



# STEAM4Climate Lehrerhandbuch zur projektbasierten Klimabildung

**Projekt: Von der Messung zur Bedeutung – Ökosysteme im  
MINT-Ansatz erforschen**

**Urheber(innen):** Dariusz Aksamit (Technische Universität Warschau)

Mitwirkende und Gutachter: Thomas Jörg (KGP), Rene Alimisi (Edumotiva)

**Version:** Version 2.2, 31.12.2025

**Status:** Endgültige Fassung – nach den Pilotphasen verfeinert und auf der Projektwebsite veröffentlicht.

## **EU-Projektkonsortium**

Das Projekt STEAM4Climate wurde im Rahmen des Erasmus+-Programms der Europäischen Union unter der Fördervereinbarung Nr. 2023-1-PL01-KA220-SCH-000158670 gefördert. Die in diesem Lehrbuch genannten Autoren sind Mitglieder des STEAM4Climate-Konsortiums. Das Projekt umfasst sechs Partner und wird von der Technischen Universität Warschau koordiniert. Weitere Informationen zum Projekt finden Sie auf der Website [Projektwebsite](#)

## **Haftungsausschluss**

Die Unterstützung der Europäischen Kommission bei der Erstellung dieser Veröffentlichung stellt keine Billigung des Inhalts dar, der ausschließlich die Ansichten der Autoren widerspiegelt, und die Kommission kann nicht für eine Verwendung der darin enthaltenen Informationen verantwortlich gemacht werden.

## **Creative-Commons-Lizenz:**

Dieses Dokument ist unter einer Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz für die Öffentlichkeit lizenziert ([CC BY 4.0](#))



# Inhaltsverzeichnis

Einführung	4
1. Lernübersicht	4
2. Lernziele und Methodik	5
3. Ein Ansatz mit „niedrigem Boden, hoher Decke und breiten Wänden“	7
Materialien	8
4. Im Werkzeugkasten der Basisversion enthaltene Materialien	8
5. Weitere Komponenten für die Basisversion	10
6. Komponenten für die erweiterte Version	10
Aktivitätsanleitung	11
7. Vorbereitung vor der Aktivität	11
7.1 Anschlussausrüstung	11
7.2 Datenprotokollierung	12
7.3 Interaktive Geschichte	13
8. Aktivitätsausführung	14
8.1 ppm verstehen	14
8.2 Chemische CO <sub>2</sub> -Produktion	16
8.3 Biologische CO <sub>2</sub> -Produktion – Hefe und die Rolle der Temperatur	18
8.4 Biologische CO <sub>2</sub> -Produktion – Boden	22
8.5 Einführung in die intelligente Landwirtschaft	24
8.6 Aufbau eines sich selbst erhaltenden, geschlossenen Ökosystems – PBL-Herausforderung	26
Nachbereitung und Zusammenfassung der Unterrichtsstunde	28
9. Diskussionsthemen	28
10. Bewertung	29
11. Erweiterungen	30

# Einführung

## UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung



### 1. Lernübersicht

Dieses Projekt lädt Schülerinnen und Schüler dazu ein, Biodiversität und Ökosysteme mithilfe eines praxisorientierten, interdisziplinären MINT-Ansatzes zu erforschen. Durch die Entwicklung und Beobachtung von in sich geschlossenen „Ökosystemen im Glas“ verbinden die Teilnehmenden wissenschaftliche Forschung mit ingenieurtechnischer Kreativität, digitaler Technologie und Datenanalyse, um besser zu verstehen, wie Leben mit seiner Umwelt interagiert.

Mithilfe von Sensoren und einem Datenerfassungsmodul messen Studierende wichtige Umweltparameter wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO<sub>2</sub>-Gehalt, Lichtintensität und Bodenfeuchte. Sie erwerben grundlegende Kenntnisse in wissenschaftlichen Methoden, indem sie Sensoren kalibrieren, Hypothesen aufstellen und Echtzeitdaten analysieren. Das Projekt erforscht die unsichtbaren Dynamiken des Lebens, einschließlich der Reaktion auf anthropogene Einflüsse.

Von geschlossenen Terrarien und aquatischen Ökosystemen bis hin zu Pilzmikrohabitaten und Hydrokultursystemen – jedes von Studierenden gestaltete Gefäß wird zu einem lebendigen Labor. Durch die Verknüpfung verschiedener Disziplinen fördert dieses Projekt Neugierde, systemisches Denken und Umweltbewusstsein.

**Schlüsselkonzept** Sich mit der Datenerfassung einer Reihe von Umweltparametern vertraut machen und Vertrauen in deren Interpretation entwickeln

**Dauer:** 2 Stunden für die Einführung, der Rest hängt vom jeweiligen Projekt ab.

**Anzahl der Sitzungen:** mindestens zwei, für den Aufbau der Geräte und die Durchführung längerer Messungen (Analyse der im Laufe der Woche gesammelten Daten).

**Zielgruppe:** Gymnasium, ab 15 Jahren

## 2. Lernziele und Methodik

Studierende, die an diesem Projekt teilnehmen, werden:

- lernen, wie Umweltparameter (z. B. CO<sub>2</sub>Konzentration, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Licht) werden in der Praxis gemessen und aufgezeichnet;
- Erfahrungen im Umgang mit Sensoren und Datenerfassungssystemen (DAQ) sammeln;
- den Unterschied zwischen Momentanwerten und Zeitreihendaten verstehen;
- die praktischen Grenzen der Messungen, wie z. B. die Aufwärmzeit des Sensors, die Reaktionsträgheit und die Messunsicherheit, berücksichtigen;
- Daten mithilfe einfacher Diagramme interpretieren und numerische Ergebnisse mit beobachteten physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen in Zusammenhang bringen;
- Erklären Sie, wie kleinräumige Prozesse, die in Experimenten beobachtet werden, mit großräumigen Klima- und Ökosystemdynamiken zusammenhängen.

### Methodik

Das Projekt folgt einem **forschendes, projektbasiertes Lernen (PBL)** Ansatz.

Der Unterricht ist um drei wiederkehrende Elemente herum strukturiert:

1. **Praktische Messung:** Die Studierenden sammeln mithilfe von Sensoren reale Daten und konzentrieren sich dabei auf korrekte Einrichtung, Kalibrierung und Beobachtung.
2. **Dateninterpretation:** Die aufgezeichneten Daten werden visualisiert und im Zusammenhang mit den experimentellen Ereignissen diskutiert, wodurch den

Studierenden geholfen wird, Messungen mit Ursache-Wirkungs-Beziehungen in Verbindung zu bringen.

3. **Ermittlungen ohne klares Ergebnis:**In erweiterten und abschließenden Projekten entwerfen die Studierenden ihre eigenen Experimente (z. B. geschlossene Ökosysteme, Szenarien für intelligente Landwirtschaft), formulieren Hypothesen und werten die Ergebnisse aus.

Der Schwerpunkt liegt auf **Interpretation von Messungen**Es geht nicht nur um das Sammeln von Daten, sondern auch darum, widerzuspiegeln, wie Umwelt- und Klimaforschung in realen Kontexten durchgeführt wird.

### 3. Ein Ansatz mit „niedrigem Boden, hoher Decke und breiten Wänden“

Im Projekt STEAM4Climate haben wir einen Ansatz gewählt, der es Schülern ermöglicht, Ökosysteme und Biodiversität mithilfe verschiedener Sensoren zu erforschen, unabhängig von ihren technischen Fähigkeiten.

- **Niedriges Stockwerk:** Anfänger können mit einfachen Hilfsmitteln wie einem vorgefertigten Arduino-Sensor-Kit, einfachen Einmachgläsern und Alltagsmaterialien (Erde, Moos, Wasser) problemlos loslegen. Vorkenntnisse im Programmieren oder in Elektronik sind in diesem Fall nicht erforderlich. *STEAM4Climate Umweltset* Es werden quantitative Beobachtungen verwendet, die den Studierenden Einblicke in die Dynamik des Ökosystems ermöglichen. Außerdem steht für jedes Szenario der Code zum Kopieren zur Verfügung.
- **Hohe Decke:** Fortgeschrittene Lernende können komplexere Sensoren (zum Beispiel NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und Ethanolensoren, abgesehen von CO<sub>2</sub>) für geeignete Szenarien einsetzen. Studierende können ihre Projekte selbstständig planen und gestalten. Besonders begabte Studierende können eine qualitative Analyse durchführen. Sie können ermutigt werden, zusätzliche Experimente durchzuführen, beispielsweise die Auswirkungen von Überdüngung des Bodens auf die Emission von Stickstoffverbindungen zu beobachten oder die langfristige Nachhaltigkeit geschlossener Biosphären zu untersuchen.
- **Breite Wände:** Die Möglichkeiten sind vielfältig – Schüler können verschiedene Ökosysteme modellieren (Erdökosysteme, Hydrokultursysteme, aquatische Umgebungen), geschlossen oder offen, aerob oder anaerob. Jedes Glas wird zu einer einzigartigen wissenschaftlichen und kreativen Komposition und regt zum Experimentieren mit mehreren Iterationen an. Warum sollte man sich letztendlich auf das Glas beschränken, wenn Messungen auch draußen, im Gartenkompost oder in nahegelegenen Feuchtgebieten, durchgeführt werden können?

Ob drinnen oder draußen in der Natur – jeder Lernweg ist individuell, und jedes Ökosystem-Glas erzählt seine eigene Geschichte. Wir hoffen, dass diese intensive

Erfahrung Neugierde weckt und eine bleibende Wertschätzung für die Komplexität des Lebens und der Umwelt fördert.

## Materialien

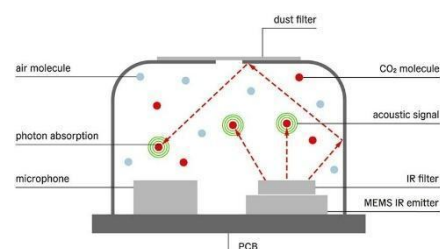
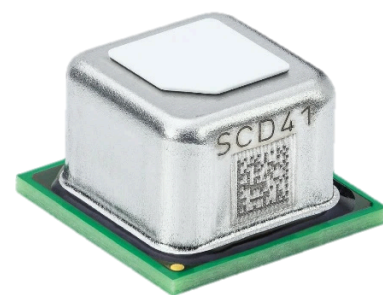
### 4. Im Werkzeugkasten der Basisversion enthaltene Materialien

- CO<sub>2</sub>-Sensor (Gravity: SEN0536)
- DAQ-Modul (Gravity: SCI DAQ-Modul)
- Batteriebooster
- Zwei Batterien
- Kabel: Doppelpoliger Stecker PH2.0-4P, Batterieanschluss (Eigenbau)

### Basissensoren – Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO<sub>2</sub>Konzentration

Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren sind üblicherweise integrierte Einheiten (wie DHT11 oder DHT22). Obwohl sie auch separat erworben und angeschlossen werden können, ist die Verwendung einer Platine mit integrierten Sensoren komfortabler und reduziert den Verkabelungsaufwand. Der Basissensor für CO<sub>2</sub>Die Konzentration, die wir als kosteneffektiv empfehlen, ist **SCD41**:

*„Der SCD4x ist die zweite Generation optischer CO<sub>2</sub>-Sensoren von Sensirion. Die Sensorserie basiert auf dem photoakustischen NDIR-Sensor.“<sup>1</sup>Das Sensorprinzip und die patentierte PASens®- und CMOSens®-Technologie von Sensirion bieten hohe Genauigkeit zu einem attraktiven Preis und in kompakter Bauform. Die SMD-Bauweise ermöglicht eine kostengünstige und platzsparende Integration des Sensors bei gleichzeitig maximaler Designfreiheit. Die On-Chip-Signalkompensation erfolgt über den*



<sup>1</sup>NDIR – Nichtdispersives Infrarot

integrierten Feuchtigkeits- und Temperatursensor SHT4x.<sup>2</sup>

Der SCD41-Sensor misst die von CO<sub>2</sub>-Molekülen absorbierte Energie. Durch das Ansteuern eines Infrarotstrahlers absorbieren die CO<sub>2</sub>-Moleküle periodisch Infrarotlicht. Dies führt zu zusätzlichen Molekülschwingungen und erzeugt eine Druckwelle in der Messkammer. Je höher die CO<sub>2</sub>-Konzentration, desto mehr Licht wird absorbiert und desto größer ist die Amplitude dieser Schallwelle. Ein Mikrofon in der Gaskammer misst diese Amplitude, woraus sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration berechnen lässt.<sup>3</sup>

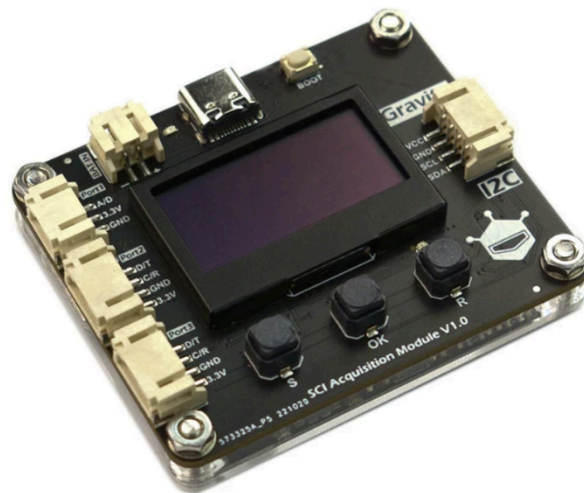


Verschiedene Hersteller bieten diesen Sensor mit leicht unterschiedlichen Leiterplattendesigns an. Um das Löten zu vermeiden und einen einheitlichen Satz Sensoren verwenden zu können, haben wir uns für folgende Variante entschieden: **Die von der Firma DFRobot entwickelte Gravity-Plattform** Daher haben wir uns entschieden, das Projekt mit Hilfe von ... umzusetzen. **DFRobot SEN0536** Modul.

### Schwerkraft: Modul zur wissenschaftlichen Datenerfassung (SCI DAQ)

Spezifikation<sup>4</sup>:

- Betriebsspannung: 3,3–5,5 V DC
- Betriebsstrom: 40 mA
- Ausgangssignal: I2C (0x21-0x23)
- Eingangsschnittstelle: 1 x Digital/Analog, 2 x I2C/UART
- Bordstauraum: 16 m
- RTC-Batterie: CR1220
- Bildschirminformationen: 1,3 Zoll OLED
- Produktabmessungen: 62 × 52 × 13 mm



<sup>2</sup> <https://sensirion.com/products/catalog/SCD41>

<sup>3</sup> [https://wiki.dfrobot.com/SKU\\_SEN0536\\_Gravity\\_SCD41\\_Infrared\\_CO2\\_Sensor](https://wiki.dfrobot.com/SKU_SEN0536_Gravity_SCD41_Infrared_CO2_Sensor)

<sup>4</sup> <https://www.dfrobot.com/product-2655.html>

## 5. Weitere Komponenten für die Basisversion

- Verschlossener Behälter (1-Liter-Glas oder Plastikflasche)
- Packung Trockenhefe (5 g)
- Packung Backpulver
- Packung Zitronensäure oder Essig
- Zucker
- Leitungswasser
- Stück Erde

## 6. Komponenten für die erweiterte Version

Gemäß dem Ansatz der „weiten Wände“ gibt es viele Möglichkeiten, das Projekt mithilfe des bereitgestellten SCI DAQ-Moduls zu erweitern, da es verschiedene Sensoren unterstützt, die für die Untersuchungsumgebungen relevant sind:

- analoger Bodenfeuchte- und Umgebungslichtsensor
- berührungsloser IR-Temperatursensor
- Wasserqualität: pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, TDS-Wert, wasserdichtes Thermometer
- Gasdetektoren (elektrochemisch)

Bei gleichzeitiger Verwendung mehrerer Sensoren ist ein zusätzlicher „I2C-Hub“ erforderlich, was jedoch mit technischen Schwierigkeiten verbunden sein kann. Wir empfehlen daher die Verwendung eines separaten Datenerfassungssystems (DAQ). Die vollständige Liste der unterstützten Geräte finden Sie auf der Website des Herstellers.

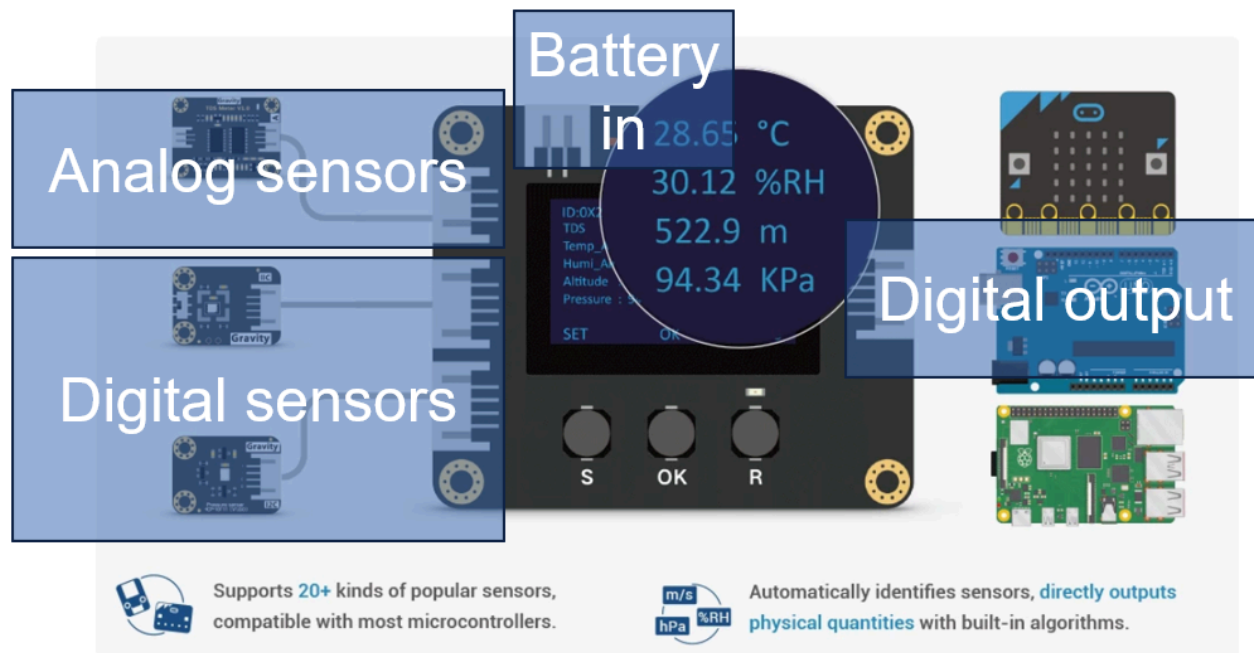
<https://www.dfrobot.com/product-2655.html>

# Aktivitätsanleitung

## 7. Vorbereitung vor der Aktivität

### 7.1 Anschlussausrüstung

Das SCI-DAQ-Modul benötigt eine Stromversorgung. In unserem Aufbau verwenden wir eine Batterie mit einem Spannungswandler; daher reichen zwei AA-Batterien für den Betrieb des DAQ-Moduls aus. Die 2-polige Batteriebuchse befindet sich oberhalb des Displays, während unser Sensor über eine 4-polige Buchse links neben dem Display angeschlossen werden sollte. Alternativ kann die Stromversorgung auch über ein USB-C-Kabel (angeschlossen an eine Powerbank – nicht im Lieferumfang enthalten) erfolgen.<sup>5</sup>



Aktivität für Schüler:

- Schließen Sie das Gerät an und lesen Sie die CO<sub>2</sub>-Konzentration (in ppm, Parts per Million) ab.
- Vergleichen Sie die im Innen- und Außenbereich angezeigten Werte.

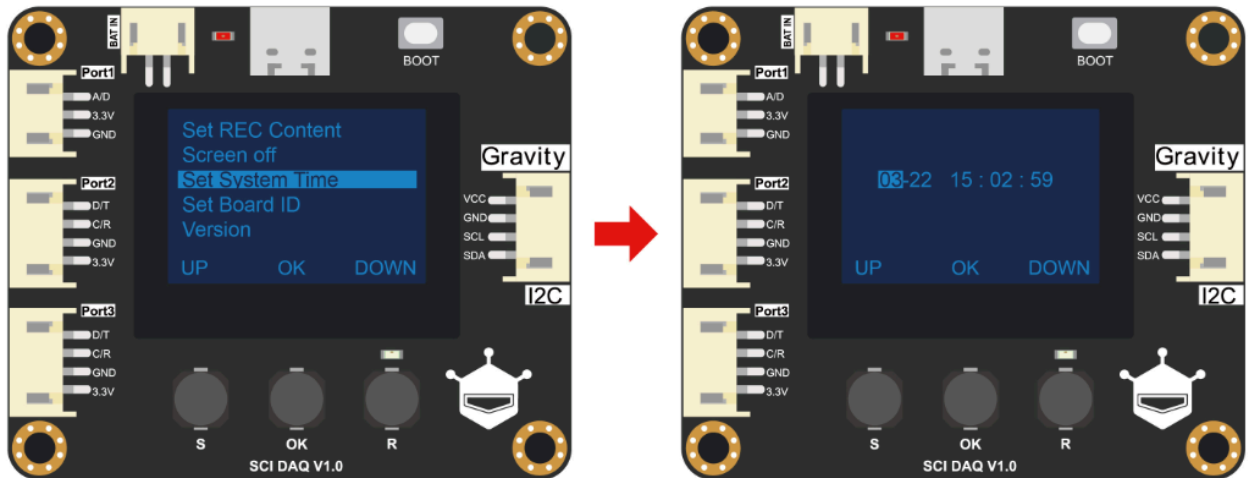
<sup>5</sup>Abbildung im Hintergrund – Hersteller-Website: <https://www.dfrobot.com/product-2724.html>

- Prüfen Sie, wie der Sensor auf Ihren Atem reagiert.

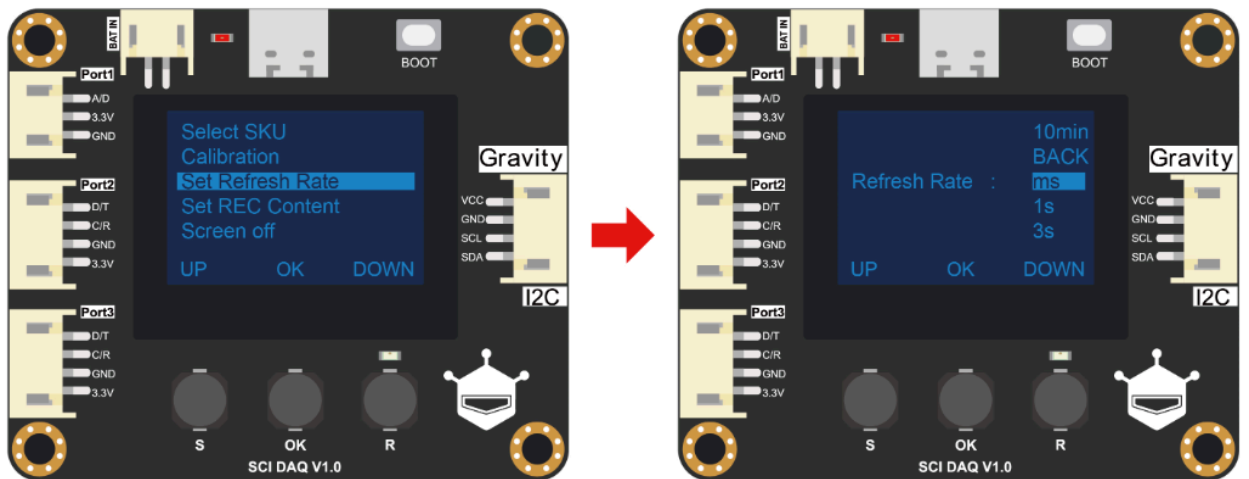
## 7.2 Datenprotokollierung

Zur Aufzeichnung der Messwerte werden zwei Messaufbauten benötigt:

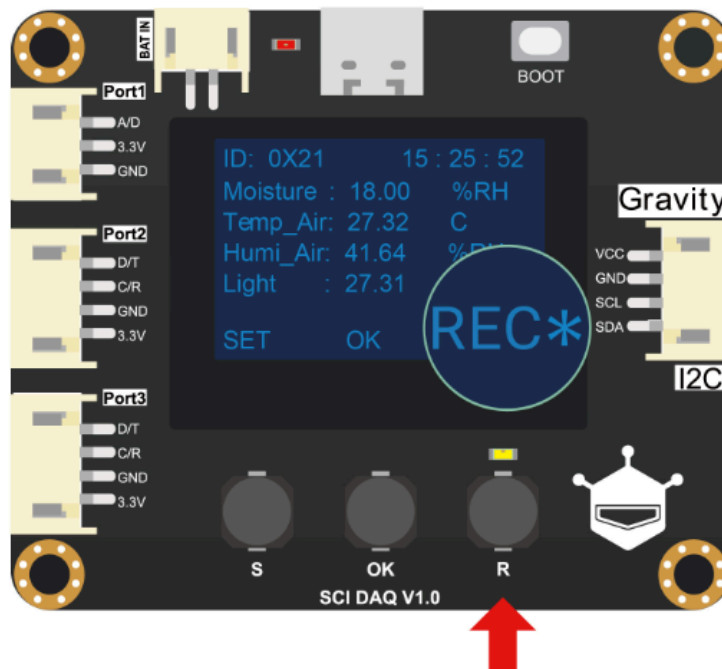
Systemzeit einstellen:



Einstellen der Aktualisierungsrate:

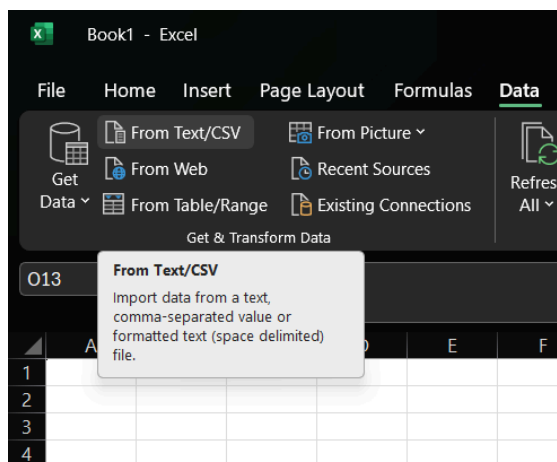


Mit dem richtigen Knopf kann die Datenaufzeichnung gestartet werden.



Das Blinken der gelben Diode signalisiert, dass die Aufnahme läuft.

Nach der Datenerfassung wird die CSV-Datei mit Kommas als Trennzeichen erstellt. Zum Einlesen der Datei empfehlen wir die Verwendung von Excel (oder einer ähnlichen Software) über: Daten → Aus CSV lesen → Laden.



### 7.3 Interaktive Geschichte

[Klicken Sie hier, um eine interaktive Aktivität zu entdecken...](#)

## 8. Aktivitätsausführung

Nachfolgend finden Sie eine Liste von Übungen mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad. Es obliegt der Lehrkraft, die passenden Übungen für die jeweilige Schülergruppe auszuwählen.

### 8.1 ppm verstehen

#### Objektiv:

Um zu verstehen, was „ppm“ bedeutet, messen Sie CO<sub>2</sub>. Die Konzentrationen in verschiedenen Umgebungen werden gemessen und analysiert, wie sie sich im Laufe der Zeit verändern.

#### Verfahren:

1. Schalten Sie die CO-Anlage ein. Sensor und warten Sie einige Minuten, bis sich die Messwerte stabilisiert haben (Aufwärmphase).
2. Starten Sie die Datenaufzeichnung mit dem Detektor. Beobachten Sie während des Betriebs die Werte live auf dem Display.
3. Nehmen Sie den Sensor mit:
  - Im Klassenzimmer messen.
  - Gehen Sie nach draußen und vergleichen Sie die Werte im Freien.
  - Atmen Sie kurz an der frischen Luft auf den Sensor (beachten Sie den kurzen Ausschlag).
  - Legen Sie es in ein verschlossenes Glas/eine verschlossene Schachtel, atmen Sie hinein und decken Sie es ab (beobachten Sie, wie lange die Werte hoch bleiben).
4. Nach Abschluss des Spaziergangs/der Experimente die Aufnahme stoppen.
5. Verbinden Sie den Sensor über USB-C mit einem Computer. Suchen Sie die aktuellste CSV-Datei (Trennzeichen = “,”), kopieren Sie sie auf Ihr Gerät und geben Sie so Speicherplatz auf dem Datenlogger frei.
6. Erstelle ein Streudiagramm: CO<sub>2</sub>Konzentration (ppm) vs. Zeit (s).

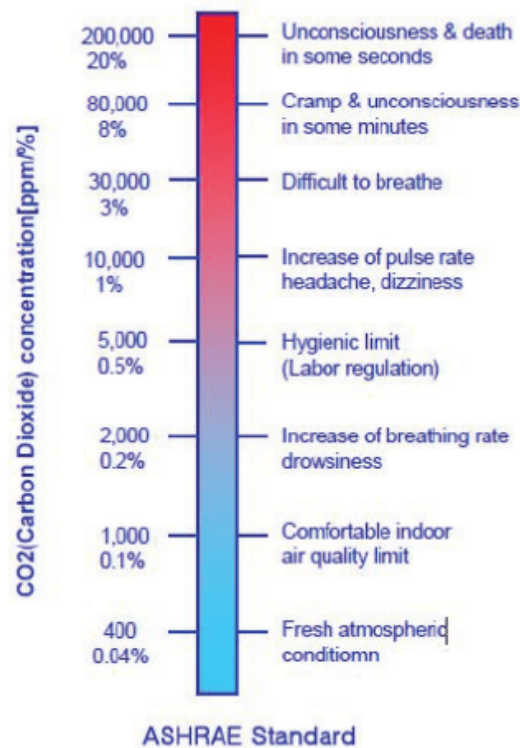
7. Vergleichen Sie die Grafik mit Ihren Beobachtungsnotizen:

- Als Sie von drinnen nach draußen umgezogen sind,
- Wenn Sie den Sensor anhauchten,
- Wie schnell die Werte stiegen und fielen (Detektorträgheit).

### Was hat das mit dem Klima zu tun?

- Die Außenluft enthält normalerweise etwa 400–450 ppm CO<sub>2</sub>, während in Innenräumen ohne Belüftung Werte von 1000–2000 ppm erreicht werden können.
- Weltweit CO<sub>2</sub> Das Niveau vor der Industriellen Revolution lag bei etwa **280 ppm** Heute übertreffen sie **420 ppm** Das entspricht einem Anstieg von rund 50 % in nur 200 Jahren – dem schnellsten Anstieg in der jüngeren Erdgeschichte. Dieses zusätzliche CO<sub>2</sub> Dadurch wird mehr Wärme in der Atmosphäre eingeschlossen, was den Treibhauseffekt verstärkt und den Klimawandel vorantreibt.
- Der menschliche Atem enthält etwa 40.000 ppm CO<sub>2</sub>. Dies zeigt, wie sich selbst geringe Emissionen in einem begrenzten Raum schnell anhäufen.
- Durch das Aufzeichnen, Darstellen und Verknüpfen von Messungen mit Beobachtungen erfahren die Schüler, wie unsichtbare Gase verfolgt werden können – genau so, wie Klimaforscher die sich verändernde Atmosphäre des Planeten überwachen.

## How does CO<sub>2</sub> affect the human body?



ASHRAE : American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers

6

## 8.2 Chemische CO<sub>2</sub>-Produktion

### Objektiv:

Um zu demonstrieren, wie chemische Reaktionen große Mengen an CO<sub>2</sub> erzeugen können, und um dieses Gas sowohl mittels Massenänderungen als auch mittels direkter Sensoren zu messen.

### Verfahren:

1. Bereiten Sie 5 g Backpulver (NaHCO<sub>3</sub>) vor<sup>3</sup>) und 3,8 g Zitronensäure (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) in 30–50 ml Wasser gelöst (alternativ kann Essig verwendet werden).
2. Stellen Sie den Behälter mit der Säurelösung auf eine elektronische Waage und tarieren Sie diese (stellen Sie sie auf Null).

<sup>6</sup> <https://gasalarm.com.au/importance-of-co2-measurement-inside-meeting-rooms-classrooms-offices-etc/>

3. Geben Sie das Natron hinzu und beobachten Sie: Es bildet sich Blasen in der Flüssigkeit und die Masse auf dem Display nimmt ab. Notieren Sie die Veränderungen im Zeitverlauf.
4. Wiederholen Sie das Experiment in einem Einmachglas mit Deckel:
  - Schließen Sie das CO<sub>2</sub>-Sensor unter dem Deckel (über der Flüssigkeit).
  - Starten Sie die Datenaufzeichnung, geben Sie das Natron hinzu und verschließen Sie das Glas (lassen Sie aus Sicherheitsgründen einen kleinen Spalt).
  - Den raschen Anstieg von CO<sub>2</sub> dokumentieren<sub>2</sub>Konzentration für mindestens einige Dutzend Sekunden.
5. Exportieren Sie die Datendatei (CSV) und erstellen Sie ein Streudiagramm von CO<sub>2</sub>-Konzentration (ppm) in Abhängigkeit von der Zeit (s). Vergleichen Sie dies mit Ihren Aufzeichnungen aus direkten Beobachtungen (Blasen, Massenänderung).

### Was hat das mit dem Klima zu tun?

- Die Reaktion zeigt deutlich die Freisetzung von CO<sub>2</sub>-Gas. Die „verschwindende“ Masse auf der Waage und die steigenden Sensorwerte sind zwei Perspektiven auf denselben Vorgang: unsichtbares Gas, das die Flüssigkeit verlässt und in die Luft entweicht.
- Weltweit betrachtet sind industrielle chemische Prozesse eine bedeutende CO<sub>2</sub>-Quelle<sub>2</sub>Quellen. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Öl, Gas) trägt zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen bei und beträgt etwa 35–37 Milliarden Tonnen<sub>2</sub>Jährlich kommen durch die Zementproduktion weitere ~2,5–3 Milliarden Tonnen (≈7–8 % der globalen Emissionen) hinzu.
- Genau wie im Einmachglas ist auch die Erdatmosphäre ein geschlossener Raum: das CO<sub>2</sub>Wir emittieren Ansammlungen.

### Optional – Berechnungen:

#### Schritt 1: Molmassen

Verbindung	Formel	Molmasse (g/mol)
------------	--------	------------------

Backpulver	NaHCO <sub>3</sub>	84.01
Zitronensäure	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> DER <sub>7</sub>	192.12
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	44.01

### Schritt 2: Stoffmenge an Backpulver (gegeben)

$$N_{NaHCDER_3} = \frac{5 \text{ g}}{84,01 \text{ g/mol}} \approx 0,0595 \text{ mol}$$

### Schritt 3: Stöchiometrie

Aus der ausgeglichenen Reaktionsgleichung:

- 1 Mol Zitronensäure reagiert mit **3 mol NaHCO<sub>3</sub>**, Also:

$$N_{Zitronensäure} = \frac{1}{3} \times 0,0595 \text{ mol} \approx 0,01983 \text{ mol}$$

### Schritt 4: Benötigte Masse an Zitronensäure

$$M_{Zitronensäure} = N_{Zitronensäure} \times M_{Zitronensäure} = 0,01983 \text{ mol} \times 192,12 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 3,81 \text{ g}$$

### Schritt 5: CO<sub>2</sub>Produziert

Aus der ausgeglichenen Reaktionsgleichung:

- Die Reaktion erzeugt **3 mol CO<sub>2</sub> pro 3 mol NaHCO<sub>3</sub>**, Also:

$$N_{CDER_2} = 0,0595 \text{ mol}$$

$$M_{CDER_2} = 0,0595 \text{ mol} \times 44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 2,62 \text{ g}$$

### Zusammenfassung:

- Man braucht **3,81 g Zitronensäure** mit **5 g Backpulver**
- Man wird ungefähr **2,62 g CO<sub>2</sub>** Gas erhalten.

## 8.3 Biologische CO<sub>2</sub>-Produktion – Hefe und die Rolle der Temperatur

### Objektiv:

Zur Beobachtung von CO<sub>2</sub>-Produktion während der Gärung durch Hefe und Verbindung biologischer Prozesse mit Treibhausgasemissionen.

### Verfahren:

1. Vorbereiten:

- 1 Päckchen Trockenhefe (~7 g),
- 1 Teelöffel Zucker
- warmes Wasser (30–40 °C), etwa 100 ml
- eine Plastikflasche oder ein Plastikglas,
- einen Ballon als Flaschenverschluss oder einen Deckel für ein Einmachglas
- und CO<sub>2</sub>Sensor mit Datenerfassung,
- Thermometer zur Messung der Wassertemperatur.

2. Hefe und Zucker in den Behälter geben, warmes Wasser (vorher die Temperatur messen) dazugeben und umrühren.

3. Schließe den Container:

- Wenn Sie einen Ballon verwenden, stülpen Sie ihn über den Hals, damit er sich mit Gas aufblähen kann (dies ist eine qualitative Demonstration der Gasproduktion für jüngere Schüler).
- Bei Verwendung eines Deckels befestigen Sie das CO<sub>2</sub>-Ventil- und Sensor unter dem Deckel (über der Flüssigkeit) und Datenaufzeichnung starten.

4. 15–30 Minuten lang beobachten:

- Schaum bildet sich an der Oberfläche.
- Der Ballon bläst sich auf.
- der CO<sub>2</sub>Sensor zeigt einen allmählichen Anstieg an (oft mehrere tausend ppm).

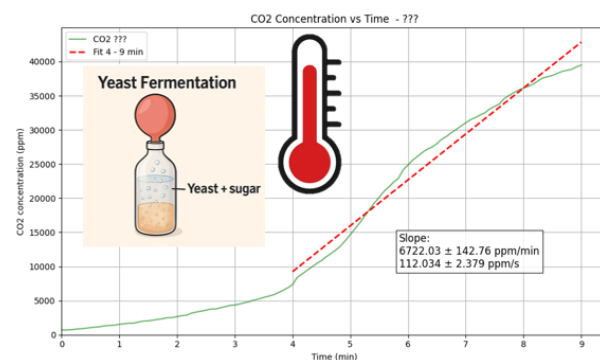
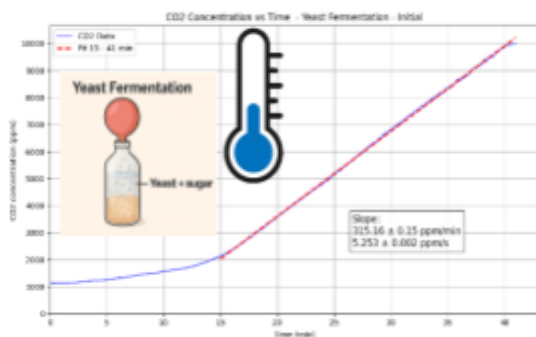
5. Exportieren Sie die Daten (CSV) und erstellen Sie ein Streudiagramm: CO<sub>2</sub>Konzentration (ppm) in Abhängigkeit von der Zeit (s). Vergleichen Sie das Diagramm mit Ihren Beobachtungen (Schaumbildung, Aufblasen des Ballons).

**Erweiterte Version:**

Bitten Sie die Schüler, mehrere Behälter mit Wasser unterschiedlicher Temperaturen vorzubereiten (z. B. kalt ca. 10 °C, zimmerwarm ca. 20 °C, warm ca. 30–40 °C, heiß ca.

50 °C). Geben Sie in jeden Behälter die gleiche Menge Hefe und Zucker. Notieren Sie den CO<sub>2</sub>-Gehalt.<sup>2</sup>Die Konzentrationsentwicklung über die Zeit mit dem Sensor (oder Vergleich der Ballonaufblähung) ist ebenfalls möglich. Diese Erweiterung erlaubt es den Schülern zu testen, wie die Temperatur die biologische CO<sub>2</sub>-Produktionsrate beeinflusst.<sup>2</sup>Die Produktion und die Bestimmung des „optimalen Bereichs“ für die Hefeaktivität stehen in direktem Zusammenhang mit der Klimaforschung, da die Temperatur biologische Prozesse wie Atmung, Zersetzung und mikrobielle Aktivität im Boden stark beeinflusst.

Im folgenden Beispiel ändert sich die CO<sub>2</sub>-Freisetzungsrate aufgrund der Änderung der Wassertemperatur um mehr als das 20-Fache:



### Was hat das mit dem Klima zu tun?

- Die Gärung ist ein biologischer Prozess, bei dem Hefe Zucker in Alkohol und CO<sub>2</sub> abbaut.<sup>2</sup>Das Experiment zeigt, dass lebende Organismen eine wichtige Rolle bei der CO<sub>2</sub>-Speicherung spielen können.<sup>2</sup>Quellen.
- Weltweit tragen ähnliche biologische Prozesse zu den Treibhausgasemissionen in Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion bei. Landwirtschaft, Viehhaltung und Landnutzungsänderungen emittieren etwa **6 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> jährlich** (ca. 15–20 % der vom Menschen verursachten Treibhausgase). Die Landwirtschaft ist einer der Hauptverantwortlichen für die globale Erwärmung.
- Dramatische ökologische Ereignisse erinnern uns an die Empfindlichkeit von Ökosystemen: zum Beispiel das **Massensterben von Saiga-Antilopen in**

**Kasachstan**<sup>7</sup> Im Jahr 2015 ermöglichten klimatische Bedingungen eine bakterielle Infektion, die über 200.000 Tiere tötete. Solche Fälle verdeutlichen, wie geringfügige Veränderungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit große biologische Rückkopplungen auslösen können, genau wie kleine mikrobielle Prozesse in diesem Experiment sich auf das globale Klima auswirken.

---

<sup>7</sup><https://www.theguardian.com/science/animal-magic/2016/apr/14/mass-death-saiga-antelope-kazakhstan-bacterial-infection>

## 8.4 Biologische CO<sub>2</sub>-Produktion – Boden

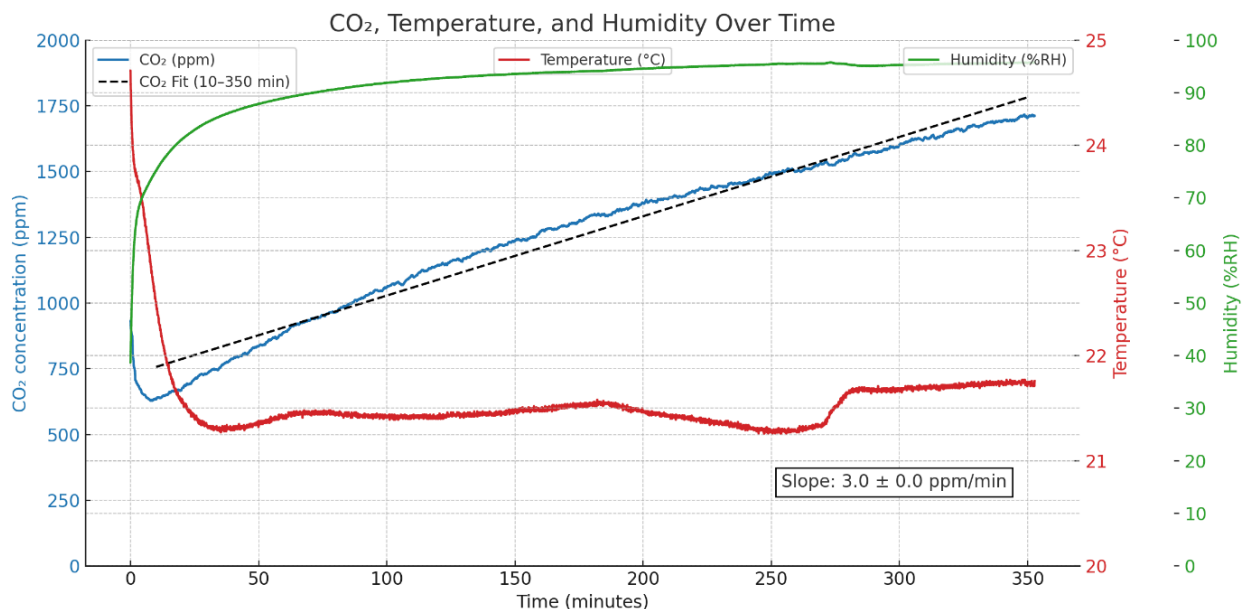
### Objektiv:

Um zu zeigen, dass der Boden ein aktives biologisches System ist und eine Quelle für CO<sub>2</sub> sein kann, aufgrund mikrobieller Atmung und Zersetzung organischer Substanz.

### Verfahren:

1. Bereiten Sie ein sauberes Einmachglas vor und geben Sie eine Portion feuchte Erde hinein (drücken Sie sie nicht fest).
2. Schließen Sie das CO<sub>2</sub> an. Der Sensor befindet sich unter dem Deckel, sodass er die Bodenoberfläche nicht berührt.
3. Schließen Sie das Glas und starten die Datenaufzeichnung.
4. Lassen Sie den Aufbau 10–20 Minuten lang ungestört.
5. Beobachten Sie, wie das CO<sub>2</sub> Die Konzentration ändert sich im Laufe der Zeit.
6. Wiederholen Sie die Messung mit einem leeren Glas (Kontrollversuch) und vergleichen Sie die Ergebnisse.
7. Parzellieren Sie die CO<sub>2</sub> Konzentration (ppm) in Abhängigkeit von der Zeit (s) und setzen Sie die Kurve in Bezug zu den Vorgängen im Boden.

Die folgende Grafik zeigt die Veränderungen der Umweltparameter im Laufe einiger Stunden.



## Was hat das mit dem Klima zu tun?

- Der Boden enthält eine große Anzahl von Mikroorganismen, die atmen und organische Substanz zersetzen, wobei  $\text{CO}_2$  freigesetzt wird, als natürlicher Bestandteil des Kohlenstoffkreislaufs.
- Weltweit speichern Böden mehr Kohlenstoff als Atmosphäre und Vegetation zusammen. Geringfügige Veränderungen der Bodenbedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur, organische Substanz) können daher den  $\text{CO}_2$ -Gehalt stark beeinflussen.
- Landwirtschaftliche Praktiken wie Bodenbearbeitung, Bewässerung und Düngung beeinflussen die mikrobielle Aktivität im Boden und können die Emissionen nicht nur von  $\text{CO}_2$  erhöhen, aber auch andere Treibhausgase wie Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ).
- Dieses Experiment zeigt, dass Böden keine passiven Oberflächen sind, sondern dynamische Ökosysteme, deren Bewirtschaftung eine Schlüsselrolle bei der Minderung des Klimawandels und der Anpassung an ihn spielt.

## 8.5 Einführung in die intelligente Landwirtschaft

### Objektiv:

Das Konzept der intelligenten Landwirtschaft soll eingeführt werden, indem Sensordaten zur Unterstützung von Entscheidungen über die Pflanzenbewässerung genutzt werden, anstatt sich auf feste Zeitpläne oder Intuition zu verlassen.

### Verfahren:

1. Bereiten Sie einen Topf oder einen Behälter mit Erde und einer wachsenden Pflanze vor.
2. Stecken Sie einen Bodenfeuchtigkeitssensor in den Boden in der Nähe der Pflanzenwurzeln.
3. Schließen Sie den Sensor an das DAQ-Modul an und starten Sie die Datenaufzeichnung.
4. Beobachten Sie die Bodenfeuchtwerte im Laufe der Zeit unter normalen Bedingungen (ohne Bewässerung).
5. Gieße die Pflanze und beobachte, wie sich der Bodenfeuchtwert verändert.
6. Beobachten Sie den Boden über mehrere Stunden oder Tage, um zu sehen, wie schnell er austrocknet.
7. Diskutieren oder definieren Sie ein **Schwellenwert** Unterhalb welcher Bewässerungsgrenze ist, ist eine Bewässerung notwendig.

### Erweiterte Version:

Die Aktivitäten im Bereich Smart Farming können durch die Einführung erweitert werden **automatisierte Bewässerung**. Hierbei werden Bodenfeuchtwerte genutzt, um die Bewässerung automatisch auszulösen (z. B. über eine relaisgesteuerte Pumpe oder ein Ventil). Studierende können Schwellenwerte definieren und testen, wie sich verschiedene Strategien auf das Pflanzenwachstum und den Wasserverbrauch auswirken.

Eine weitere Erweiterung besteht darin, das Experiment innerhalb eine **Growbox** oder in einem Mini-Gewächshaus, in dem zusätzliche Parameter wie Lichtintensität, Temperatur und Luftfeuchtigkeit kontrolliert oder überwacht werden. Dies ermöglicht es den Studierenden, offene und kontrollierte Umgebungen zu vergleichen, Wechselwirkungen zwischen Klimabedingungen und Pflanzenbedürfnissen zu untersuchen und zu diskutieren, wie kontrollierte Landwirtschaft (z. B. Gewächshäuser, vertikale Landwirtschaft) dazu beitragen kann, die Nahrungsmittelproduktion an den Klimawandel anzupassen und gleichzeitig den Ressourcenverbrauch zu reduzieren.

### **Was hat das mit dem Klima zu tun?**

- Die Landwirtschaft reagiert sehr empfindlich auf den Klimawandel, insbesondere auf die zunehmende Häufigkeit von Dürren, Hitzewellen und unregelmäßige Niederschläge.
- Bei der traditionellen Bewässerung wird oft Wasser verschwendet, indem zu früh oder zu spät bewässert wird, während die intelligente Landwirtschaft Echtzeitdaten nutzt, um den Ressourceneinsatz zu optimieren.
- Sensorgestützte Bewässerung reduziert den Wasserverbrauch, den Energieverbrauch und den Düngemittelabfluss und senkt somit die mit der Landwirtschaft verbundenen Treibhausgasemissionen.
- Diese Aktivität führt die Schüler ein in **Klimaanpassungsstrategien** und zeigt, wie Technologie, Ökosysteme und Nahrungsmittelproduktionssysteme helfen können, um mit sich verändernden Umweltbedingungen zurechtzukommen.
- Die gleiche datengetriebene Logik findet auch in der großflächigen Landwirtschaft Anwendung, wo Sensoren, Satelliten und Modelle Entscheidungen leiten, die sich auf die globale Ernährungssicherheit und die Klimaresilienz auswirken.

## 8.6 Aufbau eines sich selbst erhaltenden, geschlossenen Ökosystems – PBL-Herausforderung

### Objektiv:

Ziel ist es, ein kleines, abgeschlossenes Ökosystem zu entwerfen, zu bauen und zu überwachen, das über einen längeren Zeitraum ohne äußere Einflüsse funktionieren kann, und Rückkopplungsschleifen, Grenzen und Gleichgewichte in geschlossenen Umweltsystemen zu verstehen.

### Verfahren:

1. Teilen Sie die Schüler in kleine Gruppen ein und stellen Sie ihnen die Aufgabe:  
*Erschaffe ein geschlossenes Ökosystem, das sich so lange wie möglich selbst erhalten kann.*
2. Bitten Sie die Schüler, zusätzliches Material mitzubringen, wie zum Beispiel ein durchsichtiges Glas oder einen Behälter, Erde, kleine Pflanzen oder Moos, Wasser und optional natürliche Elemente (Steine, Laubstreu).
3. Die Schüler sollen ihr Ökosystem vor dem Bau planen und dabei Folgendes berücksichtigen:
  - Wassermenge,
  - Art und Anzahl der Pflanzen,
  - Vorhandensein von Boden und organischer Substanz
  - Verfügbares Licht.
4. Platzieren Sie die CO<sub>2</sub>-, Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren, die mit dem Datenerfassungssystem im Inneren des Behälters verbunden sind und am Deckel befestigt sind.
5. Starten Sie die Datenaufzeichnung und verschließen Sie den Behälter.
6. Überwachen Sie die Veränderungen im Laufe der Zeit (Stunden, Tage oder Wochen) – vergleichen Sie die Messwerte mit den sichtbaren Veränderungen des Pflanzenzustands (Wachstum, Welken, Kondensation).

## Was hat das mit dem Klima zu tun?

- Ein abgeschlossenes Ökosystem ist ein aussagekräftiges Modell des Erdsystems: Energie gelangt hauptsächlich in Form von Sonnenlicht hinein, während Materie intern zirkuliert.
- Kleine Ungleichgewichte bei Kohlenstoff, Wasser oder Energie können im Laufe der Zeit zu großen Veränderungen führen, genau wie im realen Klimasystem.
- Steigende CO<sub>2</sub>-Konzentration<sub>2</sub>Der Wasserstand, die Überhitzung oder das Ungleichgewicht des Wassers im Inneren des Glases spiegeln globale Herausforderungen wie Klimawandel, Dürre oder den Zusammenbruch von Ökosystemen wider.
- Diese Aktivität verdeutlicht Rückkopplungsschleifen (z. B. Photosynthese vs. Atmung von Pflanzen), Verzögerungen und Kipppunkte – Schlüsselkonzepte der Klimawissenschaft.
- Indem die Studierenden ihre eigenen Ökosysteme entwerfen und testen, erfahren sie, wie menschliche Entscheidungen die Stabilität der Umwelt beeinflussen, und werden so in der Erkenntnis bestärkt, dass das Klima der Erde nicht unendlich widerstandsfähig ist.

## Optionale Reflexionsfragen:

- Warum waren manche Ökosysteme stabiler als andere?
- Hat das System ein Gleichgewicht erreicht oder ist es in Richtung Scheitern abgedriftet?
- Welche Prozesse verliefen schnell, welche langsam?
- Inwiefern ist die Erde *ähnlich* und *anders als* ein Ökosystem aus Einmachgläsern?

# Nachbereitung und Zusammenfassung der Unterrichtsstunde

## 9. Diskussionsthemen

Die folgenden Diskussionsthemen helfen den Studierenden, über ihre Messungen nachzudenken und die experimentellen Ergebnisse mit umfassenderen Ökosystem- und Klimaprozessen in Verbindung zu bringen:

- **Verschiedene CO<sub>2</sub>-Quellen<sub>2</sub>:** Wie unterscheiden sich die Produktionsprozesse in geschlossenen Ökosystemen durch chemische Reaktionen, biologische Prozesse (Hefe, Boden) und Atmung? Welche Prozesse verliefen schnell, welche allmählich?
- **Geschlossene vs. offene Systeme:** Wie kam CO<sub>2</sub> Wie verhalten sie sich in der freien Luft, in belüfteten Räumen, in Gläsern und in abgeschlossenen Ökosystemen? Wie hilft uns das, die Erdatmosphäre als System zu verstehen? Ist die Erde ein offenes oder ein geschlossenes System?
- **Von ppm bis zum Klimawandel:** Wie wirkt sich ein kurzfristiger Anstieg des CO-Gehalts aus? Wie steht es mit dem langfristigen Anstieg seit der vorindustriellen Zeit? Warum ist eine scheinbar geringe Änderung im ppm-Bereich auf globaler Ebene von Bedeutung?
- **Rückkopplungsschleifen und Kipppunkte:** Welche Experimente zeigten stabilisierende Rückkopplungen (z.B. Pflanzenwachstum)? Welche zeigten unkontrollierte Effekte oder Systemversagen? In welchem Zusammenhang stehen diese mit realen Klimakipppunkten?
- **Messung und Unsicherheit:** Welche Einschränkungen haben Sie bei den Sensoren und der Datenaufzeichnung beobachtet (Aufwärmzeit, Trägheit, Rauschen)? Wie berücksichtigen Wissenschaftler ähnliche Probleme in der Klimaforschung?
- **Entscheidungsfindung auf Basis von Daten:** Wie haben Messungen Maßnahmen in der intelligenten Landwirtschaft und im Ökosystemdesign

beeinflusst? Warum ist datengestützte Entscheidungsfindung für Klimaschutz und Klimaanpassung unerlässlich?

- **Menschliche Verantwortung:** Welche experimentellen Eingriffe ähneln menschlichen Handlungen in realen Ökosystemen? Welche Lehren lassen sich aus diesen Experimenten für ein nachhaltiges Management von Land, Landwirtschaft und Emissionen ziehen?

## 10. Bewertung

Die Bewertung konzentriert sich auf **Prozess, Verständnis und Reflexion**. Es geht nicht um korrekte numerische Ergebnisse, sondern darum, zu beurteilen, wie Schüler Messungen nutzen, um über Ökosysteme und Klima nachzudenken.

### **Formative Bewertung (während der Aktivitäten)**

Lehrer können die Fähigkeit der Schüler beobachten und beurteilen, Folgendes zu tun:

- Sensoren und Datenprotokollierung korrekt einrichten;
- Beobachtungen zusammen mit numerischen Daten aufzeichnen;
- Messbeschränkungen erkennen (Aufwärmzeit des Sensors, Trägheit, Rauschen);
- Veränderungen in Diagrammen mit experimentellen Maßnahmen und Umweltprozessen in Zusammenhang bringen;
- Bei Gruppenaufgaben effektiv zusammenarbeiten.

### **Reflexionsbasierte Bewertung**

Um das Verständnis gegenüber dem Auswendiglernen zu betonen, können Schüler offene Fragen beantworten wie:

- Was ergaben die Messungen, was auf den ersten Blick nicht sichtbar war?
- Welches Experiment hat Ihr Verständnis von CO<sub>2</sub> und Ökosystemen am meisten, und warum?

- Wie hilft uns die Messung eines kleinen Systems, globale Klimaprozesse zu verstehen?

## **11. Erweiterungen**

Lehrkräfte und Schüler werden ermutigt, mithilfe der im Toolkit enthaltenen Ausrüstung oder durch Erweiterung ihrer Funktionen eigene Erweiterungen zu entwickeln. Das Datenerfassungsmodul unterstützt verschiedene Sensortypen, während Plattformen wie micro:bit zusätzliche Programmier- und Anpassungsmöglichkeiten bieten.

### **1. Überwachung von Kompost und organischen Abfällen**

Maßnahme CO<sub>2</sub>(und gegebenenfalls weitere Gase), die bei der Kompostierung oder Zersetzung organischer Abfälle freigesetzt werden, sowie die Temperaturänderung des Komposthaufens tragen dazu bei. Diese Aktivität verbindet Abfallmanagement, biologische Prozesse und Treibhausgasemissionen.

### **2. Reale Ökosystemmessungen**

Messungen sollten auch außerhalb des Klassenzimmers durchgeführt werden, zum Beispiel im Schulgarten, im Park, am Waldrand oder in einem Feuchtgebiet – das Datenerfassungssystem sollte auf Ausflüge und in den Urlaub mitgenommen werden, um eine „Forschungskultur“ zu schaffen.

### **3. Langzeitüberwachungsprojekte**

Wiederholte Messungen über Wochen oder Monate hinweg ermöglichen es, langsame Veränderungen in Ökosystemen zu beobachten. Dies hilft den Schülern, langfristige Trends, saisonale Einflüsse und den Unterschied zwischen kurzfristigen Schwankungen und nachhaltigen Veränderungen zu verstehen.

### **4. Vergleich verschiedener Ökosystemtypen**

Mehrere Ökosysteme (z. B. bodenbasierte, aquatische, moosbasierte, hydroponische) entwerfen und überwachen und deren Gasaustausch, Stabilität und Widerstandsfähigkeit vergleichen.

## **5. Verknüpfung von Bodenmessungen mit externen Daten**

Kombinieren Sie Sensordaten mit lokalen Wetteraufzeichnungen, Luftqualitätsdaten oder Satellitenbeobachtungen. Dies führt Studierende in die multispektrale Umweltanalyse ein, die in der realen Klimaforschung Anwendung findet.

## **6. Entwicklung von IoT-Systemen für die Umweltüberwachung**

Erweitern Sie das Projekt, indem Sie Sensoren und Datenerfassungsmodule mit dem Internet verbinden, um so den Fernzugriff auf Daten, Dashboards oder Warnmeldungen zu ermöglichen.