neue Datei in Excel öffnen, CSV-Datei importieren (im Menü „Daten“) und laden
5. Datei überprüfen, ggf. manuell korrigieren (Reihenfolge der Messungen bei gemischten Zeitstempeln)



3



4



5



# CO2-Ampel – Messungen durchführen

	A	B	C	D	E
1	Column1	Column2	Column3	Column4	Column5
2	Sensor time	CO2 concentration	Temperature	Humidity	
3	YYYY-MM-DD HH:MM:SS+ZZ	ppm	degC	%	
4	2023-08-10 11:03:34+01	464	24.0	51.3	
5	2023-08-10 11:04:39+01	463	23.9	50.9	
6	2023-08-10 11:05:43+01	465	24.0	51.1	
7	1970-01-01 01:01:33+01	503	26.6	43.6	1
8	1970-01-01 01:02:38+01	496	26.5	43.8	2
9	1970-01-01 01:03:42+01	488	26.5	44.0	3
10	1970-01-01 01:04:46+01	482	26.4	44.3	4
11	1970-01-01 01:05:51+01	485	26.3	44.5	5
12	1970-01-01 01:06:55+01	482	26.2	44.7	6
13	1970-01-01 01:08:00+01	482	26.1	44.9	7
14	1970-01-01 01:09:04+01	476	26.1	45.0	8
15	1970-01-01 01:10:08+01	479	26.0	45.1	9
16	1970-01-01 01:11:13+01	476	26.0	45.2	10
17	1970-01-01 01:12:17+01	476	25.9	45.4	11
18	1970-01-01 01:13:22+01	477	25.9	45.4	12
19	1970-01-01 01:14:26+01	474	25.8	45.6	13
20	1970-01-01 01:15:30+01	473	25.8	45.6	14
21	1970-01-01 01:16:35+01	472	25.7	45.7	15
22	1970-01-01 01:17:39+01	470	25.7	45.7	16
23	1970-01-01 01:18:44+01	471	25.7	45.8	17
24	1970-01-01 01:19:48+01	469	25.6	46.0	18
25	1970-01-01 01:20:52+01	469	25.6	46.1	19
26	1970-01-01 01:21:57+01	469	25.5	46.2	20
27	1970-01-01 01:23:01+01	467	25.5	46.4	21
28	1970-01-01 01:24:06+01	466	25.4	46.6	22
29	1970-01-01 01:25:10+01	465	25.3	46.9	23
30	1970-01-01 01:26:15+01	466	25.3	46.9	24
31	1970-01-01 01:27:19+01	467	25.3	47.0	25
32	1970-01-01 01:28:24+01	466	25.2	47.1	26
33	1970-01-01 01:29:28+01	466	25.3	47.0	27
34	1970-01-01 01:30:32+01	467	25.2	47.0	28

Fehlerhafte CSV-Datei (Access Point startete neu). Muss in der Reihenfolge der Messungen korrigiert werden.

# C02-Ampel – Hinweise

- Mindestens eine halbe Stunde am Stück konstant messen
- Falls der Access Point sich neu startet, muss nicht unbedingt die Zeit aktualisiert werden
- Ampel idealerweise auf Kopfhöhe und nicht direkt an der Tür oder an Fenstern platzieren (wg. Verwirbelung)
- Bei häufigen Werten unter 350 ppm muss die Ampel evtl. kalibriert werden:
  - Werden Messwerte unterhalb von 350 ppm CO<sub>2</sub> gemessen, was in der Praxis nicht vorkommen sollte, wechselt die LED-Anzeige in einen **Lila** Leuchtmodus. Dann sollte der Sensor rekali­briert werden: (a) Dazu platzieren Sie das Gerät einige Minuten am offenen Fenster. Drücken und halten Sie den „FLASH“ Knopf auf der Platine. Die LEDs zeigen einen **blauen** Ring, der für einige Sekunden einen Countdown herunterläuft. Wenn alle blauen LEDs erloschen sind, kann der Knopf losgelassen werden. (b) Alternativ kann die Kalibrierung auch über die serielle Schnittstelle („send“ im Webserver der Ampel) durch den Befehl „calibrate“ gestartet werden). Die Nächste Messung erfolgt, wenn für ca. 2 Minuten stabile Messwerte an der Außenluft gemessen werden. War die Kalibrierung erfolgreich, wird dies durch ein **grünes** Lauflicht signalisiert. Die nächste, kalibrierte Messung erfolgt dann nach ca. 1 Minute.

# Kontakt

## **Myriam Guedey und Robert Otto**

Forschung | iCity | UDigiT4iCity (Smart Public Buildings and Infrastructures)

Kompetenzzentrum für Digitalisierung in Forschung, Lehre und Wirtschaft (ZeDFLoW)

[myriam.guedey@hft-stuttgart.de](mailto:myriam.guedey@hft-stuttgart.de), [robert.otto@hft-stuttgart.de](mailto:robert.otto@hft-stuttgart.de)