

## Eine Box, viele Möglichkeiten: Experimentieren im Kontext Klima

Christopher Jörgens\*, Cornelia Geller\*, Hendrik Härtig\*

\*Universität Duisburg-Essen, Didaktik der Physik  
christopher.joergens@uni-due.de

### Kurzfassung

Wie der Physikunterricht entscheidend zur Klimabildung beitragen kann, ist ein wichtiger Bestandteil physikdidaktischer Forschung geworden, da die komplexen Zusammenhänge im Kontext Klima durch geeignete Lernmaterialien zugänglich gemacht werden müssen. Mit dem Ziel, mit Lernmaterialien in diesem Kontext vor allem fachliche Kompetenzen zu fördern, haben wir ein Klimamodell in einer Box entwickelt. Dieses soll die komplexen Einflüsse verschiedener Klimafaktoren - wie z.B. den Sonnenstand, die Albedo oder den Anteil des Kohlenstoffdioxids - auf die Temperaturentwicklung simulieren. Die Variation entsprechender Klimafaktoren kann dabei einzeln und in Kombinationen erfolgen. Die Box liefert mittels mehrerer Sensoren Messdaten, die mit Hilfe der Phyphox-App graphisch dargestellt werden. In einer ersten Entwicklungsphase wurde das Klimamodell auf die Abbildung der Temperatureinflüsse der Erde getestet und zusätzlich in einer Erprobung mit Studierenden auf Nutzbarkeit, Verständlichkeit und auf einen Effekt der Motivation der Probanden untersucht.

### 1. Einleitung

Das Thema Klima und vor allem der Klimawandel hat in unserer Gesellschaft eine unbestrittene Bedeutung. Durch das Integrieren in die Curricula einiger Bundesländer ist es auch Teil einer allgemeinen physikalischen Grundbildung geworden (vgl. KMK, 2020; KLP NRW, 2019; Kerncurriculum Niedersachsen, 2022). Somit ist es eine Aufgabe des Physikunterrichts, Klimazusammenhänge zu erläutern und mit der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler (SuS) zu verknüpfen. Es gibt jedoch erst wenige Lerngelegenheiten für Klimabildung (vgl. Feierabend und Eilks 2013). Zusätzlich werden die experimentellen Zugänge von Lerngelegenheiten eher auf einzelne Einflussfaktoren beschränkt (vgl. Kapitel 2). Wir haben daher eine Lerngelegenheit entwickelt, welche die experimentelle Untersuchung verschiedener Faktoren in einem Modell erlaubt und mit einfachen Mitteln von Lehrkräften nachzubauen ist.

Diese Klimabox soll nicht nur dem Fachwissenserwerb dienen, sondern insbesondere motivationssteigernd für SuS wirken. Aufgrund der großen Bedeutung für die nächsten Generationen gehen wir von einem hohen Interesse der SuS an diesem Kontext aus. (vgl. Höhnle, Velling, & Schubert, 2023). Im Gegensatz dazu, ist jedoch das allgemeine Physikinteresse von SuS im Mittel eher niedrig (vgl. Krapp, 1998; Möller, 2014). Die thematische Verbindung von Klima und Physik könnte also eine Gelegenheit darstellen, um Physikinteresse und Fachwissen zu fördern. Hierzu werden in dem Forschungsprojekt insbesondere affektive Merkmale fokussiert.

### 2. Unterrichtliche Zugänge im Kontext Klima

Für den Physikunterricht zum Kontext Klima haben Schubatzky et al. (2021) sechs zentrale Konzepte herausgearbeitet: Unsere Atmosphäre, den Unterschied zwischen Wetter und Klima, das Klima als System, den Treibhauseffekt, den Kohlenstoffkreislauf sowie das Wesen der Klimawissenschaften. Zu einigen dieser Konzepte sind bereits elaborierte Unterrichtsmaterialien mit experimentellen Zugängen entwickelt worden, die im Folgenden kurz umrissen werden.

#### 2.1. Zugänge zum Treibhauseffekt

In der Unterrichtseinheit von Stinken-Rösner (2021) können durch einzelne Experimente zu verschiedenen Einflussfaktoren sowohl der natürliche als auch der anthropogene Treibhauseffekt erschlossen werden. Dabei wird beispielsweise ein Versuch zur terrestrischen Strahlung mit dem Vergleich von Leuchtmitteln sichtbarer und infraroter Ausstrahlung mit einer Infrarotkamera durchgeführt. Außerdem gibt es Versuche zum Reflexionsgrad von Licht an verschiedenen Oberflächen, zur Wärmeaufnahme von verschiedenen Oberflächenmaterialien und zur Aufnahme von Wärmestrahlung durch CO<sub>2</sub>.

#### 2.2. Zugänge zu mehreren Konzepten

Der Klimakoffer von der LMU-München nutzt ebenfalls einzelne Experimente zum Zeigen von verschiedenen Effekten des Klimawandels (vgl. Toczowski, Wiczorek, Scorza, Strähle, 2022; Scorza, Lesch, Strähle, Sörgel, 2022). Beispielsweise werden Experimente zur Meeresspiegelerhöhung durch die Schmelzung von Landeis und Meereis, zur

Oberflächenalbedo durch den Vergleich der Wärmeaufnahme verschieden farbiger Oberflächen, zum Winkel der Bestrahlung durch die Sonne oder zur Wärmeaufnahme durch CO<sub>2</sub> durchgeführt. Im Gegensatz zur vorherigen Herangehensweise werden auch Modelle zur Erläuterung von Effekten herangezogen.

### 2.3. Zugänge zum Kohlenstoffkreislauf

In einer weiteren Experimentanleitung werden acht Experimente zur Verdeutlichung der Versauerung der Meere durch den anthropogenen Treibhauseffekt vorgestellt (vgl. Bioacid, (2012)). Unter anderem ein Experiment zur Erhöhung des Versauerungsgrades durch einen erhöhten Kohlenstoffdioxidpartialdruck in der Luft, indem eine Brausetablette in einem Reagenzglas gelöst und die Luft in ein anderes Reagenzglas eingeleitet wird. Außerdem werden weitere Experimente beispielweise zum Effekt der Grenzschichtversauerung oder dem Einfluss der Temperatur auf die Löslichkeit von CO<sub>2</sub> vorgestellt.

### 2.4. Zusammenfassung

Wie hier nur beispielhaft gezeigt, sind im Kontext Klima bereits einige experimentelle Zugänge erprobt worden und für den Unterrichtseinsatz zugänglich. Hierbei wird jedoch überwiegend auf Einzelexperimente zurückgegriffen; es mangelt an Vorschlägen, wie die Komplexität der Wechselwirkungen, also das Klima als System, für unterrichtliche Ziele in einem modellhaften System experimentell zugänglich gemacht werden kann (vgl. Schubatzky et al., 2021).

## 3. Entwicklung von Experimentiermaterial zu „Klima als System“

Dieses Desiderat wird in unserem Entwicklungsprojekt bearbeitet, mit dem Ziel, in einem System Zusammenhänge mehrerer möglicher Variablen gleichermaßen untersuchen zu können. Zusätzlich soll es eine kostengünstige Lernumgebung für den Einsatz in der Universität und der Schule sein, die eine verständliche Handhabung erlaubt und mit wenig Aufwand realisier- und anpassbar ist.

Die Messdatenaufnahme erfolgt digital, um eine einfache Handhabung und Kontrolle vieler Variablen zu ermöglichen. Auf Basis von Messdaten zur Temperaturentwicklung als abhängige Variable sollen sich so Schlussfolgerungen ziehen lassen, in welche Richtung mögliche Faktoren die Temperaturentwicklung beeinflussen. Ein quantitativer Vergleich der Effekte zwischen Faktoren wird nicht angestrebt.

### 3.1. Aufbau der Klimabox

Der Grundaufbau (vgl. Abb. 1) repräsentiert mit einer Strahlungsquelle und einer Plastikbox die Erde mit einem Teil der Atmosphäre unter dem Einfluss der Sonnenstrahlung (Bergmann, 2023). Die Plastikbox hat ein Volumen von etwa 9 Liter und eine Maße von 30 cm x 23 cm x 18,5 cm, sie lässt sich mit einem abnehmbaren Deckel luftdicht abschließen.



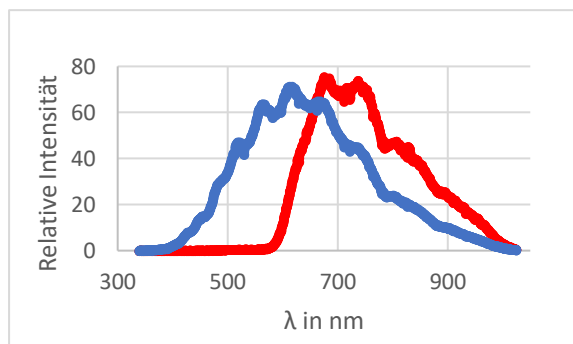
Abb. 1: Klimabox

Die Klimabox beschränkt sich auf die Simulation des untersten Teils der Atmosphäre, in welchem sich die meisten wetterbildenden Prozesse abspielen. Anders als bei der Erde, die sich mit ihrer Atmosphäre im Strahlungsgleichgewicht mit der Sonne befindet, wird bei der Klimabox kein Gleichgewichtszustand anvisiert, sondern der Prozess der Erwärmung untersucht.

Diese grundsätzliche Entscheidung zu den Grenzen des Modellexperiments wurde getroffen, um lange Wartezeiten bei der Messwertaufnahme zu vermeiden. Im Inneren der Klimabox nehmen Messsensoren Daten auf und senden diese über Bluetooth an die Phyphox-App.

### 3.2. Simulation der Sonnenstrahlung

Zur Simulation der Sonneneinstrahlung wird eine Rotlichtlampe von 100W (Herstellerangabe) verwendet, deren Spektrum in Abb. 2 dargestellt ist. Damit unterscheidet sich das Spektrum der Strahlungsquelle deutlich von dem der Sonne und ähnelt eher dem terrestrischen Spektrum. Dies stellt eine Einschränkung des Modellexperiments dar, weil so ein wesentlicher Teil des Treibhauseffektes mit der Klimabox nicht abgebildet wird. So ist für den Treibhauseffekt entscheidend, dass sich Solarstrahlung und terrestrische Strahlung hinsichtlich ihres Spektrums unterscheiden und damit von der Atmosphäre unterschiedlich stark absorbiert werden (Brönnimann, 2018). Durch den Verzicht auf diesen Modellaspekt können mit dem erhöhten Infrarotanteil aber schnellere Effekte auf die Lufttemperatur erzielt werden.



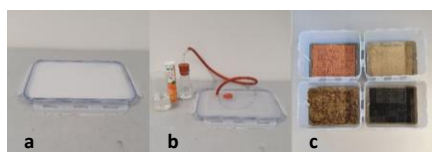
**Abb. 2:** Vergleich der Spektren der Infrarotlampe (rot) und einer 100W Glühlampe (blau). Es handelt sich um unkalibrierte Messungen, die nicht den gesamten Infrarotbereich umfassen.

### 3.3. Simulation der Strahlungsintensität

Die Strahlungsintensität nimmt mit dem Quadrat der Entfernung von der Sonne ab und hängt außerdem vom Einstrahlwinkel ab, was mit dem Lambert'schen Gesetz beschrieben werden kann (Kuttler 2013). Um diese Faktoren zu simulieren, können der Abstand der Lichtquelle und deren Ausrichtung zur Box variiert werden. Dazu dienen Schrauben an der Haltestange, die eine Veränderung des Abstandes zwischen 20 cm und 50 cm zur Mitte der Box erlauben. Der Einstrahlwinkel kann bis zu einem Wert von 40 Grad verringert werden, wenn die Einstrahlung überwiegend durch den Deckel und nicht die Seitenwände der Box erfolgen soll.

### 3.4. Simulation der planetaren Albedo

Die planetarische Albedo, also das Verhältnis von reflektierter zu einfallender Strahlung, beträgt für die Solarstrahlung auf die Erde ca. 30% und ist dabei größtenteils durch die Atmosphäre bedingt. Ist der Himmel bewölkt, dann wird gegenüber einem wolkenlosen Himmel bis zu 75% weniger Strahlung an der Erdoberfläche absorbiert und die planetare Albedo steigt um bis zu 50% (Hupfer und Kuttler 2005). Um diese Veränderung zu simulieren, kann der Deckel der Box durch einen Deckel mit angebrachtem Brotpapier ausgetauscht werden (vgl. Abb. 3a). Dieser führt bei der hier verwendeten Strahlungsquelle zu einer Reduktion der Ein- und Ausstrahlung von etwa 50%, wobei keine Zwischenstufen einstellbar sind. Zu beachten ist, dass bei dieser Umsetzung nur der Effekt der Albedo, nicht aber weitere relevante Effekte von Wolken (wie etwa die Kondensation des Wasserdampfs) für den Energiehaushalt der Erde berücksichtigt werden.



**Abb. 3:** Übersicht der Einflussfaktoren, a Bewölkung, b Kohlenstoffdioxidgehalt, c Erdoberflächen

### 3.5. Simulation des CO<sub>2</sub> Anteils der Atmosphäre

Durch die Absorption infraroter Strahlung haben in der Atmosphäre enthaltene Spurengase wie Wasserdampf (H<sub>2</sub>O), Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>) einen großen Effekt auf die Temperatur der Erde. Dies liegt daran, dass diese infrarote Strahlung überwiegend von der Erde kommt und so teilweise wieder zurückgestrahlt wird. Je größer der Anteil dieser Spurengase, desto größer ist der Anteil der Strahlungsintensität, die zusätzlich zur Solarstrahlung auf die Erdoberfläche trifft. Dieser Zusammenhang soll in der Klimabox simuliert werden, indem der Kohlenstoffdioxidgehalt der in der Box eingeschlossenen Luft erhöht wird. Dazu kann durch die Auflösung einer Brausetablette in Wasser in einem Kolben CO<sub>2</sub> erzeugt (vgl. z.B. Kap. 2.3) und über ein Loch im Deckel mit einem Schlauch vom Kolben in die Box eingeleitet werden (vgl. Abb. 3b). Das Loch wird anschließend mit Knete verschlossen, um wieder ein geschlossenes System zu erhalten. Die eingebrachte Menge wird dabei durch die Einfüllzeit reguliert, so generiert eine typische Einfüllzeit von ca. 4 Sekunden einen Wert von etwa 1500 ppm CO<sub>2</sub> in der Box. Die Grenzen des Modellexperiments liegen hier also zum einen in einem deutlich höheren (und nicht exakt einstellbaren) Wert des CO<sub>2</sub>-Anteils, da Messunterschiede in der Temperatur erst ab Werten von etwa 1000 ppm zu erkennen sind. Zum anderen weist die Strahlungsquelle der Klimabox bereits einen hohen Anteil im infraroten Spektrum auf, so dass sich die schnellere Erhöhung der Temperatur nicht über eine größere Abstrahlung des Bodens, sondern über eine schnellere Erwärmung der Luftschicht durch die höhere Absorptionsrate erklären lässt.

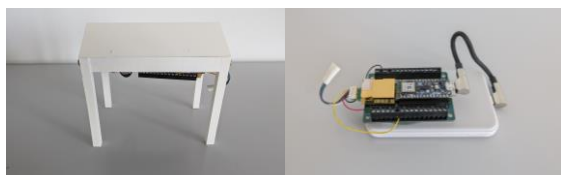
### 3.6. Simulation der der Oberflächenalbedo

Zwar wird die meiste Energie (etwa 51%), die auf die Erdoberfläche trifft, von dieser absorbiert und nicht reflektiert (Kappas 2009), der genaue Wert ist aber stark oberflächenabhängig. So kann die Oberflächenalbedo von  $\alpha = 3\%$  für Wasser bis zu etwa  $\alpha = 74\%$  für Schnee variieren (Hupfer und Kuttler 2005). Um diese Unterschiede zu simulieren, können vier unterschiedliche Bodenbeläge in die Kunststoff-Box eingesetzt werden (vgl. Abb. 3c). Die Bodenbeläge bestehen aus einem Einsatz aus Schaumstoff und Kabelbindern zum leichteren Herausnehmen. Auf diesen Einsätzen befindet sich jeweils eine Schicht Moos, Sand, Ziegelsteine oder schwarzer Klemmbausteine. Im Modellexperiment wird somit durch die Änderung des Bodenbelags nicht nur die Oberflächenalbedo verändert, sondern mit der Materialänderung auch die spezifische Wärmekapazität des Bodens.

### 3.7. Digitale Messwerterfassung

Für eine mögliche Verwendung der Klimabox in der Schule, wurde die Klimabox mit der Nutzung einer Arduino Messstation und der Phypox-App entwickelt.

Die Arduino Messstation besteht aus einem 3D-gedrucktem Gehäuse mit einer „Arduino Nano 33 BLE Sense Rev.2“ Plattform, einem zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Sensor und einer Powerbank als Energieversorgung (vgl. Abb. 4). Die Einplatinen-Computer-Plattform des Arduino Nano 33 BLE Sense beinhaltet bereits eine größere Anzahl von Sensoren, wie z.B. einen Temperatur-, Druck- oder einen Lichtsensor; sie ist durch eine umfassende Software-Bibliothek und einem vorhandenen Bluetooth-Modul bereits mit der Phyphox-App kompatibel. Ergänzt wurde nur ein kostengünstiger CO<sub>2</sub>-Sensor. Die Sensoren sind zum Boden gewandt und werden von einem Gehäuse vor direkt eintreffender Strahlung und Wärme geschützt, um die Lichtreflexion des Boden und die Lufttemperatur im Schatten zu erfassen. Die Temperaturmessung erfolgt mit einer Messgenauigkeit von  $\pm 0.1$  °C und die CO<sub>2</sub>-Messung mit einer Messgenauigkeit von  $\pm 50$  ppm. Die Lichtintensität wird sensorbedingt nicht in Lux gemessen, sondern gibt nur einen Richtwert an.



**Abb. 4:** Messstation mit Gehäuse (links) und ohne Gehäuse (rechts)

Die Phyphox-App wurde an der RWTH Aachen entwickelt (Pusch 2023); mit dem Phyphox-Editor wurde ein individuelles Profil für die Klimabox erstellt. Dieses erlaubt die Darstellung der Messdaten für jede Variable in einem eigenen Reiter, um eine bessere Übersicht zu gewährleisten und eine Bildschirmverschiebung zu vermeiden (vgl. Abb. 5). Jeder Messwert der Sensoren wird im Experiment zuerst als Zahlenwert und anschließend als Graph über die Zeit dargestellt.



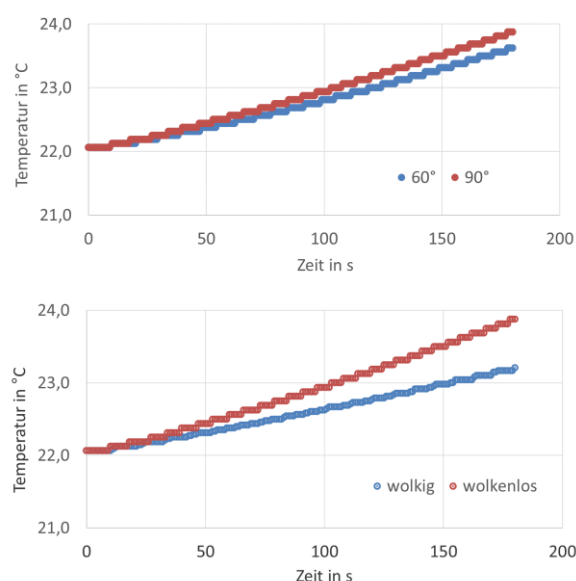
**Abb. 5:** Phyphox Klimabox-Interface

### 3.8. Aufnahme von Messreihen

Zur Erfassung der Temperaturänderung mit dem angegebenen Auflösungsvermögen des Temperatursensors ist bei dem bestehenden Aufbau eine Messzeit von 180s geeignet. Die Starttemperatur sollte konstant gehalten werden, da sonst der Wärmeaustausch zwischen der (nicht isolierten) Box und Raumumgebung variieren kann. Nähert man die

Temperaturentwicklung in diesem Zeitraum als linear an, so kann über die Differenz von Start- und Endtemperatur oder über die Steigung einer Ausgleichsgeraden (beides über die Phyphox-App darstellbar) ein Wert für die Temperaturerhöhung bestimmt werden.

In Abb. 6 sind zwei exemplarische Messreihen dargestellt, die die Temperaturverläufe für unterschiedene Einstrahlwinkel und Bewölkungsgrad zeigen. Darstellen lassen sich Unterschiede in der Temperaturerhöhung von etwa 0,3 °C (obere Abb.: Einstrahlwinkel 90° versus 60°) bzw. von etwa 0,7 °C ablesen (untere Abb.: wolkig versus wolkenlos).



**Abb. 6:** Beispielmessungen der Winkeländerung (oben) und der Wolkenänderung (unten)

## 4. Wirkung der Klimabox

Wie dargestellt ist ein Ziel der entwickelten Klimabox, Fachwissen im Kontext Klima zu vermitteln. Im Fokus unseres Forschungsinteresses sind aber insbesondere affektive Kompetenzanteile, um durch das Interesse am Kontext Klima dem allgemein niedrigen Sachinteresse an Physik entgegenzuwirken. Hier greifen wir zunächst die aktuelle Motivation und den Flow auf.

### 4.1. Motivation

Die aktuelle Motivation betrachten wir als relevant, weil sie als bedeutsamer Prädiktor für Lernerfolg gilt (Heckhausen und Heckhausen 2018). Nach der Selbstbestimmungstheorie (Deci & Ryan, 1993) gilt Motivation als die „Intentionalität“ von Menschen etwas zu erreichen und die Bereitschaft, bestimmte Mittel zu diesem Zweck einzusetzen. Dabei lässt sich zwischen intrinsischer und extrinsischer Motivation unterscheiden. Erstere führt zu einer interessengesteuerten Handlung, die aus eigenem Antrieb erfolgt. „Intrinsisch motivierte Handlungen repräsentieren den Prototyp selbstbestimmten Handelns“, (Deci & Ryan, 1993) und sollen mit der Klimabox insbesondere initiiert werden. Dieser Mechanismus lässt sich

auch durch Krapps (1999) „Person-Gegenstands-Theorie des Interesses“ als anderen Ansatz beschreiben. Die Person setzt sich mit einem Gegenstand, wie eine Aufgabe oder einem Objekt, im Rahmen einer Situation auseinander und kann durch die Verbindung von Gefühlen mit dieser Auseinandersetzung ein situationales Interesse aufbauen. Dies führt dann zur aktuellen Motivation als situationsgebundenes Konstrukt.

#### 4.2. Flow

Rheinberg und Engeser (2018) beschreiben den Flow wie folgt: „Bei diesem Zustand handelte es sich um das selbstreflexionsfreie, gänzliche Aufgehen in einer glatt laufenden Tätigkeit, bei der man trotz voller Kapazitätsauslastung das Gefühl hat, den Geschehensablauf noch gut unter Kontrolle zu haben.“ (Rheinberg und Engeser, 2018). Diese Bedingungen und Merkmale des Flows sind nach Zusammenstellung von Rheinberg und Engeser (2018) folgende:

- Die Balance zwischen Fähigkeiten und Anforderungen – eine optimale Beanspruchung
- Die Handlungsanforderungen und Rückmeldungen werden als interpretationsfrei erlebt
- Der Handlungsablauf wird als glatt und flüssig verlaufend erlebt
- Es muss sich nicht mehr willentlich auf die Aufgabe konzentriert werden
- Die Wahrnehmung von Zeit wird beeinträchtigt
- Es wird gänzlich in der Aktivität aufgegangen und es kommt zum Verlust von Reflexivität und Selbstbewusstheit

Diese Bedingungen und Merkmale lassen sich durch ihre Formulierung als motivationsfördernd und somit auch leistungssteigernd vermuten, da sich die Merkmale teilweise mit der Umschreibung von intrinsischer Motivation überschneiden (Rheinberg und Engeser, 2018).

#### 5. Ziel der Untersuchung

Um die Eignung der entwickelten Klimabox als experimentelle Lerngelegenheit zu prüfen, soll in einem ersten Schritt die grundsätzliche Nutzbarkeit der Klimabox untersucht werden. Hierfür ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Inwieweit nehmen die Lernenden die Experimentierumgebung als praktikabel/gebrauchstauglich wahr?
2. Welche Handlungsmöglichkeiten der Experimentierumgebung nutzen die Lernenden?

Im Anschluss werden die affektiven Merkmale der Personen bei der Nutzung der Klimabox fokussiert. Handlungsleitend ist folgende Forschungsfrage:

3. Inwieweit ermöglicht die Experimentierumgebung ein positives Erleben der Lernenden?

## 6. Design und Methoden

### 6.1. Erhebungsinstrumente

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wird die Einfachheit der Verwendung durch eine Usability-Scale nach John Brooke (1995) abgefragt. Für die Erhebung der Verständlichkeit werden die Rückfragen zur Lernumgebung und für die zeitliche Nutzung die Testzeit auf einem Beobachtungsbogen erfasst.

Die Verwendung des Experimentiermaterials und der Anleitungen und die Veränderungen der Variablen über einen Beobachtungsbogen werden aufgenommen, um die zweite Forschungsfrage zu beantworten. Die Möglichkeit den Einfluss auf die Temperatur zu untersuchen, wird zu demselben Zweck durch schriftliche Notizen der Lernenden zum Experiment erfasst.

Im Rahmen der dritten Frage wird die Anfangsmotivation über einen Motivationsfragebogen von Rheinberg Vollmeyer und Burns (2001) und das Flow-Erleben mithilfe eines Flow-Fragebogens von Rheinberg und Vollmeyer (2003) erfasst. Durch den Vergleich der Anfangsmotivation mit der des Flow-Erlebens während des Experimentierens soll eine Aussage darüber getroffen werden, wie sich das Experiment und der Experimentierverlauf auf die Motivation der Teilnehmenden einwirken könnte.

### 6.2. Stichprobe

Die erste Erprobung der Klimabox wurde mit Studierenden des Studiengangs Grundschullehramt mit dem Schwerpunkt Sachunterricht an der Universität Duisburg-Essen durchgeführt, die bis zu diesem Zeitpunkt noch keine naturwissenschaftlichen Inhalte im Studium belegt hatten. Die Studierenden befinden sich daher im Bereich der fachlichen Kompetenzen noch nahe an der oberen Skala von Schülerinnen und Schülern der Oberstufe. Die Stichprobe besteht aus zwölf Studierenden, überwiegend aus dem zweiten Fachsemester.

### 6.3. Aufgabenstellung

Für die Erhebung wird bewusst eine offen gehaltene Fragestellung gewählt, um ein Auftreten möglichst vieler Varianten der Nutzung beobachten zu können:

*„Die Klimabox bietet verschiedene Möglichkeiten zu Experimentieren. Du kannst diese Möglichkeiten nach deinen Interessen nutzen, um etwas über die Physik des Klimas herauszufinden.“*

### 6.4. Ablauf

Die Studierenden fanden die Experimentierumgebung bereits aufgebaut vor, erhielten die Aufgabenstellung und durften sich einen Überblick über die Materialien verschaffen, bevor sie einen Motivationsfragebogen zur Aufgabe ausfüllten. Anschließend startete die Experimentierzeit von einer Stunde für die Verwendung der Klimabox und Materialien. Die Bearbeitung des Versuchs erfolgte in Einzelarbeit und

wurde von einem Versuchsleiter beaufsichtigt. Nach der Hälfte der Zeit wurde die Erprobung unterbrochen und die Studierenden füllten den Flow-Fragebogen aus, bevor sie wieder mit dem Versuch starteten. Der Versuch endete nach einer Stunde Experimentierzeit oder wenn kein weiterer Experimentierbedarf von Studierendenseite bestand. Abschließend fassten die Studierenden ihre Notizen und Ergebnisse zusammen und gaben ihre Rückmeldung zur Verwendung der Klimabox durch das Ausfüllen der Usability-Scale.

## 7. Ergebnisse

Neun von 12 Studierenden haben die einstündige Experimentierzeit vollständig ausgenutzt. Alle Teilnehmenden haben dabei mindestens drei der Variablen verändert, am häufigsten den Bodenbelag. Die am wenigsten veränderten Variablen sind der Abstand der Lichtquelle und der CO<sub>2</sub>-Anteil.

### 7.1. System Usability Score (SUS)

Die Reliabilität der Skala der Ergebnisse beträgt Cronbachs- $\alpha = .73$  und kann damit als hinreichend betrachtet werden. Der Mittelwert aller Bewertungen der SUS erzielt einen Score von 74.0 Punkten mit einer Standardabweichung von 12.0 Punkten. Der maximal ermittelte Score ist 90.0 Punkte und der niedrigste Score beträgt 52.5 Punkte.

### 7.2. Dokumentation der Experimente

Eine Dokumentation wird dann als ausreichend gewertet, wenn für mindestens die Hälfte aller durchgeführten Versuche Messwerte aufgeschrieben wurden. Diesen Bereich hat kein Teilnehmenden während der Studie erreicht. Die am seltensten dokumentierte Größe ist die Anfangstemperatur, die nur von einem Teilnehmenden notiert wurde. Danach folgt die Messzeit, die nur von vier Teilnehmenden aufgeschrieben wurde. Die häufigste Größe in den Notizen ist die Endtemperatur eines Versuchs. Für die Schlussfolgerungen verwendeten sechs Teilnehmenden als Basis absolute Werte, vier Teilnehmenden haben Messwerte der Temperatur mit einer Temperaturänderung in Relation zur Zeit oder über gleiche Zeiten verwendet und zwei Teilnehmenden haben keine Datenbasis für ihre Schlussfolgerungen genutzt.

### 7.3. Interesse und Flow

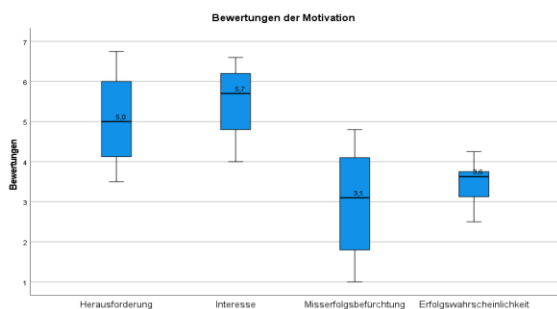


Abb. 7: Bewertung der Motivation

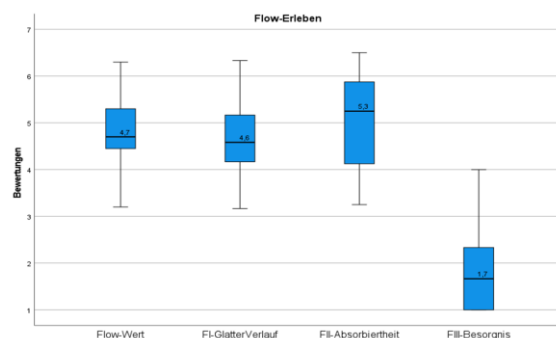


Abb. 8: Flow-Erleben

Der Wert für Cronbachs- $\alpha$  des Motivationsfragebogens beträgt  $.73$  und liegt somit in dem Bereich des Literaturwertes von  $.66$  bis  $.90$ . Der Wert für Cronbachs- $\alpha$  für den Flow-Wert liegt bei  $.74$  und der des Besorgniswert bei  $.69$ . Damit liegen beide Werte etwas unterhalb der Literaturwerte für das Flow-Erleben von  $\alpha = .90$  und der Besorgnis Komponente von  $\alpha = .80$  bis  $.90$ . In den Ergebnissen zeigt sich erfreulicherweise ein eher hohes Interesse, wobei aber auch die Komplexität der Lernumgebung offensichtlich wahrgenommen wird (vgl. Abb. 7). Das berichtete Flow-Erleben übertrifft die mit der Situation einhergehende Besorgnis (vgl. Abb. 8).

## 8. Diskussion

### 8.1. Inwieweit nehmen die Lernenden die Experimentierumgebung als praktikabel/gebrauchstauglich wahr?

Die Gebrauchstauglichkeit der Klimabox wird als gut bewertet, zu einer sehr guten Bewertung reicht es aber nicht. Die Nutzung der Experimentierzeit und der Materialien zeigt, dass die Teilnehmenden gerne die Möglichkeit genutzt haben mit der Klimabox zu experimentieren. Die Untersuchung der einzelnen Items und die Rückfragen zum Experiment geben Hinweise darauf, dass einzelne Teilnehmende noch Probleme mit dem Umgang haben und Teile der Anleitungen und Durchführung noch Verbesserungspotential bieten.

### 8.2. Welche Handlungsmöglichkeiten der Experimentierumgebung nutzen die Lernenden?

Alle Teilnehmenden haben die Möglichkeit genutzt Variablen zu verändern und ihren Einfluss auf die Temperatur zu untersuchen. Die Variable Boden scheint besonders zugänglich für die Teilnehmenden zu sein. Die Variablen Winkel, Abstand und CO<sub>2</sub> wurden im Vergleich weniger verwendet und könnten entweder weniger interessant oder weniger zugänglich sein. Die Analyse der Notizen zeigt, dass die meisten Teilnehmenden überwiegend absolute Werte für ihre Auswertungen oder Messdatenaufnahmen verwendet haben und somit nur zusammen mit der Messzeit ihrer Aufnahmen eine Aussage über die Auswirkung der Variablen treffen könnten. In der Auswertung der schriftlichen Ergebnisse ist aber ersichtlich, dass nur 4 der Teilnehmenden überhaupt Messzeiten aufgeschrieben haben. Zusätzlich wurden

bei 11 von 12 Teilnehmenden auch keine Anfangstemperaturen notiert. Niemand hat somit alle notwendigen zu kontrollierenden Variablen für ein unkonfundiertes Experiment notiert. Die digital gemessenen Werte, die Endtemperatur ausgenommen, wurden nur von etwa der Hälfte der Teilnehmenden erfasst. Dies bedeutet, dass niemand eine erfolgreiche Anwendung der Variablenkontrollstrategie (VKS) vorweisen kann.

### 8.3. Inwieweit ermöglicht die Experimentierumgebung ein positives Erleben der Lernenden?

Aus den hohen Werten für die Motivation lässt sich folgern, dass die Teilnehmenden Interesse daran haben, das Thema Klima oder die Aufgabe zu der Klimabox zu bearbeiten. Außerdem ist der Wert der Herausforderung etwas höher als der mittlere Wert der Bewertungs-Skala und ist somit in dem Schwierigkeitsbereich von Aufgaben, die herausfordernd sind und motivierend wirken. Die Misserfolgsbefürchtung liegt unter dem mittleren Wert der Bewertungs-Skala, damit haben die Teilnehmenden weniger Angst, der Aufgabe nicht gewachsen zu sein. Die Abwesenheit dieser Stressfaktoren begünstigt ebenfalls die Motivation. Die Erfolgswahrscheinlichkeit ist mit 3.6 etwa im mittleren Bereich der Bewertungs-Skala und besitzt auch die geringste Streuung. Die Teilnehmenden schätzen ihre Chance, die Aufgabe zu schaffen, also nicht als sehr gut, aber auch nicht als unmöglich ein. Dieser Faktor kann sich zusammen mit der Herausforderung, bei einer erfolgreichen Bewältigung der Aufgabe oder Teilen davon, positiv auf die Motivation auswirken.

Der Flow-Test zeigt, dass die Teilnehmenden motiviert sind, die Aufgabe der Klimabox zu bearbeiten. Unterstützt wird dies von dem Mittelwert der Absorbiertheit und dem Wert für einen glatten Verlauf. Daraus lässt sich schließen, dass sie in ihrer Aufgabe vertieft sind und das Gefühl haben, die Bearbeitung der Aufgabe laufe gut. Zusätzlich ist der Wert für die Besorgniskomponente niedrig, sie machen sich wenig Sorgen um die Bearbeitung der Aufgaben oder die Endresultate.

Die Anforderungspassung in Kombination mit dem Flow-Wert unterstützt den Eindruck der Herausforderung und der Erfolgswahrscheinlichkeit des Motivationsfragebogens. Die Erfolgswahrscheinlichkeiten sind vor der Bearbeitung der Aufgabe niedrig und die Herausforderung recht hoch. Während der Bearbeitung wird die Anforderungspassung aber in dem Bereich von 5 ‚genau passend‘ empfunden und der Flow-Wert erreicht zumeist einen Wert im oberen Drittel der Skala. Dies lässt also den Schluss zu, dass die Teilnehmenden die Aufgabe zwar als schwierig wahrgenommen haben, aber während der Bearbeitung in die Aufgabe vertieft sind und sie als angemessene Herausforderung verstehen.

### 9. Fazit und Ausblick

Der erste Einsatz der Klimabox zeigt, dass die Abbildungsfähigkeit der Einflüsse auf die Temperatur

grundsätzlich gegeben ist. Einschränkungen bestehen dabei jedoch durch die Modellrahmenbedingungen. Als eine zentrale Herausforderung durch die Einschränkungen des Modells hat sich die Messzeit herausgestellt: Sie kann nicht beliebig klein gewählt werden, da sonst Unterschiede in den Temperaturen durch einen geringen Anstieg und die Messgenauigkeit des Sensors nicht aufgelöst werden können. Als Konsequenz brauchen Nutzende Hinweise zur Wahl der Messzeit, weil es keine für sie verfügbaren Ansätze zur Abschätzung gibt. Berücksichtigt man die in Kapitel 3 erwähnten Einschränkungen, stellt die Experimentierumgebung jedoch die Einflüsse der Faktoren und ihrer Einflüsse aufeinander dar. Die Ergebnisse der Erprobung zeigen ferner, dass die Teilnehmenden die Lernumgebung als praktikabel wahrnehmen. Sie bewerten die Funktionen als gut integriert und schätzen den Umgang als schnell zu erlernen ein. Bemängelt wird die fehlende Struktur der Aufgabe und sie wünschen sich mehr Unterstützung bei der Bearbeitung. Zwar wurden die Möglichkeiten der Veränderungen genutzt, es zeigten sich aber auch Probleme mit der Verwendung der Materialien von CO<sub>2</sub> und Winkel. Hier werden Hilfestellungen in einer Weiterentwicklung aufgenommen. Die Möglichkeit der Anwendung der VKS wurde kaum genutzt. Den Notizen fehlen häufig die Messzeiten oder die Anfangstemperaturen. Bei der Auswertung haben die Teilnehmenden dadurch keine Möglichkeit, Schlüsse über Zusammenhänge aus ihren Ergebnissen zu ziehen, da sie sich meistens nur auf absolute Werte der Endtemperaturen stützen können. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen von Schwichow und Härtig (2005), bei welchen gezeigt werden konnte, dass SuS ohne explizite Vermittlung der VKS diese auch nicht anwenden können.

Bei der Bearbeitung der Aufgabe zeigen die Ergebnisse ein positives Erleben der Teilnehmenden mit der Klimabox. Die Teilnehmenden nehmen die Aufgabe als Herausforderung an und sind in der Bearbeitung der Aufgabe vertieft. Die Aufgabenschwierigkeit wird dabei als ‚passend‘ empfunden. Der motivierende Einfluss, die Übungsmöglichkeit des Umgangs mit digitalen Messungen und anderen experimentellen Kompetenzen, sowie die praktische Anwendungsmöglichkeit von VKS sprechen für den Einsatz als Lernmöglichkeit in der Schule.

Für die weitere Untersuchung der Lernumgebung Klimabox sollen in zukünftigen Schritten die Materialien weiter überarbeitet und beispielweise die Abbildung der Farbe und das Material des Bodens unabhängig möglich werden.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass die Klimabox eine motivierende und praktikable Möglichkeit darstellt, einige Zusammenhänge des Klimas zu erforschen und eine Möglichkeit der praktischen Anwendung der VKS darstellt. Sie lässt in der jetzigen Form eine gute Nutzung durch Studierende zu, wird für den Einsatz als Lernumgebung in der Schule aber noch Verbesserungen am Material benötigen.

## 10. Literatur

- Bergmann, Marc (2023): Entwicklung einer Experimentierumgebung zur Förderung der Variablenkontrollstrategie im Kontext Klima. Bachelorarbeit. Universität Duisburg-Essen.
- BIOACID / Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR) (Hg.) (2012): Das andere CO<sub>2</sub>-Problem Ozeanversauerung. Acht Experimente für Schüler und Lehrer. Online verfügbar unter [https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/13973/1/BIOACID\\_Experimente\\_2012.pdf](https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/13973/1/BIOACID_Experimente_2012.pdf), zuletzt geprüft am 31.05.2024.
- Brönnimann, Stefan (2018): *Klimatologie*. 1. Auflage. Bern: Haupt Verlag (UTB, UTB-Band-Nr. 4819).
- Brooke, John (1995): SUS: A quick and dirty usability scale. In: *Usability Eval. Ind.* (189). Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/profile/John-Brooke-6/publication/228593520\\_SUS\\_A\\_quick\\_and\\_dirty\\_usability\\_scale/links/5f24381392851cd302cbaf25/SUS-A-quick-and-dirty-usability-scale.pdf?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7Im-ZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19](https://www.researchgate.net/profile/John-Brooke-6/publication/228593520_SUS_A_quick_and_dirty_usability_scale/links/5f24381392851cd302cbaf25/SUS-A-quick-and-dirty-usability-scale.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7Im-ZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19).
- Deci, Edward L.; Ryan, Richard M. (1993): Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik* 39 (1993) 2, S. 223-238. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 39. DOI: 10.25656/01:11173. Online verfügbar unter [https://www.pedocs.de/volltexte/2017/11173/pdf/ZfPaed\\_1993\\_2\\_Deci\\_Ryan\\_Die\\_Selbstbestimmungstheorie\\_der\\_Motivation.pdf](https://www.pedocs.de/volltexte/2017/11173/pdf/ZfPaed_1993_2_Deci_Ryan_Die_Selbstbestimmungstheorie_der_Motivation.pdf).
- Feierabend, Timo; Eilks, Ingo (2013): Der Klimawandel vor Gericht – Unterrichtsentwicklung und Implementation durch Partizipative Aktionsforschung. In: Jürgen Menthe, Dietmar Höttecke, Ingo Eilks und Corinna Höhle (Hg.): *Handeln in Zeiten des Klimawandels. Bewerten lernen als Bildungsaufgabe*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann, S. 113–124.
- Heckhausen, Jutta; Heckhausen, Heinz (Hg.) (2018): *Motivation und Handeln*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
- Höhnle, Steffen; Velling, Hanna; Schubert, Jan Christoph (2023): Das Interesse von Schülerinnen und Schülern am Klimawandel. 70-85 Seiten / *Zeitschrift für Geographiedidaktik (ZGD)*, Bd. 51 Nr. 2 (2023): 2|2023. DOI: 10.60511/51192. Online verfügbar unter <https://zgd-journal.de/index.php/zgd/article/view/192/476>.
- Hupfer, Peter; Kuttler, Wilhelm (2005): *Witterung und Klima: Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie*. Unter Mitarbeit von Frank-Michael Chmielewski und Hermann Pethe. 11., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Kappas, Martin (2009): *Klimatologie. Klimafor-schung im 21. Jahrhundert - Herausforderung für Natur- und Sozialwissenschaften*.
- Kerncurriculum Niedersachsen (2020). Niedersäch-sisches Kultusministerium. Kerncurriculums für das Unterrichtsfach Physik für den Sekundarbereich II. Hannover. <https://cuvo.nibis.de/cuvo.php?p=download&upload=363> (Zugriff: 31.5.2024).
- KLP NRW (2019) Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. Kern-lehrplan Physik für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf. [https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/208/g9\\_ph\\_klp\\_%203411\\_2019\\_06\\_23.pdf](https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/208/g9_ph_klp_%203411_2019_06_23.pdf).
- KMK (2020) Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife. München: Luchterhand.
- Krapp, Andreas (1998): Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. In: *Psychologie, Erziehung, Unterricht* (44), S. 185–201.
- Krapp, Andreas (1999): Intrinsische Lernmotivation und Interesse. Forschungsansätze und konzeptuelle Überlegungen. *Zeitschrift für Pädagogik* 45 (1999) 3, S. 387-406. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 45. DOI: 10.25656/01:5958. Online verfügbar unter [https://www.pedocs.de/volltexte/2012/5958/pdf/ZfPaed\\_1999\\_3\\_Krapp\\_Intrinsische\\_Lemmotivation.pdf](https://www.pedocs.de/volltexte/2012/5958/pdf/ZfPaed_1999_3_Krapp_Intrinsische_Lemmotivation.pdf).
- Kuttler, Wilhelm (2013): *Klimatologie*. 2., aktualisierte und erg. Aufl. Paderborn: Schöningh (UTB, 3099).
- Möller, Kornelia (2014): Vom naturwissenschaftlichen Sachunterricht zum Fachunterricht – Der Übergang von der Grundschule in die weiterführende Schule. In: *ZfDN* 20 (1), S. 33–43.
- Pusch, Alexander (2023): Wie beginne ich mit dem Arduino? In: *MNU Journal* 76 (2), S.94-96.
- Rheinberg, F.; Engeser, S. (2018): Intrinsische Motivation und Flow-Erleben. In: Jutta Heckhausen und Heinz Heckhausen (Hg.): *Motivation und Handeln*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 423–450.
- Rheinberg, Falko; Vollmeyer, Regina; Burns, Bruce D. (2001): FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. In: *Diagnostica* 47 (2), S. 57–66. DOI: 10.1026//0012-1924.47.2.57. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/profile/Falko-Rheinberg/publication/247398603\\_FAM\\_Ein\\_Fragebogen\\_zur\\_Erfassung\\_aktueller\\_Motivation\\_in\\_Lern-\\_und\\_Leistungssituationen/links/](https://www.researchgate.net/profile/Falko-Rheinberg/publication/247398603_FAM_Ein_Fragebogen_zur_Erfassung_aktueller_Motivation_in_Lern-_und_Leistungssituationen/links/)



- 54ad6daf0cf2213c5fe3f858/FAM-Ein-Fragebogen-zur-Erfassung-aktueller-Motivation-in-Lern-und-Leistungssituationen.pdf?\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn9uLi-wicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19.
- Rheinberg, Falko; Vollmeyer, Regina; Engeser, Stefan (2003): Die Erfassung des Flow-Erlebens. In: Joachim Stiensmeier-Pelster und Falko Rheinberg (Hg.): Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept. Göttingen [u.a: Hogrefe, Verl. für Psychologie (Tests und Trends N.F., 2), S.261-279. Online verfügbar unter [https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/551/file/Rheinberg\\_ErfassungFlow\\_Erleben\\_mitAnhangFKS.pdf](https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/551/file/Rheinberg_ErfassungFlow_Erleben_mitAnhangFKS.pdf).
- Schubatzky, Thomas; Wackermann, Rainer; Wöhlke, Carina; Haagen-Schützenhöfer, Claudia (2021): Das Thema Klimawandel im Physikunterricht. Zentrale fachliche Inhalte, Konzepte und Vorstellungen. In: PlusLucis (3), S.4-8. Online verfügbar unter [https://pluslucis.org/ZeitschriftenArchiv/2021-3\\_PL.pdf](https://pluslucis.org/ZeitschriftenArchiv/2021-3_PL.pdf).
- Schwichow, Martin; Christoph, Simon; Härtig, Hendrik (2005): Förderung der Variablen-Kontroll-Strategie im Physikunterricht. In: MNU 68 (6), S.346-350.
- Scorza, Cecilia; Lesch, Harald; Strähle, Moritz; Sörge, Dominika (2022): Der Klimawandel: verstehen und handeln. Ein Bildungsprogramm für Schulen der Fakultät für Physik der LMU München. Hg. v. Ludwig-Maximilians-Universität Fakultät für Physik. Online verfügbar unter [https://klimawandel-schule.de/sites/default/files/2023-10/10-2023\\_stmuv\\_handbuch-klimawandel\\_a4.pdf](https://klimawandel-schule.de/sites/default/files/2023-10/10-2023_stmuv_handbuch-klimawandel_a4.pdf).
- Stinken-Rösner, Lisa (2021): Eine experimentelle Unterrichtseinheit zum Treibhauseffekt. Experimente mit der Wärmebildkamera & Co. In: PlusLucis (3), S.20-24. Online verfügbar unter [https://pluslucis.org/ZeitschriftenArchiv/2021-3\\_PL.pdf](https://pluslucis.org/ZeitschriftenArchiv/2021-3_PL.pdf).
- Toczkowski, Thomas; Wiczorek, Robert; Scorza, Cecilia; Strähle, Moritz (2022): Klimawandel verstehen und handeln. Materialien und Modellexperimente zum Thema Klimawandel. In: Unterricht Chemie (191), S. 32–38.