

# Steam4Climate Lehrerhandbuch zu projektbasierter Klimabildung

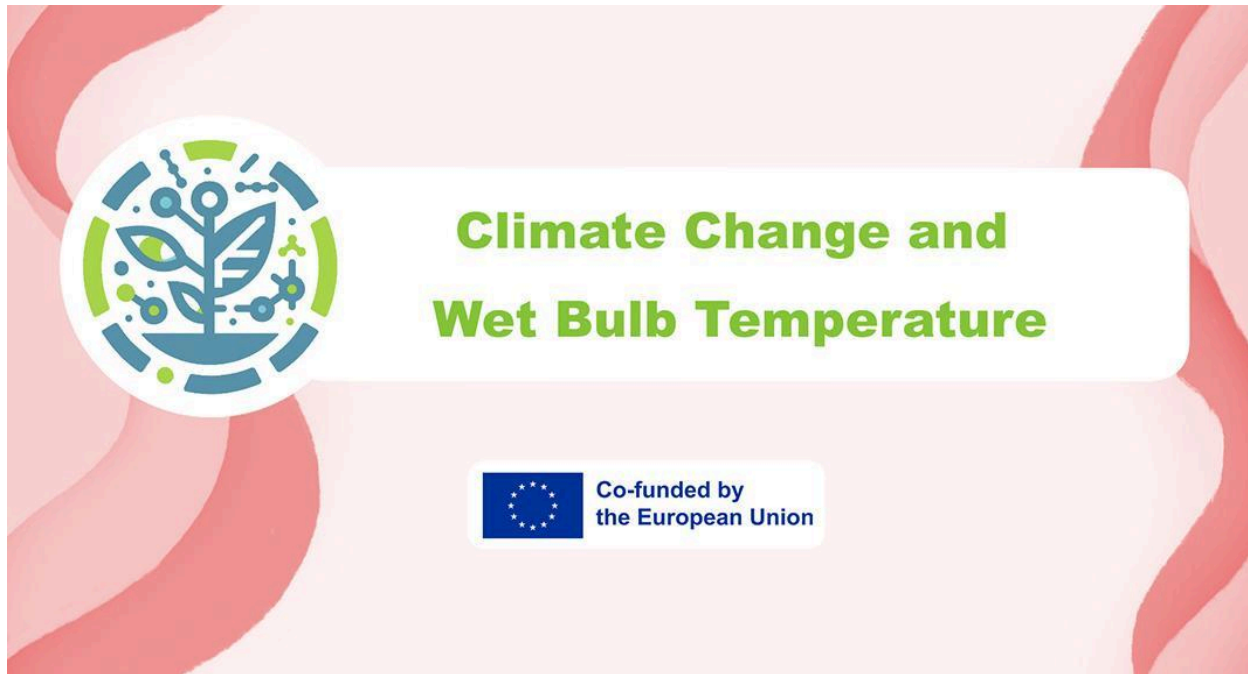
**Projekt: Klimawandel und Kühlgrenztemperatur**

**Schöpfer:** Thomas Joerg (Kepler-Gymnasium Pforzheim)

**Mitwirkende und Rezensenten:** Rene Alimisi Chrisanthi Papasarantou (Edumotiva – Europäisches Labor für Bildungstechnologie)

**Version:** Version 2.0, 16.10.2025

**Status:** Finale



## **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 Projekt-Website.

## **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 öffentlich zugänglich. ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/))



## Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS.....	3
EINFÜHRUNG.....	4
1. LERNÜBERSICHT.....	5
2. LERNZIELE.....	6
3. METHODIK.....	7
EIN ANSATZ MIT „NIEDRIGEM BODEN, HOHER DECKE UND BREITEN WÄNDEN“.....	8
4. MATERIALIEN.....	9
5. VERSUCHSABLAUF.....	11
6. BEISPIELE FÜR ARTEFAKTE.....	12
7. NACHBEREITUNG UND ZUSAMMENFASSUNG DER UNTERRICHTSSTUNDE.....	14
7.1 DISKUSSIONSTHEMEN.....	14
7.2 INTEGRATION DES LERNENS ÜBER FACHGRENZEN HINWEG.....	15
7.3 ZUSAMMENFASSUNG.....	15
8. ERWEITERUNGEN.....	16

# Einführung

## UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung



Dieser Leitfaden ist ein lehrerzentriertes Handbuch, das alle Inhalte enthält, die für die Durchführung des Unterrichts, die Anleitung der Experimente und die Vorbereitung der Schüler auf projektbasierte Aufgaben benötigt werden. Er beinhaltet technische und praktische Details, die für die Unterrichtsplanung unerlässlich sind.

Dieses Projekt befasst sich mit den UN-Nachhaltigkeitszielen 3 (Gesundheit und Wohlergehen) und 13 (Maßnahmen zum Klimaschutz), indem es untersucht, wie Hitze und Luftfeuchtigkeit die menschliche Gesundheit in einem sich erwärmenden Klima beeinflussen. Die Schülerinnen und Schüler erforschen, wie steigende Temperaturen und Luftfeuchtigkeit die natürliche Fähigkeit des Körpers zur Selbstkühlung beeinträchtigen können und verknüpfen so ihre persönlichen Erfahrungen mit übergreifenden Klima- und Nachhaltigkeitsfragen.

In diesem praxisorientierten, interdisziplinären Projekt führen Studierende eine Reihe von Experimenten und Simulationen durch, um das Konzept der Kühlgrenztemperatur zu verstehen – ein Maß, das Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit kombiniert und angibt, wie effektiv sich der Mensch durch Verdunstung abkühlen kann. Durch Experimente mit verschiedenen Umweltbedingungen und Materialien gewinnen sie Einblicke in die physikalischen und biologischen Prinzipien der Thermoregulation und reflektieren gleichzeitig, wie der Klimawandel hitzebedingte Risiken für Mensch und Ökosysteme verstärkt.

# 1. Lernübersicht

In diesem Projekt untersuchen die Schüler, wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit die Wärmeregulation des menschlichen Körpers beeinflussen. Sie lernen die Kühlgrenztemperatur kennen, die den kombinierten Einfluss von Wärme und Feuchtigkeit auf die menschliche Thermoregulation beschreibt. Durch praktische Experimente und digitale Simulationen gewinnen die Schüler Einblicke, wie der Klimawandel Hitzestress verstärkt und warum bestimmte Umweltbedingungen für Menschen und andere Lebewesen gefährlich werden können.

Diese Aktivität verknüpft Physik, Biologie und Klimawissenschaft und bietet Schülerinnen und Schülern eine praktische Möglichkeit, die physikalischen Gesetze der Wärmeübertragung, Verdunstung und des Energiehaushalts in lebenden Systemen zu verstehen. Das Projekt eignet sich ideal zur Förderung von kritischem Denken, Teamfähigkeit und Dateninterpretationskompetenz und regt die Schülerinnen und Schüler gleichzeitig dazu an, über die sozialen und ökologischen Dimensionen des globalen Temperaturanstiegs nachzudenken.

## **Schlüsselkonzept:**

Das Verständnis dafür, wie Wärme und Luftfeuchtigkeit durch den Kühlgrenztemperatureffekt interagieren und wie sich diese Beziehung auf die menschliche Gesundheit und die Klimaresilienz auswirkt.

**Dauer:** Ungefähr 5–6 Stunden (kann durch Simulations- und sensorgestützte Aktivitäten verlängert werden).

**Anzahl der Sitzungen:** 3–4 Unterrichtseinheiten (einschließlich theoretischer Diskussion, Experimenten und Reflexion).

**Zielgruppe:** Schüler der Sekundarstufe ab 13 Jahren.

## 2. Lernziele

Dieses Projekt bietet Schülerinnen und Schülern eine spannende und interdisziplinäre Lernerfahrung, die wissenschaftliches Experimentieren, kritisches Denken und Umweltbewusstsein vereint. Durch die Kombination von Konzepten aus Physik und Biologie erforschen die Schülerinnen und Schüler, wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Verdunstung zusammenwirken und die Fähigkeit des menschlichen Körpers beeinflussen, in einer sich erwärmenden Welt das Gleichgewicht zu halten.

Am Ende dieses Projekts werden die Studierenden in der Lage sein:

- Verstehen Sie das Konzept der Kühlgrenztemperatur und erklären Sie, wie sie Temperatur und Luftfeuchtigkeit zu einem einzigen Maß für Hitzestress kombiniert.
- Beschreiben Sie die biologischen Prozesse der Thermoregulation und die Rolle der Verdunstung bei der Kühlung des Körpers.
- Untersuchen Sie, wie Umweltfaktoren wie Luftfeuchtigkeit und Wind die Fähigkeit des Körpers zur Wärmeabgabe beeinflussen.
- Führen Sie praktische Experimente durch, um die Kühlwirkung unter verschiedenen Feuchtigkeitsbedingungen mit einfachen Labormaterialien zu messen.
- Sammeln und analysieren Sie quantitative und qualitative Daten, um die beobachteten Ergebnisse mit den theoretischen Erwartungen zu vergleichen.
- Experimentelle Ergebnisse im Hinblick auf reale Klima- und Gesundheits Herausforderungen, einschließlich Hitzewellen und der globalen Erwärmung, interpretieren.
- Über Anpassungs- und Minderungsstrategien zum Schutz der menschlichen Gesundheit im sich verändernden Klima nachdenken.
- Arbeiten Sie kreativ zusammen, um Lösungen oder Sensibilisierungsprojekte zu entwickeln (z. B. auf Mikrocontrollern basierende Sensoren, Datenvisualisierungen oder öffentliche Kampagnen).

### 3. Methodik

Lehrer werden ermutigt, zu kombinieren **praktisches Experimentieren** mit **geführte Reflexion** Und **Diskussion** Dieses Projekt soll Studierenden helfen, physikalische und biologische Konzepte mit den realen Auswirkungen des Klimawandels zu verknüpfen. **Projektbasiertes Lernen (PBL)** Ein Ansatz, bei dem Lernende komplexe Systeme durch Beobachtung, Messung und kreative Problemlösung erforschen.

Die Methodik integriert mehrere sich ergänzende Lernmodi:

- **Praktisches Experimentieren:** Die Studierenden führen aktiv Experimente durch, um zu beobachten, wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit die Verdunstung und die Körperkühlung beeinflussen.
  - **Wissenschaftliche Untersuchung und Analyse:** Sie sammeln, vergleichen und interpretieren Daten, um Zusammenhänge zwischen Umweltfaktoren und thermischem Komfort aufzudecken.
  - **Reflektierende Diskussion:** Die Studierenden diskutieren die Implikationen ihrer Ergebnisse und stellen Verbindungen zum Klimawandel, zur menschlichen Gesundheit und zum Wohlergehen der Gemeinschaft her.
  - **Gemeinsame Erkundung:** Durch Teamarbeit tauschen die Schüler Ideen aus, verteilen Rollen und entwickeln gemeinsam Projekte, die ihr Lernen über den Unterricht hinaus erweitern.
  - **Kreative Synthese:** Die Lernenden werden ermutigt, Lösungen zu entwerfen und zu kommunizieren – wie zum Beispiel Aufklärungsplakate, Prototypen von Wärmesensoren oder Anpassungsstrategien für gefährdete Bevölkerungsgruppen.
-

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

Im Rahmen von STEAM4Climate verkörpert dieses Projekt ein inklusives Lernkonzept, das es jedem Schüler ermöglicht, sich sinnvoll zu beteiligen – von einfachen Beobachtungen bis hin zu fortgeschrittenen Experimenten und Entwürfen.

**Niedriger Boden:** Alle Schüler können mit einfachen, leicht zugänglichen Experimenten beginnen – zum Beispiel mit der Beobachtung des kühlenden Effekts der Verdunstung mit Hilfe von Thermometern, Papiertüchern und Wasser oder Alkohol. Diese niedrighschwelligen Aufgaben ermöglichen es jedem, sich sofort mit dem wissenschaftlichen Kernkonzept auseinanderzusetzen.

**Hohe Decke:** Fortgeschrittene Lernende können ihre Erkundungen vertiefen, indem sie digitale Wetterstationen oder Hitzestressmonitore mit Hilfe von Mikrocontrollern (z. B. BBC Micro:bit oder WIO Terminal) und Feuchtigkeitssensoren entwerfen und bauen. Sie können außerdem regionale Klimadaten analysieren, um reale Hitzewellenmuster und kritische Kühlgrenztemperaturschwellen zu untersuchen.

**Breite Wände:** Das Projekt fördert vielfältige Wege der Kreativität und des Ausdrucks. Schülerinnen und Schüler können ihre Daten künstlerisch visualisieren, ihre Experimente mit gesellschaftlichen Themen wie Klimagerechtigkeit oder öffentlicher Gesundheit verknüpfen oder Kommunikationskampagnen entwickeln, um das Bewusstsein in der Bevölkerung zu stärken. Jeder individuelle Ansatz trägt zu einem umfassenderen Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Wissenschaft, Gesellschaft und Klima bei.

## 4. Materialien

Die unten aufgeführten Materialien unterstützen beides **Grundlagenexperimente** zum Verständnis des Kühlgrenztemperaturkonzepts und der **erweiterte Aktivitäten**. Für eine vertiefte Auseinandersetzung mit digitalen Werkzeugen oder kreativen Anwendungen können Lehrkräfte die Einrichtung an die verfügbaren Unterrichtsmaterialien und den Kenntnisstand der Schüler anpassen.

### Einheit 1: Annäherung an die Kühlgrenztemperatur durch Experimente

- **Experiment 1: Verdunstungskühlung:**
  - Pipette
  - Isopropanol (oder Ethanol, Benzinum medicinale)
  - Optional: Wasser, Pentan, Ethanol
  
- **Experiment 2: Quantitative Messung der Verdunstungskühlung:**
  - Pipette
  - Zwei Thermometer
  - Papierhandtücher
  - Isopropanol
  - Kleiner, USB-betriebener Ventilator
  
- **Experiment 3: Qualitative Messung der Kühlgrenztemperatur:**
  - Pipette
  - Zwei Thermometer
  - Papierhandtücher
  - Erlenmeyerkolben
  - Watte

- **Experiment 4: Messung der Körpertemperatur in Ruhe und während der Aktivität:**

- Infrarot-Thermometer oder Ohrthermometer
- Optional: Wassersprüher

## **Projektbasiertes Lernen**

- **Einheit 2: Bau einer Wetterstation (für jüngere Schüler):**

- BBC Microbit:<https://microbit.org/buy/bbc-microbit-go/>
- Kitronik OLED-Display für Microbit:<https://kitronik.co.uk/products/56115-kitronik-view-graphics128-oled-display-128x64-for-bbc-micro-bit>
- DHT22 Temperatur- und Feuchtigkeitssensor:<https://www.az-delivery.de/products/dht22-temperatur-sensor-modul>
- Computer mit Internetzugang

- **Einheit 2: Bau einer Wetterstation (für ältere Schüler):**

- Seeed Grove WIO-Terminal:<https://www.berrybase.de/seeed-wio-terminal-atsamd51-core-development-board-wifi-bluetooth>
- Seeed Grove SHT31 Temperatur- und Feuchtigkeitssensor:<https://eu.robotshop.com/de/products/grove-temperatur-feuchtigkeitssensor-sht31>
- Computer mit Internetzugang

# 5. Versuchsablauf

## Experiment 1: Verdunstungskühlung

- **Worum gehts:** Verstehen Sie die Verdunstungskühlung als ein biologisches und physikalisches Phänomen.
- **Verfahren:** Man kann einen Tropfen Isopropanol auf den Handrücken geben und den Kühleffekt beobachten. Die Schüler können mit verschiedenen Flüssigkeiten experimentieren, um die Kühlleistung zu vergleichen.

## Experiment 2: Quantitative Messung der Verdunstungskühlung

- **Worum gehts:** Verdunstungskühlung als messbares physikalisches Phänomen.
- **Verfahren:** Zwei Thermometer werden aufgestellt, eines davon in ein feuchtes Papiertuch gewickelt. Messen und vergleichen Sie den Kühleffekt.

## Experiment 3: Qualitative Messung der Kühlgrenztemperatur

- **Worum gehts:** Verstehen, wie sich die Luftsättigung auf die Kühlleistung auswirkt.
- **Verfahren:** Man platziert zwei Thermometer, eines in gesättigter Luft in einem Erlenmeyerkolben. Anschließend misst man den Unterschied in der Kühlwirkung.

## Experiment 4: Körpertemperatur in Ruhe und bei Belastung

- **Worum gehts:** Erforschen Sie, wie der Körper Wärme abgibt.
- **Verfahren:** Messen Sie die Körpertemperatur eines Schülers im Ruhezustand und nach körperlicher Aktivität. Optional können Sie einen Arm mit Wasser besprühen, um die Kühlwirkung beim Schwitzen mit der beim Nicht-Schwitzen zu vergleichen.

## Simulationswerkzeuge

**Kühlgrenztemperatursimulator:** Ein digitales Tool, das Schülern hilft, zu visualisieren, wann unter verschiedenen Feuchtigkeitsbedingungen kritische Kühlgrenztemperaturen erreicht werden. Hier geht es zum Tool:<https://iludis.de/wetBulbTemp/index.html>

## 6. Beispiele für Artefakte

Die Experimente dieses Projekts können zu einer Vielzahl von Artefakten führen, die sowohl wissenschaftliches Verständnis als auch kreativen Ausdruck demonstrieren. Die Studierenden werden ermutigt, ihre Ergebnisse auf ansprechende Weise zu dokumentieren, zu visualisieren und zu kommunizieren, um Daten, Design und Klimabewusstsein miteinander zu verknüpfen.

### 6.1 Experimentelle Artefakte

Die Studierenden können kleine Versuchsaufbauten und visuelle Darstellungen erstellen, die wichtige, im Unterricht behandelte Phänomene veranschaulichen. Beispiele hierfür sind:

- Ein Modell eines Feuchtkugelthermometers mit zwei Thermometern (trocken und in ein feuchtes Tuch gewickelt), das als Teil eines Posters oder einer Unterrichtsstation ausgestellt wird.
- Eine Tabelle oder ein Diagramm, das die Messwerte der „Trockenkugel“ und der „Feuchtkugel“ bei unterschiedlichen Luftfeuchtigkeitswerten vergleicht.
- Ein Foto eines einfachen Laboraufbaus, das deren Verfahren zur Messung von Temperaturdifferenzen zeigt.
- Eine handgefertigte Feuchtekkammer (z. B. aus einem Erlenmeyerkolben oder einem Plastikbehälter), die veranschaulicht, wie gesättigte Luft die Verdunstung begrenzt.

- Diese Artefakte können im Klassenzimmer ausgestellt werden, um anderen Schülern die Beziehung zwischen Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Kühlung zu veranschaulichen.

## **6.2 Digitale Artefakte**

Studierende, die mit Mikrocontrollern oder Simulationen arbeiten, können ihre Ergebnisse digital präsentieren. Mögliche Artefakte sind beispielsweise:

- Eine digitale Wetterstation, die Temperatur- und Feuchtigkeitsdaten in Echtzeit über ein Micro:bit- oder WIO-Terminal anzeigt.
- Ein Screenshot oder ein Diagramm der Simulation, das zeigt, wie sich die Kühlgrenztemperatur unter verschiedenen Bedingungen verändert.
- Eine interaktive Infografik oder ein kurzes Video, das die Schwellenwerte für Hitzestress und ihre globalen Auswirkungen erläutert.
- Ein Datenvisualisierungsprojekt, das aufgezeichnete Unterrichtsdaten mit realen meteorologischen Aufzeichnungen vergleicht.

## **6.3 Kreative und reflektierende Artefakte**

Ermutigen Sie die Schüler, naturwissenschaftliche Erkenntnisse mit Kreativität zu verbinden, um die menschlichen und gesellschaftlichen Aspekte des Themas auszudrücken. Ideen hierfür sind:

- Künstlerische Interpretationen wie Zeichnungen oder Collagen, die „Hitze und Feuchtigkeit“ oder „klimatisches Unbehagen“ visualisieren.
- Storytelling- oder Posterprojekte, die Strategien zur Vorbereitung auf Hitzewellen und zur Anpassung an diese vermitteln.
- Sensibilisierungskampagnen (digital oder physisch) zur Förderung nachhaltiger Verhaltensweisen, die die Auswirkungen von Hitze in städtischen Umgebungen mindern.

# 7. Nachbereitung und Zusammenfassung

Nach Abschluss der Experimente sollten die Schüler dazu angeregt werden, über ihre Beobachtungen nachzudenken, die Ergebnisse zu analysieren und ihre Erkenntnisse mit realen Kontexten zu verknüpfen. In dieser Phase wird die wissenschaftliche Entdeckung in kritisches Denken über Klimawandel, Gesundheit und menschliche Anpassung umgewandelt.

## 7.1 Diskussionsthemen

Nutzen Sie die folgenden Fragen, um Klassendiskussionen oder das Verfassen von Reflexionsberichten anzuregen. Sie helfen den Studierenden, ihre experimentellen Ergebnisse mit globalen und gesellschaftlichen Herausforderungen zu verknüpfen.

### Die Wissenschaft verstehen

- Warum fühlt sich heißes Wetter bei hoher Luftfeuchtigkeit unangenehmer an?
- Was passiert mit dem Körper, wenn die Kühlgrenztemperatur 35°C übersteigt?
- Wie wirken Temperatur und Luftfeuchtigkeit zusammen und beeinflussen die Verdunstungsrate?
- Warum ist der Unterschied zwischen den Messwerten für trockene und feuchte Temperatur an feuchten Tagen geringer?

### Verbindung zum Klimawandel

- Wie beeinflusst die globale Erwärmung die Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen?
- Welche Regionen der Welt sind am stärksten durch steigende Kühlgrenztemperaturen gefährdet?
- Welche Bevölkerungsgruppen (z. B. im Freien arbeitende Menschen, ältere Menschen, Kinder) sind am anfälligsten für Hitzestress und warum?

- Wie können Stadtplanung oder grüne Infrastruktur dazu beitragen, die Hitzebelastung zu verringern?

### Überlegungen zu Lösungen

- Welche Anpassungsmaßnahmen können Einzelpersonen ergreifen, um sich bei extremer Hitze zu schützen?
- Wie können Wissenschaft und Technologie die Klimaresilienz stärken?
- Wenn Sie eine Kampagne entwerfen könnten, welche Kernbotschaft würden Sie vermitteln wollen?

Ermutigen Sie die Studierenden, ihre Reflexionen mit ihren experimentellen Daten zu vergleichen.

## 7.2 Integration des Lernens über Fachgrenzen hinweg

Dieses Projekt knüpft auf natürliche Weise an mehrere Bereiche der MINT-Bildung an:

- **Wissenschaft:** Thermodynamik, Biologie, Meteorologie, menschliche Physiologie.
- **Technologie & Ingenieurwesen:** Einsatz von Sensoren, Datenaufzeichnung und Mikrocontrollern.
- **Kunst:** Visuelle Kommunikation, Storytelling und kreative Klimabotschaften.
- **Mathematik:** Datenanalyse, grafische Darstellung, Beziehungen zwischen Variablen.

Durch die Verknüpfung dieser Fachgebiete erkennen die Studierenden, wie wissenschaftliche Konzepte relevant sind.

### **7.3 Zusammenfassung**

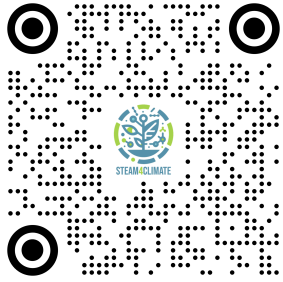
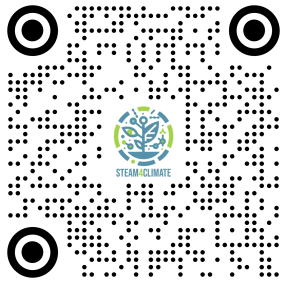
Durch dieses Projekt lernten die Schüler, wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit gemeinsam die Kühlleistung des Körpers bestimmen und warum diese Beziehung in einer sich erwärmenden Welt immer wichtiger wird.

Sie sammelten praktische Erfahrungen im Messen, Analysieren und Interpretieren von Daten aus der realen Welt und reflektierten gleichzeitig über die gesundheitlichen, ökologischen und sozialen Dimensionen des Klimawandels.

## 8. Erweiterungen

Dieses Projekt eröffnet vielfältige Möglichkeiten **Erweiterungen und weitergehende Erkundungen**, die wissenschaftliche Forschung mit Kreativität, Datenanalyse und gesellschaftlichem Engagement verbinden.

Lehrkräfte werden ermutigt, diese Ideen an die vorhandenen Unterrichtsmaterialien, die Interessen der Schüler und die örtlichen klimatischen Bedingungen anzupassen.

<p>STEAM4Climate Online-Webinar</p> <p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=MKNFSOJapi4">https://www.youtube.com/watch?v=MKNFSOJapi4</a></p>	
<p>STEAM4Climate-Interviews – Naturwissenschaftslehrer</p> <p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=WM5ZyGT6Is8">https://www.youtube.com/watch?v=WM5ZyGT6Is8</a></p>	
<p>STEAM4Climate-Simulation der Kühlgrenztemperatur</p> <p><a href="https://iludis.de/wetBulbTemp/index.html">https://iludis.de/wetBulbTemp/index.html</a></p>	