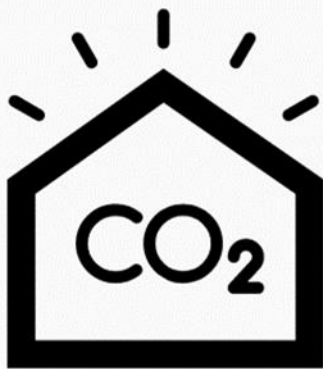
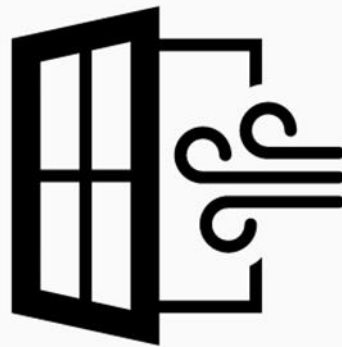


FACHBRIEF NR. 3

BIOLOGIE, CHEMIE, PHYSIK



carbon dioxide sensor



smart ventilation

**Digitale Messwerterfassung
in den Naturwissenschaften**

**CO₂ in der Raumluft
im Kontext naturwissenschaftlicher Vorgehensweise**

Die Fachverantwortlichen werden gebeten, den Fachbrief den unterrichtenden Kolleginnen und Kollegen in geeigneter Form zur Verfügung zu stellen.

Zeitgleich wird er ins Netz gestellt unter:

http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fachbriefe_bln.html

Ihre Ansprechpartnerin/Ihr Ansprechpartner in der Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie:

Dr. Jana Schlösser (Fachaufsicht Naturwissenschaften und WAT) jana.schloesser@senbif.berlin.de
Oliver Pechstein (Fachaufsicht Physik) oliver.pechstein@senbif.berlin.de

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Kolleginnen und Kollegen,

Die Raumluftmessung hat in den letzten Monaten enorm an Bedeutung gewonnen. Kohlenstoffdioxid (CO₂) wird als Indikator für „verbrauchte Luft“ und die Notwendigkeit einer Lüftung von Räumen verstanden. Die Schulen sind mit Messgeräten ausgestattet worden, die der Kontrolle und Sensibilisierung dienen sollen. Aus naturwissenschaftlicher Perspektive ist dies Anlass für viele Kolleginnen und Kollegen, naturwissenschaftliches Vorgehen an diesem Kontext zu thematisieren. Darüber hinaus bietet ein fachübergreifender Ansatz und die offensichtliche Verbindung zu den übergreifenden Themen die Gelegenheit naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen mit notwendigen Maßnahmen zur Bekämpfung der Pandemie zu verknüpfen. Es ist somit eine Chance, an diesem Beispiel die Bedeutung einer fundierten naturwissenschaftlichen Handlungskompetenz zu verdeutlichen.

Wir nehmen dies zum Anlass für Anregungen und Hinweise zum Einsatz von Sensoren und digitalen Messwerterfassungssystemen im Unterricht (Kapitel 1 und 2).

Die Überwachung der Raumluft und Experimente mit CO₂-Sensoren werden auch nach der Covid-19-Pandemie von Bedeutung sein (Kapitel 3).

Anhand von Best-Practice-Beispielen aus dem Robert-Havemann-Gymnasium zum Einsatz von CO₂-Sensoren wird konkret aufgezeigt, wie ein unterrichtspraktischer oder außerunterrichtlicher Einsatz von CO₂-Sensoren aussehen könnte (Kapitel 4).

Wir danken herzlich Mirco Tewes, Richard Häusler und Christian Strube für die wichtigen Beiträge zu diesem Fachbrief.

Mit freundlichen Grüßen

Jana Schlösser und Oliver Pechstein

Inhalt:

1	<i>Bezüge zu den Rahmenlehrplänen</i>	3
2	<i>Digitale Messwerterfassung – digitale Werkzeuge im Unterricht der Naturwissenschaften kompetenzorientiert nutzen</i>	5
3	<i>CO₂-Messungen im naturwissenschaftlichen Unterricht</i>	7
3.1	Qualität der Raumluft in Schulen	7
3.2	Simulation der CO₂-Konzentration	7
3.3	Messungen mit CO₂-Sensoren	8
4	<i>Best-Practice Beispiele: Projekte zum Thema CO₂-Messungen in Klassenräumen</i>	8
4.1	Messreihen in Klassenräumen aufnehmen	8
4.2	Energie-Manager im Rahmen des Projekts "Köpfchen statt Kohle"	11
4.3	Plakate als adressatengerechte Kommunikation	11
4.4	Schülerfirma Energieberater energyECO	12
5	<i>Hinweise</i>	13

1 Bezüge zu den Rahmenlehrplänen

„Die zunehmende Digitalisierung führt zu gesellschaftlichen Veränderungen, die viele Lebens- und Arbeitsbereiche betreffen. Dies führt zu veränderten Anforderungen an naturwissenschaftliche Kompetenz. Daher beschreiben die Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächern Möglichkeiten, wie die Nutzung digitaler Medien und Werkzeuge Bildungsprozesse in den Naturwissenschaften unterstützen kann. Kompetenzen des fachlichen Umgangs mit digitalen Medien und Werkzeugen sind ebenfalls integraler Bestandteil der Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächern.“

[1] Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020. Präambel S. 12. Wortgleich in den Bildungsstandards Chemie und Physik. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Biologie.pdf (gesichtet 14. Mai 2021)

In den abschlussorientierten Bildungsstandards der Fächer Biologie, Chemie und Physik wird explizit auf die Nutzung von digitalen Werkzeugen beim Experimentieren Bezug genommen. Diese Standards wurden in die Entwürfe der neuen Rahmenlehrpläne der Sekundarstufe II Biologie, Chemie und Physik übernommen:

- Die Lernenden nehmen qualitative und quantitative Daten auch mithilfe digitaler Werkzeuge auf und werten sie aus. (Biologie Erkenntnisgewinnungskompetenz E 7)
- Die Lernenden nutzen digitale Werkzeuge und Medien zum Aufnehmen, Darstellen und Auswerten von Messwerten, für Berechnungen, Modellierungen und Simulationen. (Chemie Erkenntnisgewinnungskompetenz E 6)
- Die Lernenden bauen Versuchsanordnungen auch unter Verwendung von digitalen Messwertfassungssystemen nach Anleitungen auf, führen Experimente durch und protokollieren ihre Beobachtungen. (Physik Sachkompetenz S 4)

Die behutsame Nutzung von Sensoren bietet sich bereits auch in der Sekundarstufe I an. In zahlreichen Untersuchungen und Experimenten, die in den Rahmenlehrplänen ausgewiesen sind, ist der Einsatz von Sensoren und digitalen Messwertfassungssystemen möglich und auch sinnvoll. Zusätzlich wird explizit mehrfach auf den Einsatz von Sensoren bzw. digitalen Messwertfassungssystemen Bezug genommen:

Biologie

- Geländepraktikum (Sek I / 3.2 Lebensräume und ihre Bewohner – vielfältige Wechselwirkungen, z. B. Erfassen abiotischer Umweltfaktoren wie Temperatur und Beleuchtungsstärke)
- Praktikum: Herz-Kreislauf, Atmung z. B. Messung von Puls, Blutdruck und Atemfrequenz unter verschiedenen Bedingungen, Untersuchung der Atembewegungen (Sek I / 3.3 Stoffwechsel des Menschen, z. B. Atemvolumen, CO₂-Gehalt der Atemluft)
- Untersuchung der Abhängigkeit enzymatischer Reaktionen von verschiedenen Faktoren, wie Temperatur, pH-Wert und Enzymgiften (Sek II Stoffwechsel und Informationsverarbeitung auf zellulärer Ebene)
- Erhebung quantitativer Daten von Arten in einem Areal, welche ggf. digital aufgenommen und ausgewertet werden (Sek II Lebewesen in ihrer Umwelt, z. B. Kohlenstofffluss im Feld mit einer CO₂-Sensor)
- Es sind mit CO₂- und anderen Sensoren auch weitere Experimente zu im Rahmenlehrplan ausgewiesenen Inhalten möglich, z. B. die Untersuchung der Abhängigkeit der Fotosyntheserate von abiotischen Faktoren (Sek II Lebewesen in ihrer Umwelt).

Chemie

- Bestandteile der Luft (Inhalte); Nachweis von Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid - Ermittlung des Sauerstoffgehaltes der Luft (Sek I / 3.3 Gase - zwischen lebensnotwendig und gefährlich)
- Leitfähigkeitsuntersuchungen an Feststoffen und Lösungen (Sek I / 3.5 Salze - Gegensätze ziehen sich an)
- Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit von Graphit, Metallen, Salzkristallen und Salzlösungen, Zucker und Zuckerlösungen (Sek II Vom Atom zur chemischen Verbindung)
- eine Säure-Base-Titration bei vollständiger Protolyse (z. B. Salzsäure / Natronlauge) (Sek II / Säure-Base-Reaktionen)
- Untersuchung der Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von Temperatur, Konzentration und Zerteilungsgrad (Sek II Reaktionsgeschwindigkeit und Katalyse)
- Mögliche Beiträge zur Kompetenzentwicklung: Die Lernenden nutzen ggf. digitale Werkzeuge und Medien zum Aufnehmen, Darstellen und Auswerten von Messwerten oder für Berechnungen bei Säure-Base-Titrationen. (Sek II Säure-Base-Reaktionen, E 6)

Physik

- Messen von Kräften mit Federkraftmesser oder Kraftsensor (Sek I / 3.2 Wechselwirkung und Kraft)
- Untersuchung der Abhängigkeit $s(t)$ für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen, z. B. mithilfe der Luftkissenbahn oder Bewegungssensoren (Sek I / 3.7 Gleichförmige und beschleunigte Bewegung)
- Bewegungsanalyse mithilfe von Sensoren (z. B. Beschleunigungs- und Ultraschallsensoren) und digitalen Messsystemen (Sek II Wurfbewegungen)
- Messen von Radialbeschleunigungen mithilfe von Sensoren (Sek II Kreisbewegungen)
- Erfassen des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke beim Auf- und Entladen eines Kondensators auch mithilfe von Sensoren (Sek II Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld)
- Messung von Flussdichten, z. B. von Elektromagneten, des Erdmagnetfeldes mithilfe von Sensoren, gegebenenfalls mit dem Smartphone (Sek II Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld)
- Aufnahme des zeitlichen Verlaufs der Stromstärke beim Einschalten einer Spule mithilfe von Sensoren (Sek II Elektromagnetische Induktion)
- Zusätzlich werden Sensoren als mögliche Kontexte empfohlen (Widerstände als Sensoren, Temperatursensoren, Beschleunigungssensoren, HALL-Sensoren, kapazitive Sensoren, Spule als Sensor).

2 Digitale Messwerterfassung – digitale Werkzeuge im Unterricht der Naturwissenschaften kompetenzorientiert nutzen

Mirco Tewes (Primo-Levi-Gymnasium)

Digitale Kompetenzen werden im beruflichen und privaten Alltag benötigt und sind eine wichtige Voraussetzung gesellschaftlicher Teilhabe (*Bildungsargument*). Der Einsatz digitaler Medien und Werkzeuge bietet darüber hinaus Potenzial für effektivere Lernprozesse (*Lernargument*).

Im naturwissenschaftlichen Unterricht stellt das Experimentieren als zentrale naturwissenschaftliche Tätigkeit eine besondere Gelegenheit zum Erwerb digitaler Kompetenzen dar. In den Bildungsstandards aller naturwissenschaftlicher Fächer werden in den Kompetenzbereichen *Erkenntnisgewinnung* und *Sachkompetenz* entsprechende Kompetenzen genannt, die die Lernenden bis zum Ende der Qualifikationsphase erwerben sollen.

Die erforderliche technische Ausstattung – bestehend aus Sensoren, Messinterface, digitales Endgerät und zugehöriger Software für Steuerung und Auswertung – ist für Schulen in den verschiedensten Varianten verfügbar. Dazu gehören Datenlogger oder grafikfähige Taschenrechner mit oder ohne Computer-Algebra-System (CAS) ebenso wie Computer, Smartphones oder Tablets. Smartphones oder Tablets als All-in-one-Lösung ermöglichen mit ihren internen Sensoren einen niederschweligen Einstieg in das digitale Messen. Insgesamt zeichnen sich die meisten derzeit für Schulen verfügbaren Systeme durch eine *einfache und intuitive Bedienbarkeit* aus. Die Sensoren werden automatisch erkannt und die Standardparameter für die Messung und Darstellung der Daten automatisch gesetzt. Das heißt, dass die Nutzer in den meisten Fällen keine speziellen Einstellungen vornehmen müssen.

Dabei wird das Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht durch digitale Messwerterfassung und -auswertung nicht nur begünstigt, sondern vielfach insbesondere als Schülerversuch erst möglich, da bisher nicht zugängliche naturwissenschaftliche Größen messbar werden.

Experiment	Messgröße	Sensor
Magnetfeld einer Spule	Magnetische Flussdichte	Hallsonde
Induktion	Spannung in Abhängigkeit von der Zeit	Spannungssensor
Fadenpendel	Position und Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit	Ultraschallabstandssensor
Interferenz von Laserlicht	Lichtintensität	Lichtsensor
Titration	pH-Wert	pH-Meter
Elektrische Leitfähigkeit in Salzlösungen	Elektrische Leitfähigkeit	Leitfähigkeitssensor
Veränderung der Siedetemperatur von Salzwasser	Siedetemperatur	Temperatursensor
Stoffwechselaktivität	CO ₂ -Produktion al Indiz für Stoffwechselaktivität	CO ₂ -Sensor

Tabelle 1: Neue Möglichkeiten für Experimente

Beim digitalen Experimentieren tritt das Messen selbst in den Hintergrund. Die Messdaten und der Umgang mit ihnen steht im Mittelpunkt. Diese stehen als Tabelle, Graph und Liste zur weiteren Bearbeitung und Auswertung zur Verfügung.

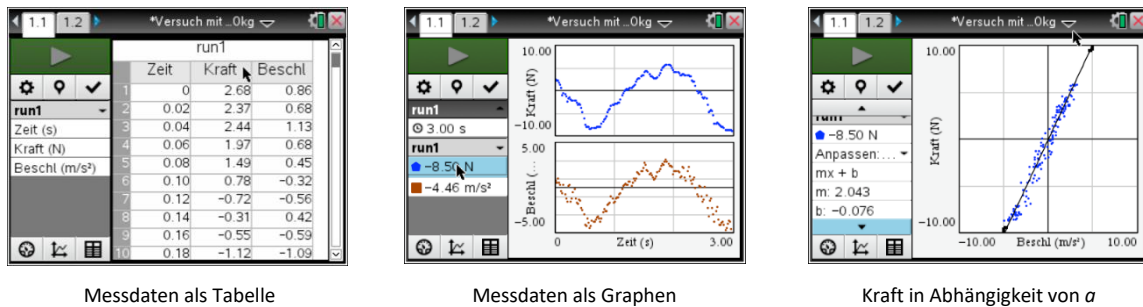


Abbildung 1: Messdaten als Tabelle und als Graphen¹

Neben der **zeitlichen Entlastung** durch das einfachere und schnellere Messen lassen sich mit digitalen Systemen auch **Langzeitmessungen** z. B. von Umweltgrößen, **Ultrakurzzeitmessungen** und **Messungen mit vielen Wiederholungen** unkompliziert realisieren. In den folgenden Tabellen sind Beispiele dargestellt.

Experiment	Sensor	Kommentar
Bestimmung des Atemvolumens	Spirometer	Das Aufnehmen von Messkurven erfordert in der Regel eine teure Apparatur. Üblich ist oft nur die Bestimmung statistischer Werte.
Gleichzeitige Untersuchung der Verdunstungswärme verschiedener Alkane	Temperatursensoren	Das Aufnehmen mehrerer Versuchsreihen über einen Zeitraum von mehreren Minuten ist äußerst zeitaufwändig.
2. Newton'sches Axiom $F = m \cdot a$	Beschleunigungssensor	Aufbau und Auswertung ohne Sensor ist sehr aufwändig

Tabelle 2: Beispiele für einfachere und schnellere Messungen

Experiment	Sensor
Induktionsgesetz	Spannungssensor
Schallgeschwindigkeit	Mikrofonsensor
Reaktionsgeschwindigkeit	Drucksensor
Membranpotenzial	Spannungssensor

Tabelle 3: Mögliche Experimente mit hoher Abtastrate

Weitergehende Informationen und Beschreibungen von Experimenten:

¹ Die Screenshots wurden vom Autor mit freundlicher Genehmigung für diesen Fachbrief zur Verfügung gestellt.

- [2] MNU Themenreihe Bildungsstandards. Innovativer naturwissenschaftlicher Unterricht mit digitalen Werkzeugen. Experimente mit Messwerterfassung in den Fächern Biologie, Chemie, Physik. Hans-Ulrich Lampe, Frank Liebner, Hildegard Urban-Woldron, Mirco Tewes
https://www.mnu.de/images/blog/MNU-Themenheft_digitale_Werkzeuge/MNU-Themenheft_Innovativer_naturwissenschaftlicher_Unterricht_mit_digitalen_Werkzeugen.pdf.pdf (gesehen 14.05.2021)

3 CO₂-Messungen im naturwissenschaftlichen Unterricht

3.1 Qualität der Raumluft in Schulen

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass die Raumluft in den Wintermonaten in den Unterrichtsräumen meist mangelhaft ist. In 80% der Unterrichtszeit wurde der empfohlene Wert von 1000 ppm CO₂ für noch mäßige Raumluftqualität überschritten, z. T. traten Werte von bis 6000 ppm auf [3]. Besonders schlecht sind die Luftverhältnisse in der zweiten Hälfte von Doppelstunden [4]. Bei Lehrenden und Lernenden kommt es dadurch verstärkt zu Müdigkeit und Konzentrationsschwächen. Diese Problematik wurde auch mehrfach in Jugendforschungsprojekten untersucht, z. B. im Projekt „Zu viel CO₂ in Schulzimmern“ [5].

In den Widrigkeiten des Alltags (kalte Witterung, Lärmbelastungen, schlecht funktionierende oder defekte Fenster) wurde das Thema trotz allgemeiner Akzeptanz häufig vernachlässigt. Die Akzeptanz der Notwendigkeit des Lüftens zur Reduktion möglicher Belastungen der Raumluft mit Coronaviren eröffnet die Chance der bewussten Auseinandersetzung mit dem Problem der Qualität der Raumluft in den Schulen. Die Durchsetzung eines Lüftungskonzeptes kann neben der erforderlichen Eindämmung der Covid-19-Pandemie somit auch ein Beitrag für die Verbesserung der Konzentration im Unterricht sein. Dies ist ein Thema, das auch in Zeiten nach der Pandemie relevant sein wird.

- [3] Bekanntmachung des Bundesumweltamtes, Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz. Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. Springer Medizin Verlag 2008. <https://www.hamburg.de/content-blob/1016516/7073fd694816ce7e8edd0eb82a2593e6/data/gesundheitliche-bewertung-co2.pdf> (gesehen 24.10.2020)
- [4] Gesundheitsamt Bremen. Kohlendioxid – Konzentrationen (CO₂) in ausgewählten Bremer Schulen. 2008. https://www.gesundheitsamt.bremen.de/sixcms/media.php/13/3_nb_GBE_Kohlendioxidkonzentrationen+in+Schulen+2007.pdf (gesehen 24.10.2020)
- [5] Schweizer Verein Luft- und Wasserhygiene. Zu viel CO₂ in Schulzimmern. <https://www.svlw.ch/638-zu-viel-co2-in-schulzimmern> (gesehen 24.10.2020)

3.2 Simulation der CO₂-Konzentration

Eine Simulation der Luftqualität im eigenen Unterrichtsraum kann mit Hilfe der Schweizer Webseite „Frische Luft für wache Köpfe“ vorgenommen werden [6]. Diese Simulation ermöglicht das Verändern von Parametern wie Raumgröße, Personen im Raum, Länge des Unterrichts, Lüftungszeiten u.a.m. Als Ergebnis erhält man eine Kurve der Qualität der Raumluft über den Unterrichtstag. Am Beispiel dieser Simulation können Möglichkeiten und Grenzen von Modellen thematisiert werden.

- [6] Bundesamt für Gesundheit BAG. Simulation zur Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Luftqualität in Unterrichtsräumen <https://www.schulen-lueften.ch/de/simaria> (gesehen 24.10.2020)

3.3 Messungen mit CO₂-Sensoren

Experimentelle Untersuchungen mit CO₂-Sensoren können einen wichtigen Beitrag zum übergreifenden Thema „Nachhaltige Entwicklung – Lernen in globalen Zusammenhängen“ leisten. Arbeitsmaterialien hierfür sind beispielsweise in Broschüren des Unabhängigen Instituts für Umweltfragen (UfU) und von T3-Deutschland zu finden. Die Überwachung der Raumluft mit geeigneten CO₂-Sensoren oder CO₂-Messgeräten ist für den naturwissenschaftlichen Unterricht in mehrfacher Hinsicht auch in der Sekundarstufe I für die Förderung des Kompetenzbereichs „Erkenntnisse gewinnen“ ergiebig, es werden Kompetenzen zur Datenerfassung, Datenauswertung und Bewertung gefördert.

- [7] Unabhängiges Institut für Umweltfragen. Klima im Kleinen – Stadtklima Innenraumluft. https://www.ufu.de/wp-content/uploads/2017/07/Unterrichtseinheit_KlimaimKleinen.pdf (gesichtet 24.10.2020)
- [8] Frank Liebner T3-Deutschland. Klimaveränderungen verstehen, heißt, komplex denken und Zusammenhänge herstellen. 2020. https://ti-unterrichtsmaterialien.net/materialien?resource_id=3104&cHash=fcd1e696e019f7fcaabe71f474c15898 (gesichtet 24.10.2020)

CO₂-Sensoren können in Verbindung mit Datenloggern für interessante biologische Experimente eingesetzt werden, z. B. für

- die Untersuchung der zellulären Atmung,
- die Untersuchung der Photosynthese,
- Messungen des Kohlenstoffflusses im Feld und
- die Messung der menschlichen Atmung.

Genauere Informationen finden sich bei Conatex-Didaktik [9] und ein anschauliches Beispiel zur Atemluft als Video „Breath Hold“ [10]. Somit kann auch der Umgang mit Fachwissen bzw. die Sachkompetenz gefördert werden.

- [9] Conatex-Didactic. Sieben Dinge, die man mit dem smarten CO₂-Sensor tun kann. https://www.conatex.com/media/experiments/VADE/VADE_Biologie_Sieben_Ideen_fuer_CO2-Messung.pdf?utm_source=email&utm_campaign=CTX_NL_201013&utm_medium (gesichtet 14.05.2020)
- [10] PASCOSHORTS. Breath Hold (Video). <https://youtu.be/ueE6d8YbCsE> (gesichtet 14.05.2020)

4 Best-Practice Beispiele: Projekte zum Thema CO₂-Messungen in Klassenräumen

Richard Häusler, Christian Strube (Robert-Havemann-Gymnasium)

4.1 Messreihen in Klassenräumen aufnehmen

Der Vorteil des Einsatzes von CO₂-Messgeräten in Schulen im Rahmen von Energie- und Klimaprojekten liegt darin, dass hier zunächst der Aspekt der Luftqualität im Vordergrund steht und nicht der Appell zum Energiesparen oder die Kontrolle der Raumtemperaturen. Es geht bei der Thematisierung des CO₂-Gehalts erst einmal um Gesundheit und ein lernfreundliches physikalisches Klima in der Lerngruppe. Die Aufmerksamkeit von Lehrkräften und Lernenden ist dadurch größer.

Um den CO₂-Wert im Auge zu behalten, ist es sinnvoll, Messgeräte mit relativ großen CO₂-Messwertanzeigen zu verwenden. Bei Tischgeräten ist dies beispielsweise das Voltcraft CO-60 (ca. 130 Euro), das bis 3000 ppm misst oder Displays, die an der Wand montiert werden wie das Komerçi HT-2008 (30x40 cm, ca. 130 Euro), dessen Messbereich bis 10000 ppm reicht. Im Schulalltag werden selten mehr als 3000 ppm erreicht, wobei bereits ab 1000 ppm eine spürbare Verminderung des Sauerstoffgehalts eintritt. 1000 ppm sind deshalb auch die in Richtlinien zugrunde gelegte Schwelle für Lüftungsaktivitäten.

Die Messanzeigen erlauben den Nutzern, rechtzeitig den Lüftungsbedarf zu erkennen und auch die Effektivität der Lüftung zu kontrollieren. Während der Heizperiode geht es ja darum, in möglichst kurzer Zeit einen deutlichen Luftaustausch zu erreichen, was daran erkennbar wird, wie schnell man von höheren CO₂-Werten wieder auf ein Niveau um oder unter 1000 ppm gelangt. Mit der Messanzeige im Hintergrund wird auch klar, dass dauerhaftes Kipplüften wenig Effekt auf die Luftqualität im Klassenraum hat – aber durch die gekippten Fenster permanent Energie verschwendet wird. (Was man mit Wärmebildaufnahmen von außen schön visualisieren kann.)

Ein wichtiger Nebeneffekt der Messdisplays ergibt sich daraus, dass die Geräte immer auch die Raumtemperatur anzeigen. Dadurch wird zum einen unerschwinglich eine Objektivierung der Temperaturverhältnisse erreicht; wenn die Anzeige auf 22,9 Grad steht, wird niemand sagen können, es sei zu kalt im Raum. Vor allem lässt sich aber auch während der Lüftungspausen feststellen, wie schnell bzw. langsam es im Raum kühler wird. Bei effizientem Quer- und Stoßlüften wird sich die Abkühlung immer in engen Grenzen halten.

Für naturwissenschaftliche Projekte rund um die Lüftungsthematik reicht jedoch das punktuelle AbleSEN von Messwerten nicht aus. Deshalb wird man parallel zur Aufstellung von Messanzeigen für die Verhaltenssteuerung auch zumindest phasenweise mit Datenloggern arbeiten, die die Messwerte aufzeichnen und eine Auswertung am PC ermöglichen. Als sehr gut geeignetes Gerät hat sich hier der Datenlogger von Wöhler CDL 210 (ca. 160 Euro) erwiesen, dessen Messbereich bis 10000 ppm reicht. Die Geräte sind relativ leicht einzustellen und über eine USB-Schnittstelle auszulesen. Das Datenformat ist direkt mit EXCEL bearbeitbar.

Durch den Vergleich des CO₂- und des Temperaturverlaufs kann das Lüftungsverhalten im Raum meist recht gut erschlossen werden. In Schülerprojekten haben wir sowohl mit Grundschülerinnen und -schülern wie auch mit Mittel- und Oberstufenschülerinnen und -schülern durch die Kurvendiskussion die Anzahl aktiver Lüftungen untersucht und natürlich auch die „Minuten guter/schlechter Luft im Klassenraum ermittelt. Die nachstehenden Abbildungen zeigen Beispiele aus verschiedenen Schulen. Da es in Klassenräumen oft sehr schwierig ist, die 1000 ppm-Grenze-Schwelle überhaupt zu erreichen oder zu unterschreiten, wurde manchmal auch eine pragmatische 1500 ppm-Schwelle für die Auswertung herangezogen.

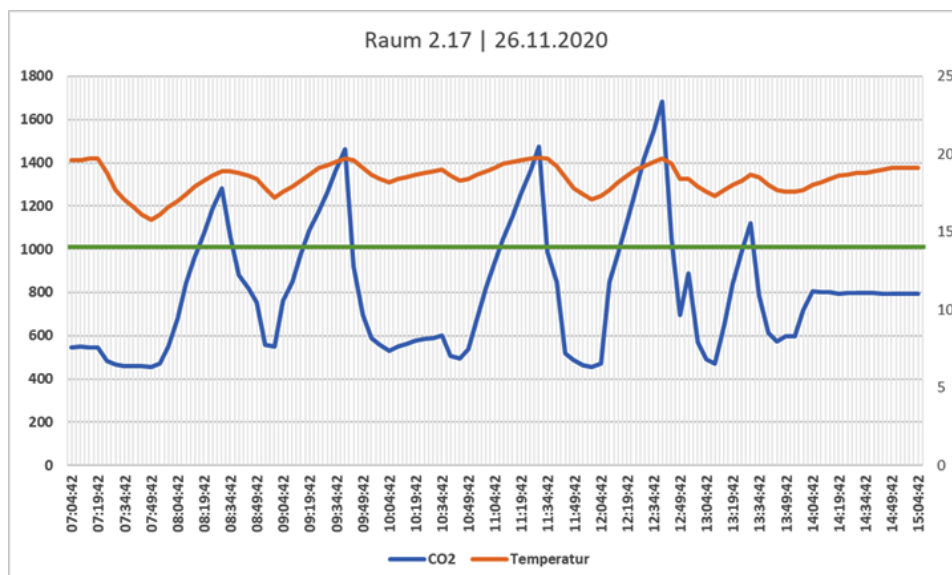


Abbildung 2: Typisches Bild eines Raumes am RHG. Trotz mehrfacher aktiver Lüftungen steigt der CO₂-Gehalt rasch wieder an und erreicht bzw. überschreitet schnell den angestrebten Grenzwert von 1000 ppm.¹

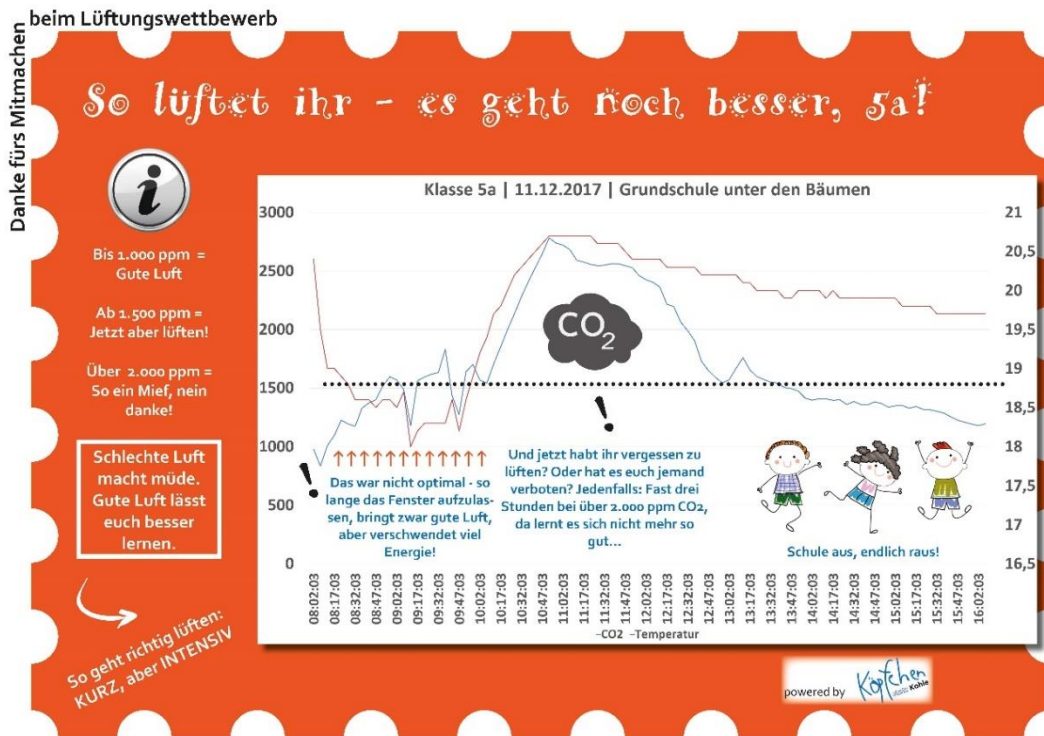


Abbildung 3: Ergebnisaufbereitung für eine Grundschule¹

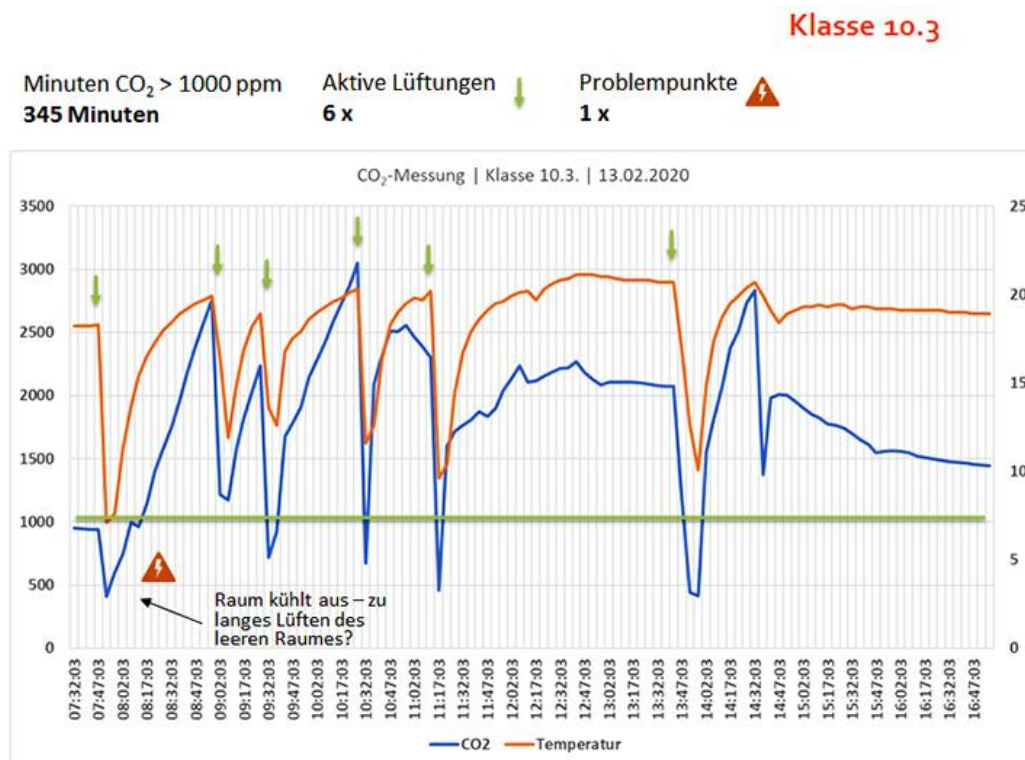


Abbildung 4: Die Temperaturaufzeichnung ergibt zuweilen auch zusätzliche Ergebnisse hinsichtlich des energiesparenden (oder -verschwendende) Verhaltens der Raumnutzer¹

4.2 Energie-Manager im Rahmen des Projekts "Köpfchen statt Kohle"

Am Robert-Havemann-Gymnasium haben Lernende im Rahmen der „Köpfchen statt Kohle“-Projekte eine aufschlussreiche Vergleichsstudie angestellt. Dabei wurden 9 Klassenräume, in denen große Messdisplays aufgehängt worden waren, mit 9 vergleichbaren Räumen ohne solche Messanzeigen über mehrere Wochen mit Datenloggern bestückt. Weder die Lehrkräfte noch die Lerngruppen in den betreffenden Räumen wurden explizit über den Zweck der Übung informiert, es hieß lediglich, dass die Schülerinnen und Schüler eine Studie zur Luftqualität vorhaben. Auch in den Räumen mit Messdisplays wurden keine besonderen Informations- und Aufklärungsaktionen unternommen. Die Schülerinnen und Schüler wollten herausfinden, ob die bloße Präsenz der Messdisplays bereits eine Verhaltensänderung und Verbesserung der Luftqualität erbringt. Das durchaus erstaunliche Ergebnis der Studie: In den Räumen mit Messdisplays wurde zwar mehr als doppelt so häufig aktiv gelüftet, aber die Verbesserung der Luftqualität (gemessen in Minuten unter 1000 ppm CO₂) betrug nur 12 %. Daraus schlossen die Lernenden, dass Messanzeigen unverzichtbar sind für die Beeinflussung des Lüftungsverhaltens, weil sie einen hohen Aufforderungscharakter zu haben scheinen. Dennoch müsse aber effektives Lüften noch speziell gelernt werden.



Abbildungen 5 und 6: Große Messdisplays (li.) haben erwiesenermaßen einen Aufforderungscharakter und motivieren zum Lüften. Mit Datenloggern (re.) lassen sich CO₂- und Temperaturverläufe aufzeichnen und das Lüftungsverhalten analysieren.²

4.3 Plakate als adressatengerechte Kommunikation

Zu diesem Zweck haben die Lernenden begonnen, motivierende Plakate zu gestalten und einzusetzen, die die Zielgruppe ihrer Mitlernenden und der Lehrkräfte erreichen. Für das CO₂- und Lüftungsthema sind bislang zwei Plakate gestaltet und gedruckt sowie im Robert-Havemann-Gymnasium flächendeckend eingesetzt worden:

- „Kippen hilft nicht“ klärt über effektive Lüftungstechniken auf.
- „Nur Lüften hilft“ wirbt für die CO₂-geführte Kontrolle der Lüftung als Beitrag zum Corona-Hygiene-Management in Schulklassen.

² Die Bilder wurden von den Autoren mit freundlicher Genehmigung für diesen Fachbrief zur Verfügung gestellt.

Beide Poster sind im Webshop der Schülerfirma energyECO bestellbar (<https://www.energyeco.de/shop>).



Abbildungen 7 und 8: Poster sind im Webshop der Schülerfirma energyECO²

4.4 Schülerfirma Energieberater energyECO

Die Schüleraktiengesellschaft energyECO wurde von Lernenden, die in dem seit mehreren Jahren kontinuierlich stattfindenden Energieprojekt am Robert-Havemann-Gymnasium mitarbeiten, aus eigenem Antrieb gegründet. Als „Deutschlands jüngste Energieberater“ offerieren die Lernenden ihre Dienstleistungen in erster Linie anderen Schulen. Dabei geht es um die Durchführung von Energiechecks an Schulen, die Betreuung von „Lüftungskampagnen“ und die Kooperation mit Umweltgruppen anderer Schulen bei bestimmten Aktionen wie z.B. der Feinstaubmessung.

Der Firmengründung vorausgegangen war die Ausbildung und Prüfung von Junior-Energieberatern im Rahmen der Projektarbeit. Dazu erstellten die Lernenden ein Handbuch für Junior-Energieberater, in dem auch ein Satz von Prüfungsfragen enthalten ist. Die Prüfung selbst besteht aus einem theoretischen und einem praktischen Teil. Die Praxisprüfung wird von einem Gremium abgenommen, dem die Schulleitung, Fachlehrkräfte, externe Energieberatende sowie eine Vertretung der Bauverwaltung des Bezirksamts angehört.



Abbildung 9: Das „Junior-Energieberater“-Handbuch umfasst 56 Seiten.²



Abbildung 10: Wer die Prüfung besteht, bekommt ein Zertifikat von seinem Schulleiter.²

Die Unterstützung von „Lüftungskampagnen“ gehört zu der am meisten nachgefragten Dienstleistung von energyECO. Diese Kampagnen werden meist als Wettbewerb unter mehreren Klassenstufen einer Schule organisiert. Die Schülerfirma berät dabei die Lehrkräfte der beteiligten Schulen, informiert, begleitet den Start der Kampagne, stellt die CO₂-Messgeräte auf und wertet die Datenlogger aus. Lüftungswettbewerbe wurden von energyECO außer an der eigenen Schule bisher an diesen Schulen durchgeführt:

- Gemeinschaftsschule Campus Efeuweg (Neukölln)
- Rosa-Luxemburg-Gymnasium (Pankow)
- Sophie-Scholl-Schule (Tempelhof-Schöneberg).

Die Arbeit der Projektgruppe sowie der inzwischen daraus hervorgegangenen Schülerfirma wird seit längerem von einem externen Dienstleister, der stratum GmbH (www.stratum-consult.de) begleitet, der auch das Projekt „Köpfchen statt Kohle“ an 17 Pankower Schulen betreut hat.

Weitere Informationen: <https://www.energyeco.de/>

(Alle Links wurden am 18.05.2021 gesichtet.)

5 Hinweise

Sensoren und digitale Messwerterfassungssysteme werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Bei der Beschaffung sind neben den Kosten insbesondere die geplante Verwendung, die Anschlussfähigkeit an vorhandene Systeme und der Wartungsaufwand zu prüfen. Zunehmend werden drahtlose Sensoren angeboten, die mit Datenloggern, Laptops, Tablets oder Smartphones verbunden werden können.

	Sensor	Preis (ca.)
Physik	Spannungssensor	70 €
	Stromstärkesensor	70 €
	Hallsonde	100 €
	Mikrofonsensor	im Smartphone
	Ultraschallsensor	150 €
	Beschleunigungssensor	150 €
	Kraft- und Beschleunigungssensor	150 €
Chemie	Temperatur	60 €
	pH-Sensor	100 €
	Leitfähigkeitssensor	150 €
Biologie	Spirometer	250 €
	CO ₂ -Sensor	350 €
	O ₂ -Sensor	350 €
	Lichtsensor	100 €

Tabelle 4: Richtpreise für ausgewählte Sensoren. Die Preise variieren in Abhängigkeit vom System bzw. Vertrieb. Es gibt zahlreiche weitere Sensoren.

„Schulpartnerschaft Chemie“ vom Fond der Chemischen Industrie

Schwerpunkt der „Schulpartnerschaft Chemie“ ist die Unterrichtsförderung. Mit ihr soll der experimentelle Chemieunterricht gestärkt werden.

Bis zu 5.000 Euro können allgemeinbildende Schulen in Deutschland sowie deutsche Schulen im Ausland erhalten, an denen Chemie unterrichtet wird. Auch für berufsbildende Schulen, die das Fach Chemie bzw. chemieaffine Lernfelder anbieten, ist die Unterrichtsförderung offen.

<https://www.vci.de/fonds/schulpartnerschaft/unterrichtsfoerderung/seiten.jsp>

(gesichtet 18.05.2021)