

Unterschiedliche Messmethoden und deren Anwendung



Experimentiervideos am Beispiel der Fotosynthese

LAURA PFAFFERODT – MONIQUE MEIER – MARIT KASTAUN

Erhebung, Auswertung und kritische Analyse von Messdaten nehmen eine elementare Rolle in forschenden Lernprozessen aller naturwissenschaftlichen Fächer ein. Am Beispiel von zwei Experimentiervideos zum Einfluss der Wellenlänge des Lichts auf die Fotosyntheserate der dickblättrigen Wasserpest (*Egeria densa*) werden Möglichkeiten zur Auseinandersetzung mit direkter und indirekter Erhebung von Daten für den Biologieunterricht vorgestellt.

1 Der Umgang mit Daten im naturwissenschaftlichen Unterricht

Experimentell naturwissenschaftliche Phänomene zu erforschen, stellt einen integralen Bestandteil naturwissenschaftlicher Grundbildung dar. Im Aufstellen prüfbarer Fragestellungen und Hypothesen über die Planung und Durchführung eines Experimentes bis hin zur Auswertung und Interpretation der im Experiment generierten Daten werden unterschiedliche Kompetenzfacetten von Lernenden im Bereich der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung gefördert (KMK, 2005, 2020). Um evidente Schlussfolgerungen aus einem Experiment ziehen zu können, sind Erhebung, Aufbereitung und Auswertung von Messdaten, die einhergehend mit einer Fehleranalyse kritisch betrachtet werden müssen, ein bedeutender Tätigkeitsbereich beim wissenschaftlichen Arbeiten (KOK, BOZIANOWSKI & PRIEMER, 2020). Der Umgang mit Daten, der Vorgang des Messens mit der Erstellung eines Messkonzeptes (inkl. der zielgerichteten Auswahl eines Messgerätes) und die Erfassung von Messdaten sowie deren Auswertung, bspw. über Wertetabellen oder Graphen unterliegen der Anwendung fachmethodischer sowie unterschiedlicher naturwissenschaftlich-mathematischer Wissensfacetten, die in ihrer Gesamtheit als *Data Literacy* bezeichnet werden können (z.B. LUDWIG & THIEMANN, 2020). Dabei werden Kompetenzen und Fähigkeiten angesprochen, die einen angemessenen Umgang mit Daten (bspw. identifizieren, aufbereiten, analysieren, modellieren von Daten etc.) einhergehend mit systemischen Denkweisen umfassen, (SCHUBATZKY & SCHAAL, 2021) und eine kritische Teilhabe in einer digitalen, schnelllebigen Welt ermöglichen. Der Kompetenzbereich *Data Literacy* beinhaltet auch die Erhebung sowie das Bereitstellen von Daten über die Anwendung unterschiedlicher Messmethoden (SCHÜLLER, BUSCH & HINDIGER, 2019).

Grundlegend kann der Messvorgang als das Erfassen von Eigenschaften eines Gegenstandes oder Prozesses definiert werden (SACHER, 2014). Messen im engeren Sinne stellt die Zuordnung von Objekteigenschaften dar und dient einem direkten oder indirekten Vergleich mit einer Maßeinheit (HARTMANN & PRIEMER, 2018). Zum direkten Erfassen der Messdaten ist die Nutzung von Messgeräten, wie bspw. Thermometer oder pH-Meter, unabdingbar. Im Vergleich dazu können experimentierbezogene Daten aber auch über indirekte Vergleiche bspw. über Farbveränderungen eines Indikators generiert werden. Dabei werden keine exakten Zahlen mit Maßeinheiten, sondern eher Tendenzen erfasst. Trotz der hohen Relevanz und Bedeutung von Messungen zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, werden im Physikunterricht häufiger exakte Messdaten (direkter Vergleich) in und für Experimente erfasst als im Chemie- oder Biologieunterricht (PIETZNER, 2009). Besonders in biologisch-forschenden Lernprozessen nimmt oftmals die Messung eine untergeordnete Rolle ein. Gründe dafür lassen sich u.a. in der Art und Ausgestaltung der biologischen Untersuchungen identifizieren. Zudem erschwert die Komplexität vieler biologischer Phänomene eine eindeutige Erhebung von Daten. Quantitative Experimente, die das Erfassen von Messdaten erfordern, werden wesentlich seltener als Untersuchungen mit Beobachtungsdaten, bspw. indirekte Vergleiche oder beschreibende Verände-

runge, im Biologieunterricht umgesetzt. Darüber hinaus geben Lehrkräfte an, dass Zeitmangel oder Probleme beim Umgang mit sogenannten unsicheren Daten, also Daten, welche u.a. nicht den generierten Hypothesen entsprechen oder fragwürdig sind, mögliche Ursachen für einen untergeordnete Rolle der Datenerfassung im forschenden Unterricht darstellen (HOLZ & HEINICKE, 2019). In der Biologie sind unsichere Daten jedoch keine Seltenheit und meist auch nicht abwendbar. Demnach ist bspw. die Erforschung des Verhaltens von Tieren nicht unwesentlich vom beobachteten Tier und dessen Befindlichkeiten sowie der Umgebung und weiterer äußerer Faktoren abhängig, die den Ausgang einer Untersuchung nur schwer vorhersehbar machen. Möglichkeiten, den Grad an Unsicherheit bei u.a. sehr agilen und/oder unbeständigen zu erforschenden Phänomenen zu reduzieren und der Erhebung und Auswertung von Messdaten in biologisch-forschenden Lehr-/Lernprozessen mehr Bedeutung beizumessen, können über den Einsatz digitaler Werkzeuge geschaffen werden. Der Einsatz von digitalen Messwerterfassungssystemen, bestehend aus einem Sensor und ggf. einem Datenlogger (KASTAUN & MEIER, 2021), oder Smartphones als Messgeräte erhöhen das Potenzial, zeiteffizient direkte Messungen in komplexen Experimenten durchzuführen. Ein interessantes Beispiel stellen Wärmebildkameras dar, welche zumeist unsichtbare thermische Phänomene beobachtbar machen und als Datenquelle in ein Experiment integriert werden können (z.B. STINKEN-RÖSNER & RODENHAUSER, 2021). Ebenso kann aber auch ein digitalisiertes Experiment die Möglichkeit bieten, auf den Messvorgang und das Erfassen (sicherer) Daten zu fokussieren.

2 Experimentiervideos als Lernmedium im naturwissenschaftlich-forschenden Unterricht

Dem *Experimentiervideo* wird meist eine Vormachen-Nachmachen-Funktion zugesprochen und als Alternative einer realen Durchführung des jeweiligen Experimentes gegenübergestellt (MEIER, KASTAUN & STINKEN-RÖSNER, 2022). Neben dieser sicher möglichen Anleitungs- und Ersatzfunktion eröffnet dieses digitale Lernmedium jedoch noch deutlich mehr Zugänge zum fachmethodischen sowie -inhaltlichen forschenden Lernen. Im Vergleich zum etablierten Format des Erklär- oder Lehrvideos, fokussiert das Experimentiervideo nicht auf die Vermittlung von Fachwissen, sondern auf die Initiierung von Erkenntnisprozessen. Über die Einbettung von Experimentiervideos in den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess können Lernende Phänomene aktiv entdecken und digitalgestützt erforschen (MEIER, KASTAUN & STINKEN-RÖSNER, 2022). Durch die formatbedingten Vorteile des Videos können zeitaufwendige, gefährliche, vorbereitungsintensive, komplexe oder teure Experimente in den Unterricht integriert (MIESERA et al., 2018) und zur Generierung direkter und /oder indirekter Messdaten sowie zur fehleranalytischen Betrachtung herangezogen werden (STINKEN-RÖSNER et al., 2023).

2.1 Experimentiervideos zum Einfluss der Wellenlänge auf die Fotosyntheserate

Zur Förderung von Kompetenzen im Umgang mit Messdaten wurde ein biologisches Experiment ausgewählt, welches sowohl

die direkte als auch indirekte Messung von Daten ermöglicht. Entlang der Forschungsfrage ‚Inwiefern beeinflussen verschiedene Wellenlängen des einstrahlenden Lichts den Kohlenstoffdioxidverbrauch der Wasserpflanze *Egeria densa* (Dickblättrige Wasserpest?)‘ sollen die Lernenden mithilfe der Experimentiervideos kausalanalytisch prüfen, ob die Wellenlänge des Lichtes (unabhängige Variable) einen Einfluss auf die Fotosyntheseleistung (abhängige Variable) hat.

Im Vergleich zu einer oftmals genutzten Methode, bei der der produzierte Sauerstoff in Form von Bläschen ausgezählt wird,

um die Fotosyntheseaktivität der Wasserpest zu zeigen, wird in diesem experimentellen Ansatz das verbrauchte Kohlenstoffdioxid indirekt über die Veränderungen des pH-Wertes während der Belichtungszeit untersucht. Hierzu werden etwa gleichgroße Stücke von *Egeria densa* entsprechend der zu untersuchenden Wellenlängen in jeweils einem Erlenmeyerkolben gegeben und mit einer Bromthymolblau-Lösung aufgefüllt (Abb. 1). Bei Bromthymolblau handelt es sich um einen pH-Indikator mit einem sehr kleinen Umschlagsbereich ($\text{pH} = 6,0 - 7,6$). Der Indikator weist bei niedrigem pH-Wert eine Gelb- und bei höherem eine Blaufärbung auf. Bei $\text{pH} = 7$ ist eine grünliche Färbung zu beobachten. Die Kolben sind während der Durchführung verschlossen, um Einflüsse von außen zu vermeiden. Die vorbereiteten Experimentalansätze werden mit Licht verschiedener Wellenlängen über farbige LED-Leuchtmittel bestrahlt. Temperatureinflüsse können ausgeschlossen werden. Neben der Temperatur stellt das Raumlicht eine Störquelle dar, die zwar nicht vollends eliminiert, jedoch durch Verdunklung des Raums in der Belichtungsphase der Ansätze minimiert werden kann (Abb. 1).

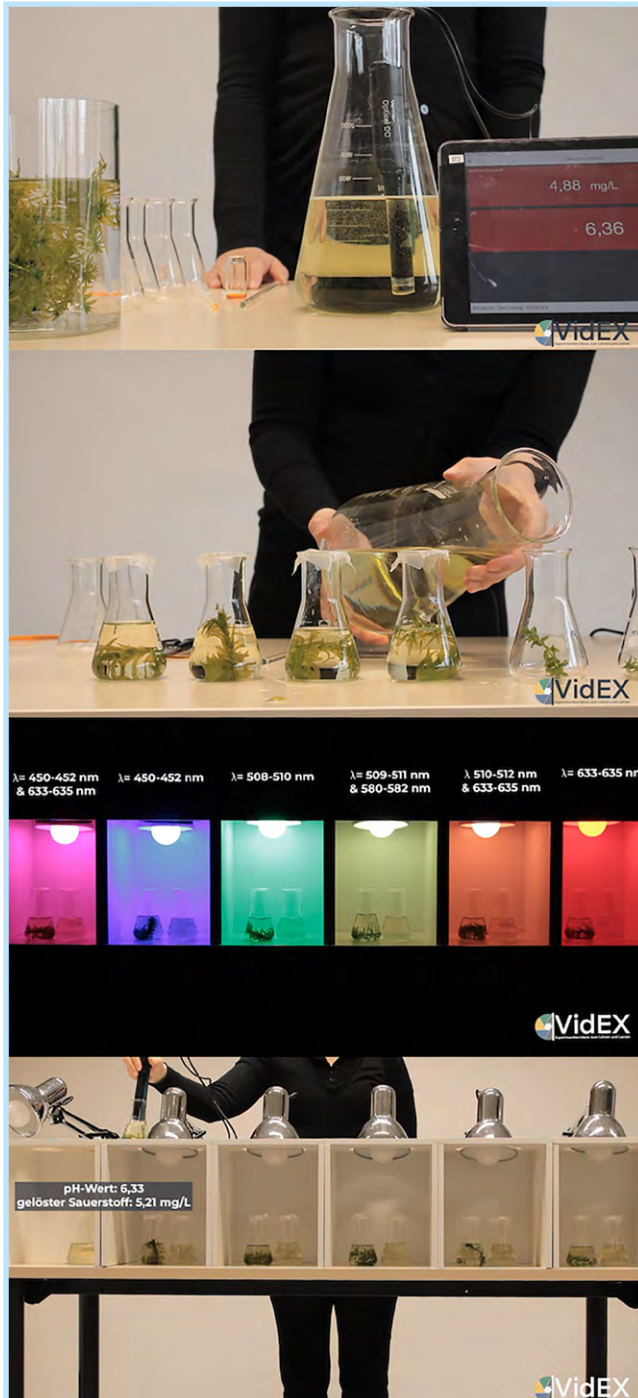


Abb. 1. Ausschnitte aus den Experimentiervideos zum grundlegenden, experimentellen Ablauf

Im Rahmen des Projektes ‚VidEX - Lehren und Lernen mit Experimentiervideos‘ (www.videx-nawi.de), werden Experimentiervideos mit unterschiedlichen fachlichen Schwerpunkten aus den der Naturwissenschaften zugehörigen Fachdisziplinen der Biologie, Physik und Chemie kostenfrei Lehrenden und Lernenden zur Verfügung gestellt. Die Module zu unterschiedlichen Experimenten umfassen jeweils mindestens zwei oder mehr Experimentiervideos, fachdidaktische Vorschläge zu unterrichtlichen Einsatzszenarien und Begleitmaterialien. Das zu diesem Beitrag zugehörige Modul ‚Der Einfluss der Wellenlänge auf die Fotosyntheserate der Wasserpest‘ mit allen Videos finden Sie hier:



VidEX ist ein Kooperationsprojekt mit beteiligten Fachdidaktiker/innen aus der Biologie und Physik/Naturwissenschaften. Weitere VidEX-Module entspringen diesen fachlichen Disziplinen, wie z.B. ‚Enzymatik‘ oder ‚Druck in Gasen‘. Ebenso ist dem VidEX-Team ein enger Austausch mit der Praxis sehr wichtig. Somit laden wir interessierte Lehrkräfte ein, mit uns in Kontakt zu treten, um die Potenziale zum Einsatz von Experimentiervideos im Fach gemeinsam zu identifizieren und auszuschöpfen. Schreiben Sie uns gern unter info@videx-nawi.de.

Kasten 1. Information zum Projekt VidEX

Zur Untersuchung der Forschungsfrage wurden zwei Experimentiervideos im Rahmen des Projekts *VidEX* (s. Kasten 1) produziert, die sich nicht hinsichtlich des experimentellen Vorge-

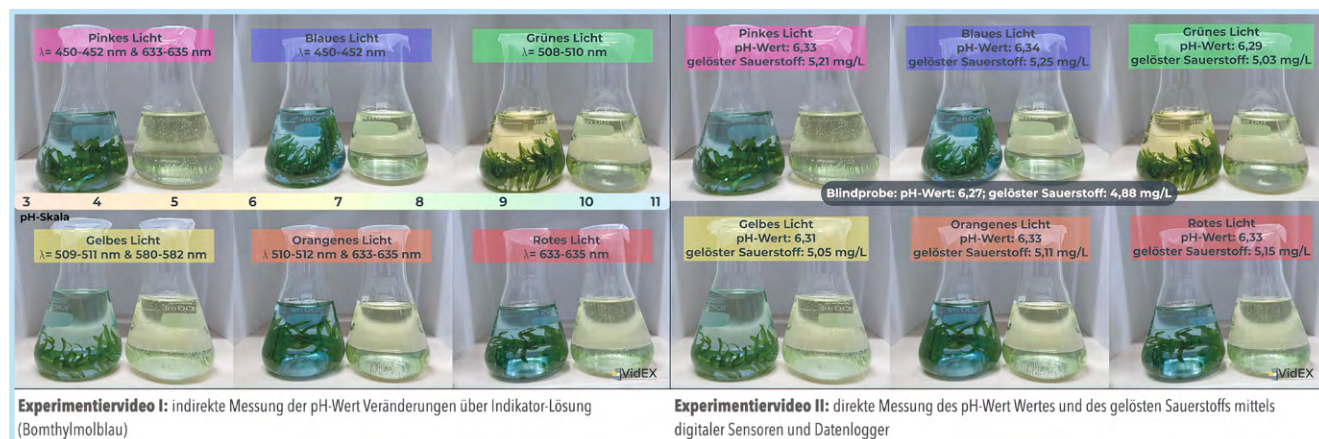


Abb. 2. Ausschnitt aus den Experimentiervideos I & II zur Erfassung der indirekten und direkten Messdaten

hens oder Aufbaus, sondern in der Messmethodik und der zu erfassenden Parameter unterscheiden. In beiden Experimentiervideos werden insgesamt fünf Messzeitpunkte (plus Messzeitpunkt 0 als Startwert) alle 30 Minuten (gesamter Messzeitraum: 150 Minuten) umgesetzt. Nach 30 Minuten können bereits erste Änderungen visuell festgestellt werden. Ein möglicher Einfluss der Wellenlänge des Lichtes wird deutlich, da sich die Ansätze unterschiedlich intensiv verfärben. Der pH-Wert verschiebt sich erwartungskonform in den Ansätzen, welche mit bläulichem und rötlichem Licht bestrahlt wurden, ins basische Milieu. Fachlich lässt sich diese Beobachtung damit erklären, dass die Chlorophyllfarbstoffe a und b blaues ($\lambda = 420 - 500 \text{ nm}$) und rotes Licht ($\lambda = 600 - 780 \text{ nm}$) optimal absorbieren. Durch den Verbrauch des Kohlenstoffdioxids über die Prozesse der Licht- und Dunkelreaktionen der Fotosynthese nimmt die Konzentration an gelöstem Sauerstoff in den Ansätzen zu. Dies führt in der Indikatorlösung zur Einstellung eines basischen Milieus. Bei grünem Licht bzw. Lichtspektren mit Wellenlängenteilen von $500 - 550 \text{ nm}$ ist die Absorptionsfähigkeit von Chlorophyll sehr gering. Es wird auch von der Grünücke gesprochen, denn grünes Licht wird reflektiert und kann nicht für die Energietransportkette vom pflanzlichen Chlorophyll genutzt werden (MORTIMER & MÜLLER, 2015; KADEREIT et al., 2021).

Im Experimentiervideo I können die Messdaten über den Vergleich der Indikatorfärbung mit einer Referenzskala indirekt gemessen bzw. abgelesen werden. Demnach erfolgt die Messung hier über einen visuellen Farbvergleich und führt zu geschätzten Zahlenwerten bzw. -intervallen. Im Experimentiervideo II hingegen werden exakte Messwerte zum pH-Wert und zum gelösten Sauerstoff [mg/l] über den Einsatz digitaler Sensoren erfasst und ausgegeben bzw. angezeigt. In den einzelnen Ansätzen der Experimentiervideos wurde die gleiche Indikatorlösung genutzt. Dies macht einen Vergleich zwischen den Experimentiervideos und das In-Beziehung-Setzen der unterschiedlich angelegten Messungen möglich (Abb. 2).

2.2 Einsatz von Experimentiervideos im Biologieunterricht

Experimentiervideos können auf vielfältige methodische Art und Weise sowie mit unterschiedlicher Lehr-/Lernfunktion in

den biologischen-naturwissenschaftlichen Unterricht eingebunden werden. Je nach fachlichem oder fachmethodischem Schwerpunkt im Video wird der unterrichtliche Einsatz individuell von der Lehrkraft ausgestaltet. Dabei spielen auch mediale, ggf. differenzierte Gestaltung (bspw. mit/ohne Texteinblendung), die Anzahl der bereitgestellten Videos (Variation des experimentellen Ablaufes oder Experimentierwiederholungen), Rahmenbedingungen in der Schule und den Lerngruppen eine Rolle. Integriert in den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess können Experimentiervideos bspw. vor, während oder nach der Planung eines realen Experimentes als Unterstützungsmaßnahme oder Vergleich eingesetzt werden. Darüber hinaus ist es möglich, sie auch als digitale Anleitung, Alternative oder Ersatz eines Experimentes während bzw. zu der Durchführung oder zur Fehleranalyse in der Auswertungsphase zu nutzen (STINKEN-RÖSNER et al., 2023). Der in dem hier vorgestellten Experimentiermodul (Einfluss der Wellenlänge auf die Fotosyntheserate) fokussierte Schwerpunkt liegt auf der Durchführungsphase zur Erhebung von (unterschiedlichen) Messdaten sowie deren kritische Reflexion im Rahmen einer Fehleranalyse. Der den zugehörigen Experimentiervideos bzw. dem gewählten Experiment zu Grunde liegende Fachinhalt ist an der gymnasialen Oberstufe ausgerichtet und kann dem Inhaltsbereich ‚Leben und Energie; aufbauender Stoffwechsel‘ (KMK, 2020, 20) zugeordnet werden. Neben dem Erkennen fachlicher Zusammenhänge wird über den Einsatz der Experimentiervideos im forschenden Lehr-/Lernprozess vor allem auch die Förderung von Kompetenzen im Bereich der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung angestrebt. Im vorliegenden Modul steht die Erfassung qualitativer und quantitativer Daten sowie die Beurteilung ihrer Gültigkeit (KMK, 2020) im Fokus der anvisierten Kompetenzförderung. Im Sinne des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses können die Lernenden zunächst prüfbar und begründete Hypothesen in Bezug auf die Forschungsfrage zur Wellenlänge aufstellen sowie einen möglichen experimentellen Aufbau planen. Zur Planung ist es hilfreich, den Lernenden das nötige und/oder mögliche Material vorzustellen, hier z.B. über ein Foto der verwendeten Materialien im Experimentiervideo. Als Äquivalent zur praktischen Durchführung kann das Experimentiervideo sowohl bei einem Vergleich mit der eigenen Planung und/oder zur Generierung von Mess-

daten genutzt werden. Die Lernenden sollten während der Nutzung der Videos die Messdaten in Form von Wertetabellen oder Graphen dokumentieren. Die unterschiedliche Anlage zur Erfassung von indirekter und direkter Messung von Daten zwischen den Experimentiervideos eröffnet der Lehrkraft einen differenzierten Einsatz. Insofern können entweder beide Videos oder jeweils nur ein ausgewähltes Experimentiervideo in Einzel- oder Gruppenarbeit bearbeitet werden. Ein arbeitsteiliger Videoeinsatz und somit die unterschiedliche Genese von Messdaten innerhalb der Kleingruppe bietet einen Ausgangspunkt für die weiterführende Auswertung, Fehleranalyse und Interpretation der Messergebnisse. Über den Vergleich der beiden Messmethoden und experimentellen Abläufe lassen sich mit den Lernenden Vor- und Nachteile der indirekten und direkten Messung an diesem konkreten Beispiel erarbeiten und bspw. Messunsicherheiten (KOK, BOCZIANOWSKI & PRIEMER, 2020) oder Verfahrensfehler im Rahmen der Fehleranalyse und deren Einflüsse auf experimentelle Ergebnisse diskutieren. Eine Rückbindung zu den zuvor aufgestellten Hypothesen sowie eine Verknüpfung mit den fachlichen Konzepten in der Phase der Interpretation sollte abschließend im unterrichtlichen Lehr-/Lernprozess unabhängig von der Art des Videoeinsatzes erfolgen.

3 Fotosynthese-Experimentiervideos unter der ‚Praxislupe‘

Zur Erfassung möglicher Unterrichtsszenarien und ersten Evaluation der beiden Experimentiervideos wurde eine qualitative Interviewstudie mit fünf erfahrenen Lehrkräften (durchschnittliche Berufserfahrung: 14 Jahre) der gymnasialen Oberstufe durchgeführt, in der auch auf einen differenzierten Einsatz in heterogenen Lerngruppen eingegangen wurde. Grundsätzlich gaben die befragten Lehrkräfte nach der Betrachtung der beiden Experimentiervideos an, dass sie die Videos im Rahmen einer Unterrichtseinheit als einen vertiefenden Aspekt zur Fotosynthese einsetzen würden, wobei vier Befragte das konkrete Experiment zum Einfluss der Wellenlänge auf die Fotosyntheserate noch nie im eigenen Unterricht praktisch umgesetzt hatten. Lernförderliche Potenziale sehen die Befragten darin, dass anhand der Videos einzelne Schritte des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges fokussiert, explizit Daten erhoben und Diagramme erstellt sowie eine Fehleranalyse durchgeführt werden können. Darüber hinaus wird von Lehrkräften auch die Anwendung mathematischer Kompetenzen im Rahmen dessen als positiv ausgewiesen. Ihrer Ansicht nach kann das Experimentiervideo II mit der direkten Messung u.a. auch als Übung genutzt werden, um mathematische Fähigkeiten, wie bspw. die Erstellung von Diagrammen oder die Regressionsanalyse von Datensätzen an einem konkreten biologischen Beispiel zu fördern.

Mit Blick auf den differenzierten Einsatz der Videos zeigt sich ein uneinheitliches Bild. Gründe lassen sich bereits in der eigenen Einschätzung zur Häufigkeit des unterrichtlichen Einsatzes und Thematisierung von Messdaten und deren Erhebung vermuten. Alle Lehrkräfte gaben an, dass sie den Umgang mit Daten in ihrem eigenen Unterricht gar nicht bis selten thematisieren.

Im Rahmen der qualitativen Auswertung wird deutlich, dass die Ansicht individuell ist, ob die Datenerfassung auch mit leistungsschwächeren Lernenden durchgeführt werden sollte. Anhand von zwei Zitaten aus den geführten Interviews werden die unterschiedlichen Positionen deutlich: „Die schwächeren Schüler/innen werden mit den Werten nicht umgehen können und werden davon erschlagen sein.“ (Lehrkraft, weiblich, 7 Jahre Berufserfahrung). Dagegen sieht eine andere Lehrkraft im zweiten Experimentiervideo mit direkter Messung eher Förderpotenzial: „Stärkere Schüler/innen schauen sich Video 1 [indirekte Messung] an und antizipieren dann die Daten, die eingeblendet werden im zweiten Video. Während schwächere Schüler/innen im zweiten Video natürlich mehr Daten als Arbeitsgrundlage haben [...]“ (Lehrkraft, männlich, 21 Jahre Berufserfahrung). Ausgehend von dem zweiten Zitat wird der bereits skizzierte Differenzierungsansatz in einer geteilten und kombinierten Nutzung der Videos erkannt und für den unterrichtlichen Einsatz hervorgehoben. Insgesamt gaben zwei der Befragten an, dass aus ihrer Sicht exakte Daten für mehr Verständnis sorgen würden und demnach für leistungsschwächere Lernende besser geeignet seien. Somit würden Sie einen differenzierten Einsatz der Videos anstreben. Die divergierenden Einschätzungen zeigen aber auch, dass der Umgang mit heterogenen Lerngruppen, die innere Differenzierung sowie die Auswahl des konkreten Lernmaterials (hier die Experimentiervideos) stark von den eigenen Erfahrungen und Vorstellungen der Lehrkraft abhängen. In den VidEX-Modulen wird dieser Umstand mitberücksichtigt, indem die Experimentiervideos frei kombiniert und genutzt werden können, sodass die geforderte innere Differenzierung nach eigenem Ermessen möglich ist.

Literatur

HARTMANN, B. & PRIEMER, B. (2018). Introducing energy through observations and measurements. *Physics Education* 53 (065009).

HOLZ, C. & HEINICKE, S. (2019). Der Rest ist dann halt Messfehler. Wie angehende Lehrkräfte in Unterrichtssituationen mit Messdaten umgehen. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/927/1054> (6.10.2022).

KADEREIT, J. W., KÖRNER, C., NICK, P., SONNEWALD, U. & LAY, M. (2021). *Strasburger – Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften*. Berlin: Springer.

KASTAUN, M. & MEIER, M. (2021). Digitale Messwerterfassung in der Umweltanalyse. In J. MAXTON-KÜCHENMEISTER & T. J. MESSINGER-KOPPELT (Hg.), *Naturwissenschaften digital: Toolbox für den Unterricht 2.0*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung.

KMK / Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss* (Jahrgangsstufe 10). https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf (23.8.2022).

- KMK / Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister (2020). *Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-Bildungsstandard-sAHR_Biologie.pdf (23.8.2022).
- KOK, K., BOCZIANOWSKI, F. & PRIEMER, B. (2020). Messdaten im Physikunterricht auswerten – wann sind Messunsicherheiten wichtig? *MNU Journal*, 73(4), 292–295.
- LUDWIG, T. & THIEMANN, H. (2020). Datenkompetenz – Data Literacy. *Informatik Spektrum*, 43, 436–439.
- MEIER, M., KASTAUN, M. & STINKEN-RÖSNER, L. (2022). Experimentiervideos im naturwissenschaftlichen Unterricht. Lehren und Lernen mit und durch VidEX. In E. M. WATTS & C. HOFFMANN (Hg.), *Digitale NAWI-gation von Inklusion* (S. 51–65). Wiesbaden: Springer VS.
- MIESERA, S., WEIDENHILLER, P., KÜHLENTHAL, S. & NERDEL, C. (2018). Transfer eines didaktischen Konzepts-Experimentiervideos in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung und im Unterrichtseinsatz. *HiBiFo – Haushalt in Bildung und Forschung*, 7(4), 75–88.
- MORTIMER, C. E. & MÜLLER, U. (2015). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie*. Stuttgart: Thieme.
- PIETZNER, V. (2009). Computer im naturwissenschaftlichen Unterricht – Ergebnis einer Umfrage unter Lehrkräften. *ZfDN*, 15, 47–67.
- SACHER, W. (2014). *Leistungen entwickeln, überprüfen und beurteilen: bewährte und neue Wege für die Primar- und Sekundarstufe*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- SCHUBATZKY, T. & SCHAAL, S. (2021). Daten und Biologie – Systeme im naturwissenschaftlichen Unterricht modellieren, *UB*, 461, 44–47.
- SCHÜLLER, K., BUSCH, P. & HINDIGER, C. (2019). Future Skills: Ein Framework für Data Literacy (Kompetenzrahmen und Forschungsbericht). https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD_AP_Nr_47_DALI_Kompetenzrahmen_WEB.pdf (28.20.22).
- STINKEN-RÖSNER, L., WEIDENHILLER, P., NERDEL, C., WECK, H., KASTAUN, M., MEIER, M. (2023). Inklusives Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht digital unterstützen. In D. FERENCIK-LEHMKUHL, I. HUYNH, C. LAUBMEISTER, C. LEE, C. MELZER, I. SCHWANK, H. WECK & K. ZIEMEN (Hg.), *Inklusion Digital! Chancen und Herausforderungen inklusiver Bildung im Kontext von Digitalisierung* (S. 152–167). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- STINKEN-RÖSNER, L. & RODENHAUSER, A. (2021). Auf die Temperatur kommt es an! Untersuchung der Temperaturtoleranz mit der Wärmebildkamera. *digital unterrichten BIOLOGIE*, 7, 6–7.
- LAURA PFAFFERODT, Laura.Pfafferodt@gmx.de, ist Studentin der Biologie und Chemie für das gymnasiale Lehramt an der Universität Kassel. Sie hat im Zuge ihrer wissenschaftlichen Hausarbeit zum Ersten Staatsexamen beide Fotosynthese-Experimentiervideos angebunden an das Projekt VidEX konzipiert und evaluiert.
- Prof.Dr. MONIQUE MEIER, monique.meier@tu-dresden.de, ist Professorin für Didaktik der Biologie an der Technischen Universität Dresden. Sie lehrt und forscht u.a. zum Einsatz digitaler Werkzeuge beim Forschenden Lernen mit dem Schwerpunkt auf Videos/Videotechniken und 3D-Druck sowie zur Differenzierung über den Einsatz digitaler Lernunterstützungen beim Experimentieren.
- MARIT KASTAUN, m.kastaun@uni-kassel.de, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Kassel, Didaktik der Biologie. Sie promoviert zu differentiellen, digitalen Fördermaßnahmen von wissenschaftsmethodischen Kompetenzen. Sie forscht und lehrt zum Einsatz digitaler Werkzeuge im Biologieunterricht mit dem Schwerpunkt auf Feedback, Messwerterfassung und Videos. ■□