

Pulsoximetrie als Alltagskontext für entdeckendes Lernen

Einleitung

Die nicht-invasive Messung der partiellen Sauerstoffsättigung S_pO_2 ¹ des Blutes durch das Verfahren der Pulsoximetrie (vgl. Kästle, Noller, Falk, Bukta, Mayer & Miller 1997) bietet ein interessantes Fallbeispiel für den Einsatz einer komplexen Alltagsanwendung im Physikunterricht. Anhand dieses Fallbeispiels sollen die Rollen des Kontextes sowie zentraler Teilkompetenzen aus dem Bereich Erkenntnisgewinnung untersucht werden (vgl. Wellnitz, Fischer, Kauertz, Mayer, Neumann, Anand, Sumfleth & Walpuski, 2012). Die technologische Komplexität wird dazu durch Elementarisierungen angemessen reduziert und ein Unterrichtskonzept mit kognitiven Hilfestellungen in geeignete Teilschritte gegliedert. Als Werkzeuge lassen sich dabei einsetzen: *Advance Organizer*, korrigierendes Feedback, kollaboratives Lernen, an die individuelle Lernsituation angepasste Hilfestellungen, verschiedene Repräsentationsformen, Orientierungen und Schrittgrößen passend zu Problemstellung und Vorwissen.

Theoretischer Hintergrund

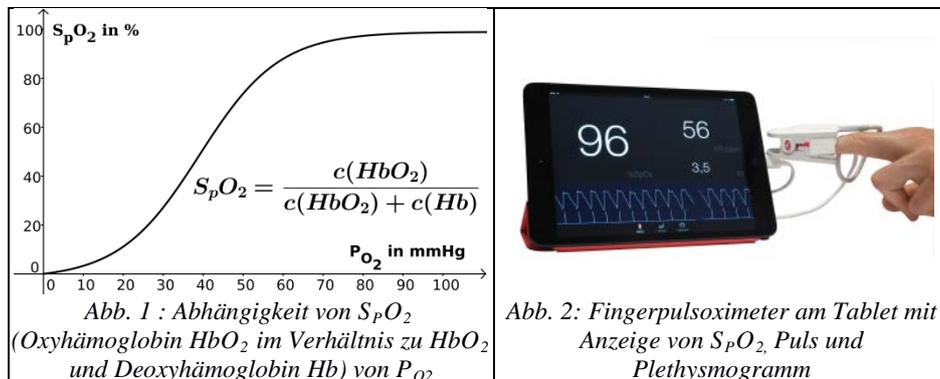
Während ein rein ungeleitetes entdeckendes Lernen oft nicht zu gewünschten Lernergebnissen führt, lässt sich ein sinnvoll geleitetes entdeckendes Lernen in vielen Szenarien gewinnbringend im Unterricht einsetzen (Alfieri, Brooks & Aldrich, 2011). Kognitive Hilfestellungen können dabei die Lernenden in die Lage versetzen, auch komplexere Aufgaben zu bearbeiten, die ihnen andernfalls nicht zugänglich wären (de Jong, 2006). Weiterhin werden Anwendungen aus der realen Lebenswelt als wichtige Komponente naturwissenschaftlichen Unterrichts gesehen (Kobarg, Prenzel, Seidel, Walker, McCrae, Cresswell & Wittwer, 2011). Derartige Anwendungen zeichnen sich häufig durch größere technologische und physikalische Komplexität aus, sodass in diesen Fällen der Einsatz von kognitiven Hilfestellungen im Unterricht vielversprechend ist.

Realer medizinischer Kontext

Die Pulsoximetrie als medizinisch-physikalische Anwendung lässt sich in den Unterricht zur Atomphysik der Sekundarstufen I und II einordnen. Ein realistischer Kontext kann dabei helfen, den Umgang mit den oft abstrakten Modellvorstellungen der Atomphysik zu erleichtern. Darüber hinaus weckt der Kontext (z. B. eine dramatische Filmsequenz zur Höhenkrankheit beim Bergsteigen) Sachinteresse und kann als Lernanker vorteilhaft auf den weiteren Lernprozess in der Unterrichtseinheit wirken.

Zunächst soll der biologische und physikalische Hintergrund behandelt werden. Durch Gasaustausch und mithilfe der Pumpleistung des menschlichen Herzens gelangt Sauerstoff von der Lunge in das arterielle System des Blutkreislaufs und - gebunden an Hämoglobinmoleküle - zu den Zellen der übrigen Organe. Die relative Sättigung des Blutes mit Sauerstoff wird in der medizinischen Praxis oft als Indikator für die Sauerstoffversorgung der Organe gesehen. Neben einer Abhängigkeit des Sättigungswerts von Temperatur und *pH*-Wert ist vor allem jene vom Sauerstoff-Partialdruck P_{O_2} zu nennen (Abb. 1). Entsprechend erhält die Messung der partiellen Sauerstoffsättigung in der Höhenmedizin ihre Bedeutung. (Andere relevante Bereiche liegen in der operativen

¹ S_pO_2 bezeichnet den pulsoximetrisch bestimmten partiellen Sauerstoffsättigungswert.



Medizin, in der Notfallmedizin sowie bei den Krankheitsbildern der chronisch obstruktiven Lungenerkrankung und der Schlafapnoe). Das Verfahren der Pulsoximetrie ermöglicht im Vergleich zur (exakteren) Blutgasmessung eine nicht-invasive Messmethode, die S_pO_2 -Werte zeitnah in oft ausreichender Näherung liefert. Im Unterricht setzt die Betonung des Messvorgangs und des Arbeitens mit Graphen bereits in der Einführungsphase des Kontexts Lernanker für spätere Schritte.

Erarbeiten grundlegender Gesetzmäßigkeiten

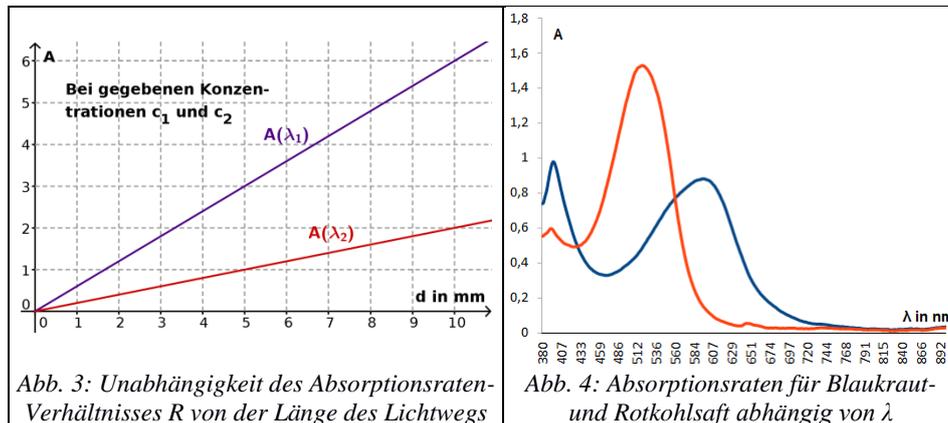
Die Verwendung eines transmittierend arbeitenden Finger-Pulsoximeters, bei dem Licht einer roten und einer IR-LED durch einen Finger gestrahlt und das transmittierte Signal jeweils mithilfe einer Fotodiode gemessen wird, bietet im Unterricht Anschaulichkeit bei günstigen Anschaffungskosten (Abb. 2). Nach ersten Messungen mit dem Gerät wird dessen Aufbau näher untersucht. Wichtige Komponenten (pulsierendes Lichtsignal, Verwendung von rotem Licht, Abschirmung von Umgebungslicht, EDV-Einheit und Anzeige der Werte für prozentuale Sättigung und Puls sowie des Plethysmogramms) werden möglichst genau beschrieben. Schemazeichnungen, Animationen und Fotomaterial helfen, Vorstellungen zu korrigieren und zu festigen und legen den Grundstein für weitere Erkenntnisschritte.

Das Arbeiten mit einem Fotospektrometer oder einer von Umgebungslicht ausreichend abgeschirmten Anordnung aus einfachen Schaltungen mit Farb- bzw. IR-LEDs als Signalquellen, Küvetten mit Farblösungen verschiedener Konzentrationen und Farben sowie mit einer Fotodiode als Empfänger veranschaulicht das Bouguer-Lambertsche Gesetz. Die zu einer Wellenlänge gemessenen Intensitätswerte bei zunehmender Farbstoffkonzentration zeigen in einem Diagramm den typischen, exponentiell abklingenden Verlauf. Daneben wird die Abhängigkeit der Extinktionskoeffizienten von der Photonenenergie qualitativ deutlich. Die Einführung der Absorptionsrate ermöglicht den Übergang zu einer linearisierenden Darstellung. Durch Variieren der Küvettenlänge lässt sich die Abhängigkeit von der Lichtweglänge untersuchen (Lambert-Beersches Gesetz).

Relevanter Signalanteil und Nutzung zweier LEDs

Die gewonnenen Erkenntnisse sind auf die S_pO_2 -Messung im arteriellen Blut des Fingers übertragbar: der pulsierende Signalanteil kann so aus dem Gesamtsignal an der Fotodiode herausgefiltert werden. Die linearisierende Darstellung wird nun verwendet, um aus dem gefilterten und durch das Absorptionsvermögen von Hämoglobin dominierten Signal den S_pO_2 -Wert zu ermitteln. Dazu werden die Absorptionsraten zu verschiedenen Wellenlängen betrachtet. Deren Verhältnis R ist unabhängig von der prinzipiell unbekanntem Weglänge des Lichts im arteriellen System (Abb. 3).

Hinsichtlich der Wahl der Wellenlängen eignet sich ein Analogieversuch: in Wasser gelöster Farbstoff aus Blaukraut wird jeweils im chemisch neutralen (blaue Farbe) und sauren Bereich (rote Farbe) mit einem Fotospektrometer untersucht (Abb. 4). Die zum neutralen Blaukrautsaft zugegebene Essig- oder Zitronensäure steht in Analogie zum Sauerstoff, der über die Lunge in das hämoglobinreiche Blut gelangt (vgl. Kutschera, Dunlap, Byrd, Norlin,



& Widenhorn, 2013). In der EDV-Einheit des Pulsoximeters sind schließlich zu den verschiedenen R -Werten passende S_pO_2 -Werte gespeichert. Anhand einer Tabelle oder eines Diagramms kann diese Zuordnung im Unterricht anschaulich gemacht werden.

Untersuchung

Ein an die Jahrgangsstufe adaptiertes Unterrichtskonzept zur Pulsoximetrie als Anwendung der Atomphysik in der Medizin wird als schrittweiser Guided-Discovery-Prozess mit Schülerinnen und Schülern in Bayern (Sekundarstufe I und II) im Winterhalbjahr 2014/15 im Rahmen einer Vorstudie durchgeführt. Fragestellungen der Untersuchung sind vor allem der Einfluss des Kontexts auf den weiteren Lernprozess und Lernerfolg und die Wirksamkeit der im Mathematisierungsprozess angebotenen Hilfestellungen für die Erkenntnisgewinnung.

Literatur

- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1–18.
- De Jong, T. (2006). Scaffolds for scientific discovery learning. In Elen, J., & Clark, R. E. (Eds.). *Handling Complexity in Learning Environments: Theory and Research*. Emerald Group Publishing, 107–128
- Kästle, S., Noller, F., Falk, S., Bukta, A., Mayer, E., & Miller, D. (1997). A New Family of Sensors for Pulse Oximetry. February 1997 Hewlett-Packard Journal, Article 7
- Kobarg, M., Prenzel, M., Seidel, T., Walker, M., McCrae, B., Cresswell, J. & Wittwer, J. (2011). An International Comparison of Science Teaching and Learning – Further Results from PISA 2006 . Münster: Waxmann.
- Kutschera, E., Dunlap, J. C., Byrd, M., Norlin, C., & Widenhorn, R. (2013). Pulse Oximetry in the Physics Lab: A Colorful Alternative to Traditional Optics Curricula. *The Physics Teacher*, 51(8), 495–497.
- Wellnitz, N., Fischer, H. E., Kauertz, A., Mayer, J., Neumann, I., Pant, H. A., Sumfleth, E. & Walpuski, M (2012). Evaluation der Bildungsstandards – eine fächerübergreifende Testkonzeption für den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 8,261-291.