

Die senseBox CO₂-Ampel

Ein einfacher Bausatz zur Überprüfung der
Luftqualität im Klassenzimmer

Lehrhandreichung

Gemeinsam mit Schülerinnen und Schülern COVID-19 Infektionen verhindern: Bau (und Programmierung) einer CO2-Ampel für das Klassenzimmer in den MINT-Fächern

Motivation

Die Corona-Pandemie führte im Jahr 2020 zu einschneidenden Veränderungen im gesellschaftlichen Leben und wird dies auch noch zukünftig beeinflussen. Jegliche Veranstaltungen, bei denen viele Menschen zusammenkommen und eine Einhaltung des Mindestabstands nicht gewährleistet werden kann, sind abgesagt. Eine Ausnahme stellen in diesem Zusammenhang die Bildungseinrichtungen dar. Tagtäglich treffen dort Kinder und Jugendliche innerhalb einer Klassengemeinschaft im engen Raum aufeinander. Damit sich dort trotz dessen keine Infektionsherde bilden, sind besondere Maßnahmen notwendig. Dazu zählen neben einer regelmäßigen Desinfektion der Hände auch ein ständiges Durchlüften der Räume. Bei warmen Temperaturen treten hier keine Probleme auf, jedoch stehen der Herbst und somit auch kühlere Tage vor der Tür. Die Herausforderung zeigt sich dann in der Erstellung eines Konzepts, das sowohl eine energieschonende Beheizung des Raumes als auch einen ausreichenden Luftaustausch beinhaltet. Dabei kann die CO2-Ampel unterstützend eingesetzt werden. Sie gibt Hinweise auf die Luftqualität des Klassenzimmers, woraus optimale Zeitpunkte fürs Lüften abgeleitet werden können. Dadurch wird zum einen verhindert, dass der Raum durch ein ständiges Querlüften auskühlt und zum anderen, dass die energetisch ungünstige Variante der Kippstellung der Fenster eingesetzt wird.

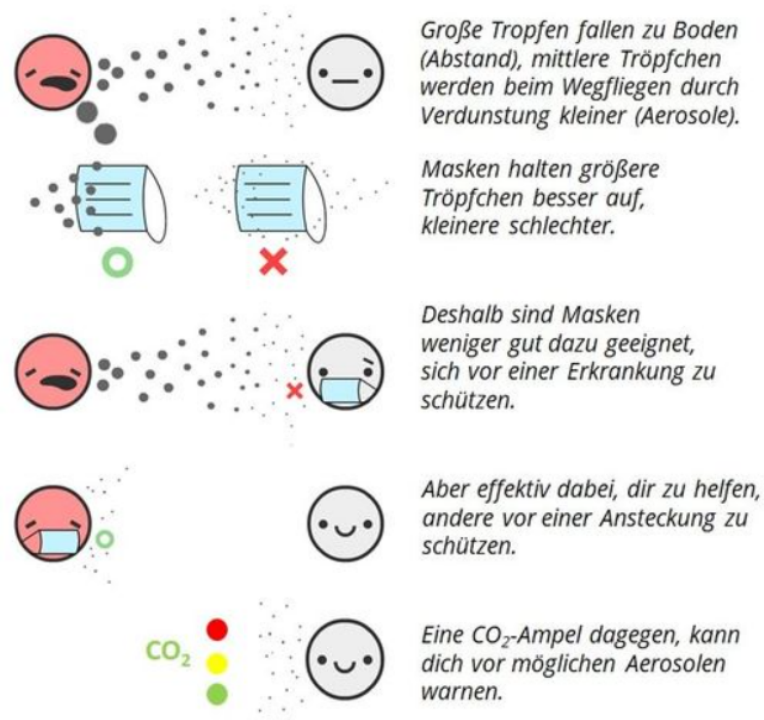
Um die Schülerinnen und Schüler für diese Thematik zu sensibilisieren und sie zu motivieren, ihr erworbenes Wissen im Alltag anzuwenden, empfiehlt es sich, die CO2-Ampel in Zusammenarbeit mit den Lernenden einer Klasse zu bauen. Dabei können fächerspezifische Schwerpunkte gesetzt werden, auf die im Folgenden näher eingegangen wird. Zudem erhalten Sie Informationen zum theoretischen Hintergrund sowie zur Funktionsweise und Programmierung der CO2-Ampel.

Die Basis bildet dabei die senseBox MCU, die den Lernenden einen Einblick in die Blackbox der digitalen Welt gewährt. Durch die Verwendung der visuellen Programmieroberfläche "Blockly für senseBox" können auch Schülerinnen und Schüler ohne jegliche Programmierkenntnisse die Funktionsweise des Programms verstehen oder dies selbst generieren.

Theoretischer Hintergrund

Die AHA-Formel als Leitlinie

Die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA) empfiehlt, zum Schutz vor einer Corona-Infektion folgende Aspekte zu beachten: **Abstand** halten, **Händewaschen** und **Alltagsmaske** tragen. Zusätzlich erweist sich das Lüften geschlossener Räumlichkeiten als unerlässlich. Die Maßnahmen basieren auf der Annahme, dass das Coronavirus SARS-CoV-2 über Aerosole und Tröpfchen übertragen wird. Letztere entstehen beispielsweise durch Atmen, Sprechen und Husten und sind größer als fünf Mikrometer. Sie sinken innerhalb eines Bereichs von 1,5 Metern zu Boden, womit sich die bekannte Abstandsregel erklären lässt. Die dabei übrig gebliebenen Aerosole sind kleiner und verbleiben in der Umgebungsluft. Während die Alltagsmasken vor den größeren Tröpfchen Schutz gewähren, sind sie für die zuvor genannten kleineren Tröpfchen durchlässig und tragen nur in geringem Maße zum Eigenschutz bei. Daher steht der Fremdschutz im Vordergrund, indem jeder persönlich durch das Tragen einer Mund-Nasen-Bedeckung verhindert, dass viele Aerosole in der Umgebung verteilt werden. Ein zusätzlicher Luftaustausch durch geöffnete Fenster und Türen verringert zudem ihre Konzentration innerhalb eines Raumes (BZgA 2020).



Die Innenraumlufthqualität

Befindet sich eine Klasse in einem geschlossenen Raum, so steigt die CO₂-Konzentration der Luft stetig an. Da es sich bei Kohlenstoffdioxid um ein Nebenprodukt des Atmungsprozesses handelt, kann dies nicht verhindert werden. Zudem ist zu bedenken, dass neben CO₂ auch Aerosole, die Kontakt zum Lungengewebe hatten, beim Ausatmen ausgestoßen und folglich im Raum verteilt werden (Umweltbundesamt 2008). Stammen diese von einer infizierten Person, so können sie eine Gefahr für Kontaktpersonen darstellen. Daraus lässt sich folgern, dass die Konzentration an CO₂ in der Luft ein Maß für die bereits verbrauchte bzw. mit Aerosolen belastete Luft liefert. Je höher der CO₂-Gehalt der Luft ist, desto höher ist somit die Wahrscheinlichkeit, mit Aerosolen anderer Personen in Kontakt zu kommen. Damit diese Wahrscheinlichkeit möglichst gering gehalten wird, empfiehlt das Umweltbundesamt eine ausreichende Durchlüftung der Räume (Umweltbundesamt 2020). Die CO₂-Ampel liefert in diesem Zusammenhang geeignete Hinweise, zu welchen Zeitpunkten eine Öffnung der Fenster notwendig ist. Das Umweltbundesamt spricht ab einer Überschreitung einer CO₂-Konzentration im Innenraum von 1000 ppm¹ von einer mäßigen bis niedrigen Luftqualität. Diese verursacht neben des wachsenden Infektionsrisikos zusätzlich einen Abfall der Konzentrations- und Leistungsfähigkeit, weshalb unabhängig von der vorhandenen Pandemie auf eine ausreichende Durchlüftung der Klassenräume geachtet werden sollte (Umweltbundesamt 2008). Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Grenzwerte der Kohlenstoffdioxidkonzentration im Innenraum sowie deren Auswirkungen.

> 5000 ppm	Nachlassen der Leistungsfähigkeit und Entstehung von Kopfschmerzen
< 5000 ppm	Konzentrationsschwäche und Müdigkeit
< 2000 ppm	Niedrige Raumlufthqualität: Lüften zwingend notwendig
< 1500 ppm	Mäßige Raumlufthqualität: Lüften wird empfohlen
< 1000 ppm	Hohe Raumlufthqualität
< 400 ppm	Natürliche Konzentration von CO ₂ in der Atmosphäre

Quellen der Daten: Umweltbundesamt 2008/ 2020

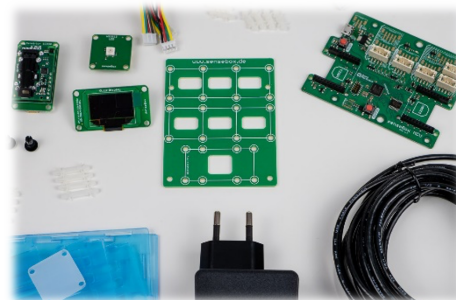
¹ Parts per Million – Einheit für den CO₂-Gehalt in der Luft, ein Millionstel des Gesamtvolumens

Die senseBox Co2 – Ampel

Die senseBox CO2-Ampel ist als Bausatz konzipiert und enthält alle wichtigen Bauteile, um eine CO2-Ampel zur Überwachung der Luftqualität im Raum zu bauen. Der **hochwertige** photonische NDIR Sensor² (nichtdispersiver Infrarotsensor) kann den CO2-Gehalt in der Luft mit hoher Präzision messen. Die CO2 Messwerte werden auf dem OLED-Display angezeigt und über eine RGB-LED schnell und einfach visualisiert. Das lasergeschnittene Gehäuse sorgt zum einen dafür, dass die Elektronik gut geschützt ist, aber dennoch freier Luftaustausch für den Sensor stattfinden kann.

Folgende Komponenten umfasst ein Bausatz der CO2-Ampel:

- senseBox MCU lite (Arduino basierter Microcontroller)
- senseBox WS2812 RGB LED
- senseBox SCD30 CO2 Sensor (Sensirion)
- senseBox OLED-Display
- lasergeschnittenes Acrylgehäuse
- 5m USB Kabel
- USB Steckernetzteil



Die CO2-Konzentration wird in drei Stufen mit einer RGB-LED visualisiert. Anhand dieser Stufen können die Schülerinnen und Schüler schnell erkennen, wann eine erneute Lüftung notwendig ist, um eine gesundheitliche Gefährdung auszuschließen. Ist die Ampel erst einmal Teil des Klassenzimmers, so gehören Unterrichtsunterbrechungen, um den Lüftungsvorschriften nachzukommen, der Vergangenheit an. Den Lernenden wird durch die Visualisierung der steigenden CO2-Konzentration nämlich dauerhaft vor Augen geführt, warum besonders in Zeiten wie diesen Lüftungsperioden unerlässlich sind. Folgende Grenzwerte führen bei der LED der CO2-Ampel zu einer Änderung der Farbe:

- grün (0 bis 999ppm)
- gelb (1000 bis 1499ppm)
- rot (ab 1500ppm)

Der Aufbau der CO2-Ampel kann in Zusammenarbeit mit den Schülerinnen und Schülern erfolgen. Dafür ist eine Schritt-für-Schritt-Anleitung online verfügbar.³

² <https://sensebox.kaufen/product/co2-sensor>

³ <https://docs.sensebox.de/hardware/sets-co2-ampel>

Einsatz im MINT-Unterricht

Die vorherigen Ausführungen haben gezeigt, dass das Konzept der CO₂-Ampel aus verschiedenen fachlichen Perspektiven betrachtet werden kann. Von der **nachhaltigen Lüftungsstrategie** im Fach Physik bis zur Berechnung der CO₂-Konzentration der Luft im Fach Chemie oder Mathematik, kann die aktuelle Thematik Teil des Unterrichtsgeschehens werden. Die Arbeit mit digitalen Werkzeugen, wie der senseBox, fördert viele der sog. **21st century skills** – das Verständnis von Informatiksystemen, dem Internet of Things oder dem Programmieren. Zudem rückt im Schulalltag die Verbindung der vermittelten Inhalte zum immer wieder in den Vordergrund. Wird die CO₂-Ampel in Zusammenarbeit mit den Schülerinnen und Schülern konzipiert und werden die theoretischen Hintergründe fächerübergreifend behandelt, so bekommen die Lernenden das Gefühl, selbst etwas zum Infektionsschutz beitragen zu können. Zudem werden mit dem Do-It-Yourself-Bausatz verschiedene – vor allem digitale – Kompetenzen angesprochen und es besteht eine Verbindung zwischen der erlernten Theorie und der Umsetzung in der Praxis.

In folgenden Fächern empfiehlt sich eine Behandlung des Infektionsgeschehens und eine Thematisierung der CO₂-Ampel:

Physik:

- Die Thematik der spezifischen Wärmekapazität der Luft kann in Verbindung mit dem Bereich des energieschonenden und effizienten Lüftens behandelt werden.
- Die CO₂-Ampel ist ein DIY-Bausatz, weshalb grundlegende Kenntnisse im Bereich der Elektrizität notwendig sind. Mit dem Aufbau der Ampel können also grundlegende Kenntnisse zum Anschließen verschiedener Komponenten innerhalb eines Stromkreislaufts vermittelt bzw. wiederholt werden.
- Die Arbeit mit der senseBox, die den einfachen Einsatz von Mikrocontroller, Schaltungen, Sensoren und Aktoren und deren Programmierung umfasst, wird unter dem Begriff „Physical Computing“ geführt.

Informatik:

- Die CO₂-Ampel kann eigenständig mittels ‚Blockly für senseBox‘ programmiert werden. Die visuelle Programmierumgebung ist ohne Vorkenntnisse nutzbar und vermittelt grundlegende Kenntnisse im algorithmischen und logischen Denken. Ein Beispiel, wie der Code in Blockly aussehen kann, ist im folgenden Kapitel zu finden.

- Als Alternative wird ein fertiger Programmcode zur Verfügung gestellt. Dieser kann mit den Lernenden durchgearbeitet werden, um die Funktionsweise der CO₂-Ampel nachvollziehen zu können und einen Einblick in die ansonsten häufig verschleierte digitale Welt zu bekommen. Dieser fertige Programmcode ist ebenso wie die Aufbau-Anleitung online verfügbar unter: <https://docs.sensebox.de/hardware/sets-co2-ampel/>
- Mit Erweiterungen der CO₂-Ampel um Komponenten aus der senseBox Ökosystem (Internet-Anbindung per WLAN oder LoRa, andere Sensoren und Aktoren, SD-Kartenslot usw.) und die Möglichkeit diese visuell (mit ‚Blockly für senseBox‘) oder textbasiert (mit Arduino IDE) und der Möglichkeit die IoT Plattform openSenseMap anzubinden erschließen sich unzählige Möglichkeiten des Einsatzes im Informatikunterricht im Kontext Physical Computing⁴.

Chemie:

- Mit Blick auf die Funktionsweise des CO₂-Sensors, kann auf die Messung von Gasen in der Luft eingegangen werden. Des Weiteren bietet sich hier die Thematik der Zusammensetzung der Luft mit einem Fokus auf das Gas Kohlenstoffdioxid an.

Biologie:

- Da COVID-19 als greifbares Beispiel für einen Virus dient, kann anhand der Pandemie der Aufbau und die Replikation von Viren erarbeitet werden. Ein Bezug zum Lehrplan (z.B. Kernlehrplan NRW Realschule⁵) ist über das Inhaltsfeld 2 (Gesundheitsbewusstes Leben) gegeben.
- Kohlenstoffdioxid ist ein Nebenprodukt der Atmung von Lebewesen. Um die Zusammenhänge zwischen der CO₂-Belastung der Luft, der Verbreitung von Aerosolen und der Übertragung von Infektionen nachvollziehen zu können, sollte im Unterricht auf den Atmungsprozess eingegangen werden.

Mathematik:

- Um den Lernenden die Gefahr der Pandemie deutlich zu machen und sie für den Infektionsschutz zu sensibilisieren, können im Mathematikunterricht die dazugehörigen mathematischen Konstrukte betrachtet werden, wie beispielsweise die Reproduktionszahl oder das exponentielle Wachstum

⁴ <https://sensebox.de/de/material.html>

⁵ Ministerium für Schule und Weiterbildung NRW (2011): Kernlehrplan für Realschulen in NRW - Biologie. Online unter: <https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-i/realschule/biologie/index.html>

- Die Konzentration von CO₂ in der Luft wird in ppm angegeben. Hier kann zum einen auf die Maßeinheit eingegangen und zum anderen können Fragen zur Schnelligkeit der Minderung der Luftqualität auf Basis der Kenntnis der Menge der ein- und ausgeatmeten Luft gestellt werden.

Realisierung im Unterricht oder einer AG

Die Umsetzung kann somit in allen MINT-Fächern ab der 5. Klasse der weiterführenden Schule stattfinden - je nach Fokus und gewünschter Tiefe im chemischen Kontext wird eher die Mittelstufe ab der 7./8. Klasse angesprochen. Mit einem vorgefertigten Programmcode umfasst das Bauen und Installieren⁶ und eine Einführung in die Thematik eine Doppelstunde von 90 Minuten Länge. Sollte das Programmieren der CO₂-Ampel Teil des Unterrichts sein (s. folgendes Kapitel), sollten zwei Doppelstunden eingeplant werden. So kann beispielsweise eine Klasse, ein Kurs oder eine Arbeitsgemeinschaft CO₂-Ampeln für alle Klassenräume einer Schule bauen und programmieren.

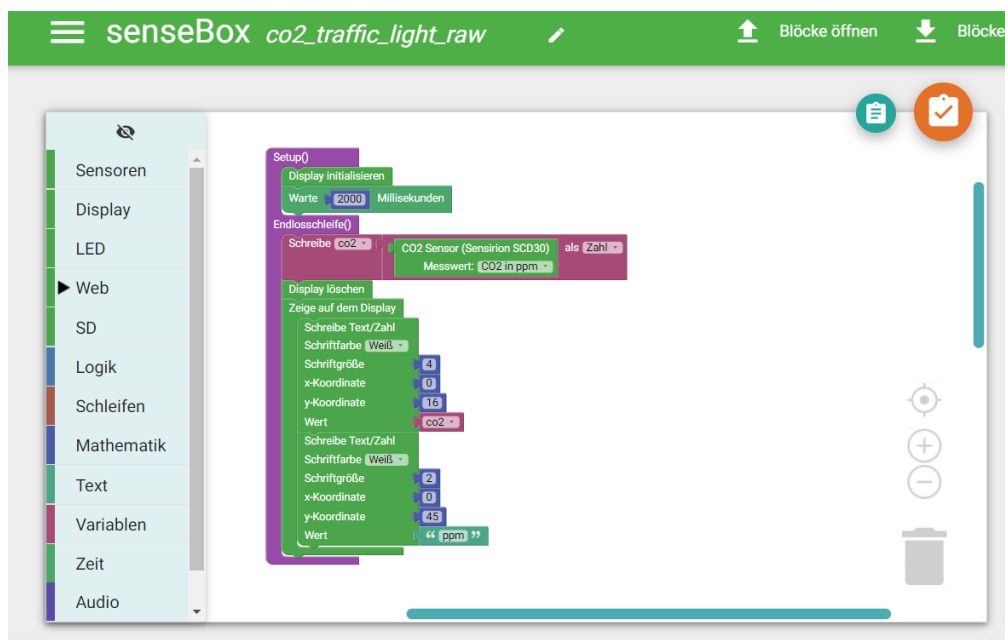
Programmierung in Blockly

Damit die Schülerinnen und Schüler einen Einblick in die Funktionsweise der CO₂-Ampel bekommen, bietet sich eine eigenständige Programmierung durch die Klasse an. Dafür eignet sich die visuelle Programmieroberfläche ‚Blockly für senseBox‘, welche das **algorithmische Denken** fördert und als Einstieg in die Welt der Programmierung dient. Grundlegende Elemente wie die Einführung von Variablen, ‚wenn...mache‘ -Bedingungen und Schleifen können anhand des vorliegenden Beispiels eingeführt und vertieft werden.

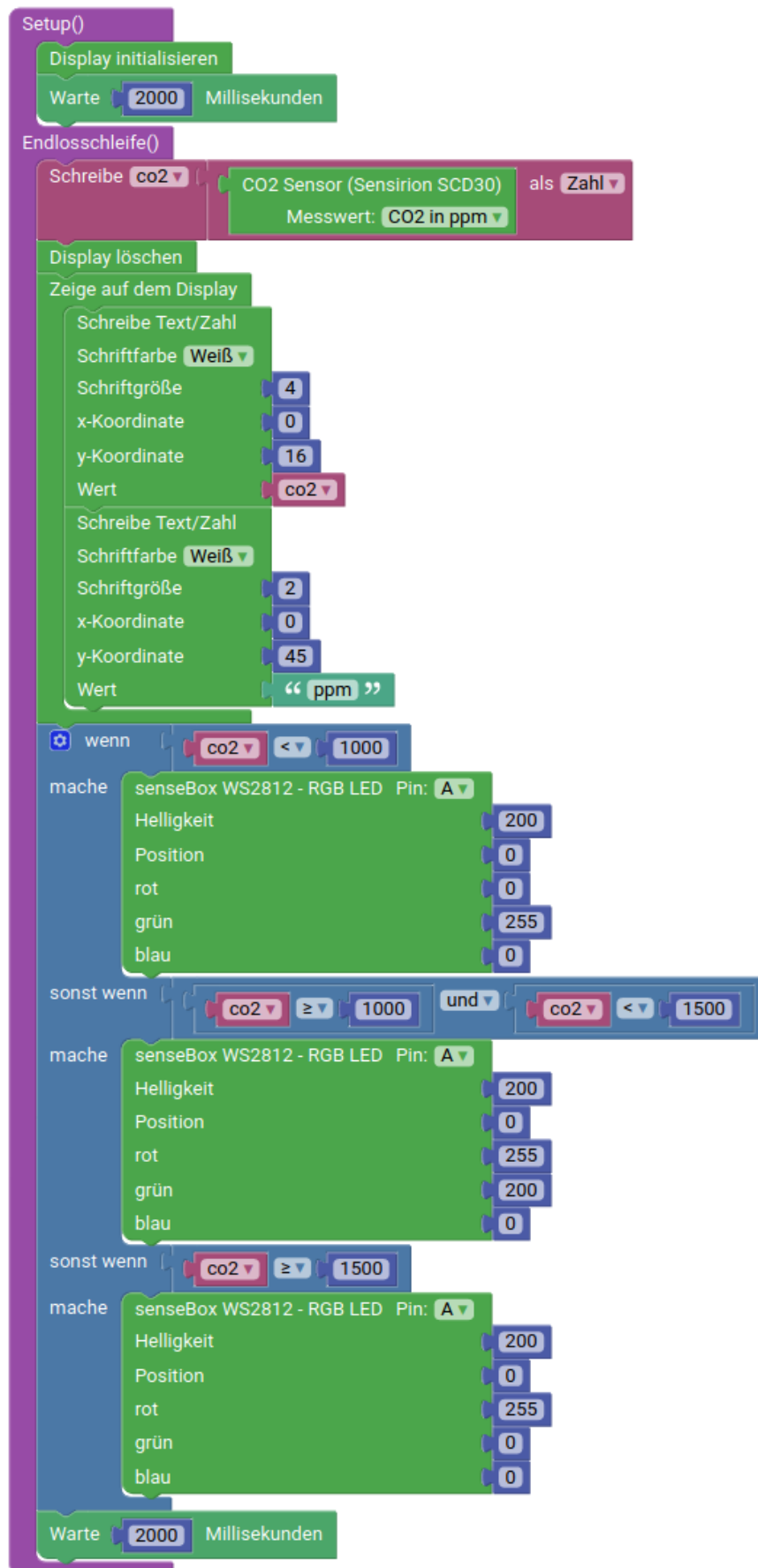
Im Folgenden sind zwei Varianten der Programmierung der CO₂-Ampel mit Blockly aufgeführt. Wird die erste Variante verwendet, so werden dauerhaft Werte ausgegeben und auf dem Display angezeigt (s. Abb. Variante 1a) bzw. zusätzlich die Ampel mittels RGB-LED realisiert (s. Abb. Variante 1b). Bei der zweiten Variante werden hingegen minütlich Mittelwerte der CO₂-Konzentration im Raum gebildet (s. Abb. Variante 2). Dies hat den Vorteil, dass kleine kurzzeitige Veränderungen,

⁶ <https://docs.sensebox.de/hardware/sets-co2-ampel/>

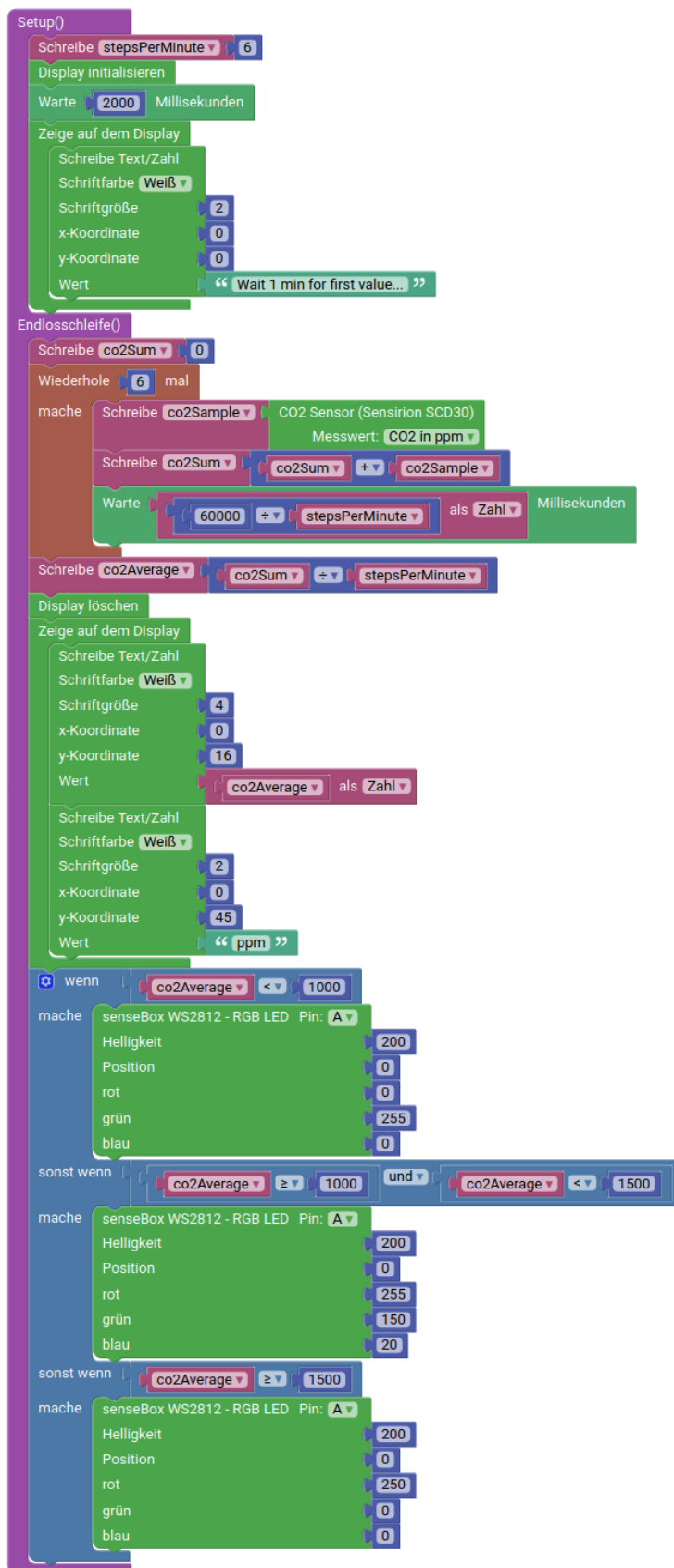
wie das direkte Vorbeigehen an der CO₂-Ampel, nicht zum Leuchten der roten LED führen. Allerdings ist dieser Code auch deutlich komplexer. Je nach Klasse, kann also differenziert werden, welcher Code verwendet und eventuell von den Lernenden ‚nachgebaut‘ wird. Dabei bietet sich auch eine Thematisierung der Frage an, welche Vorteile welcher Code liefert.



Variante 1a: Dauerhafte Ausgabe der Werte auf dem Display



Variante 1b: Dauerhafte Ausgabe der Werte auf dem Display und mit der RGB-LED als Ampel



Variante 2: Dauerhafte Ausgabe des Minütlichen Mittelwertes auf dem Display und mit der RGB-LED als Ampel

Erweiterungen für die CO2-Ampel

Die CO2-Ampel kann einfach um weitere Komponenten und Funktionen erweitert werden und somit weitere Einsatzmöglichkeiten im Unterricht bieten. Beispielsweise können nach einer Anbindung ans Internet (mit einem WiFi-Bee oder LoRa-Bee) die CO2-Konzentration aller Räume einer Schule auf einer Webseite oder einem Dashboard visualisiert werden oder die Situation in allen Schulen der Stadt. Dies könnte wiederum Rückschlüsse und Verbesserungen des Lüftungsverhaltens ermöglichen, ganz im Sinne der **“Smart City”** und des **„Citizen Science“** Ansatzes. Die Messwerte der CO2-Ampel könnten auch von der senseBox über den Messengerdienst Telegram auf ein Handy gesendet oder die Messwerte mit Hilfe der openSenseMap gesammelt werden, um das Lüftungsverhalten noch besser verstehen zu können.

Durch die Verknüpfung mit weiteren Sensoren und der Möglichkeit Daten lokal auf einer SD-Karte zu speichern (z.B. um Lüftungsstrategien analysieren zu können) erschließen sich noch mehr Möglichkeiten.

Sollte die CO2-Ampel nicht mehr benötigt werden, so können alle Komponenten für spannende Projekte weiter verwendet werden, da alles vollständig kompatibel zum gesamten senseBox System ist. So wird auch die **Nachhaltigkeit** einer Anschaffung realisierbar. Anleitungen für weiterführende Projekte sind hier zu finden: <https://sensebox.de/de/projects>