Aufgaben und Musterlösungen zu dem Artikel:

„Integration des Erwerbs von Basiskonzepten der Informatik in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I“

Marlene Lindner, Sandra Schulz und Niels Pinkwart

17. GI-Fachtagung „Informatik und Schule“ – INFOS 2017

Chemie

2. Photometrie: Lambert-Beersches Gesetz

Marlene Lindner
August 2017

Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung 3.0 Unported zugänglich.
Um eine Kopie dieser Lizenz einzusehen, konsultieren Sie http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/.

Einführung

Folgende Unterrichtseinheit in *Physical Computing* soll es ermöglichen den Erwerb von Basiskonzepten und -kompetenzen der Informatik in den Chemieunterricht zu integrieren. In dieser Unterrichtseinheit geht es nicht darum besonders vielschichtige, komplexe Aufgaben zu stellen, sondern vielmehr ein Beispiel aufzuzeigen, das sowohl in den normalen Fachunterricht als auch in den Projektunterricht eingebunden werden kann und in Bezug auf Zeit und Material keine großen Herausforderungen darstellt. Auf Sensoren, die nicht in der Standardverkaufseinheit der LEGO® MINDSTORMS® EV3-Robotor enthalten sind, wird bewusst verzichtet. Auch wird auf die Umsetzbarkeit dieser Unterrichtseinheit in einer Doppelstunde (90 min) geachtet, wobei jeweils insgesamt 10 min für Unterrichtsbeginn und -abschluss veranschlagt werden, da die Organisation von Gruppen und Material berücksichtigt werden muss. Es wird davon ausgegangen, dass genügend Roboter vorhanden sind um jeweils zu zweit mit einem Roboter zu arbeiten.

Da im Rahmen dieser Aufgabe auf zusätzliche Sensoren verzichtet werden soll, sind viele gängige Größen zur Charakterisierung chemischer Reaktionen mit den LEGO® MINDSTORMS® EV3-Robotern nicht messbar – es muss somit z. T. auf physikalische Größen ausgewichen werden. Diese Unterrichtseinheit kann jedoch relativ einfach auf andere Experimente übertragen werden, falls sich eine Schule dazu entschließt weitere Sensoren zu kaufen. Vernier Software & Technology bietet z. B. neben Temperatur-, Druck- und pH-Sensoren auch viele weitere Sensoren für LEGO® MINDSTORMS® EV3-Roboter an, so dass die Roboter u. a. auch als Messgerät für eine Säure-Base-Titration oder das Bestimmen von Lösungsenthalpie verwendet werden können.

Photometrie: Lambert-Beersches Gesetz

Die Absorption von Licht durch farbige Lösungen ist ein Alltagsphänomen, das mit Hilfe von photometrischen Untersuchungen quantifiziert werden kann. Der Transmissionsgrad τ ergibt sich aus dem Quotient der Intensität des Lichtstrahls vor (I_0) und nach (I_1) dem Durchtritt durch die Lösung:

$$\tau = \frac{I_1}{I_0} \tag{1}$$

Die Extinktion E ergibt sich aus dem Logarithmus des Kehrwerts von τ und ist proportional zu der Konzentration c des lichtabsorbierenden Stoffes und der Weglänge

Niveaustufe (Chemie):	F–G	(vgl. Tab. 3)
Klassenstufe:	9 (abhängig von der Schulform)	
Vorwissen in Informatik:	Kenntnisse von algorithmischen Grundstrukturen, Variablen und Arrays	
Informatische Inhalte:	Roboter als Informatiksysteme, Arrays in der Messwerterfassung, Implementieren von Algorithmen, *Physical Computing*	(vgl. Tab. 3)
Robotortyp:	LEGO® MINDSTORMS® EV3-Stein	
Sensoren:	Zwei Lichtsensoren	(vgl. Abbildung 6)
Zusätzliches Material:	Küvetten und Küvettenhalterung, Lebensmittelfarbe (z. B. E132), Wasser, Pipetten, Bechergläser	

Tabelle 1: Aufgabenprofil der Unterrichtseinheit „Photometrie“

d des Lichtstrahls in der Lösung. Der Proportionalitätsfaktor ϵ wird als stoffspezifischer, molarer Extinktionskoeffizient bezeichnet. So ergibt sich das Lambert-Beersche Gesetz mit:

$$E = \log\left(\frac{I_0}{I_1}\right) = \epsilon \cdot c \cdot d \tag{2}$$

Der LEGO® MINDSTORMS® EV3-Stein kann verwendet werden um photometrische Messungen durchzuführen. Hierbei wird die duale Eigenschaft des Lichtsensors ausgenutzt, der sowohl Lichtintensitäten detektieren, als auch rotes Licht einer Wellenlänge von 632 nm ± 3 nm erzeugen kann. Diese Unterrichtseinheit orientiert sich an dem Artikel „Using LEGO MINDSTORMS NXT™ Robotics Kits as a Spectrophotometric Instrument“ (Kocanda u. a., 2010), in dem Messungen mit dem Lichtsensor der LEGO® MINDSTORMS® mit denen eines *Hitachi* U-2000 Spektrophotometer verglichen wurden. LEGO® MINDSTORMS® können nicht verwendet werden um ϵ korrekt zu bestimmen, jedoch können Stoffkonzentrationen relativ genau ermittelt und somit das Lambert-Beersche Gesetz im Experiment verdeutlicht werden. Der Fokus dieser Unterrichtseinheit bzgl. Chemie liegt somit auf der Durchführung einfacher qualitativer und quantitativer experimenteller Untersuchungen (Basiskompetenz E3) und der Modellnutzung zur Deutung der Lichtabsorption eines Farbstoffs (Basiskonzept „Struktur-Eigenschafts-Beziehungen“ (F2)) .

Nach einer kurzen Einführung in die Programmierumgebung und das Speichern des Programms auf dem Roboter können die Arbeitsaufgaben in Tabelle 2 gestellt werden. Die Lösungen dieser Aufgaben befinden sich in Form von Pseudocode im Abschnitt „Musterlösungen“ auf S. 5. Schätzwerte für die Durchführungsdauer der einzelnen Aufgaben finden sich ebenfalls in Tabelle 2.

Aufgabe	Zeit
1. Nehmt euch 10 ml der Indigocarmin-Stammlösung, 10 Küvetten, destilliertes Wasser, eine Pipette und ein leeres Becherglas. Setzt eine Verdünnungsreihe an und füllt jeweils 1 ml in eine Küvette. Notiert euch die Mischungsverhältnisse! Eine der Küvetten soll als Leerprobe nur mit destilliertem Wasser gefüllt werden.	10 min
2. Baut aus LEGO®-Steinen eine Küvettenhalterung mit zwei Lichtsensoren und schließt die Sensoren an euren LEGO® MINDSTORMS® EV3-Stein an.	5 min
3. Schreibt ein Programm, bei dem die Intensität des Umgebungslichts von einem der Lichtsensoren mehrfach gemessen, in einem Array gespeichert und auf dem Stein-Display angezeigt wird. Verwendet die Steintasten um euch die Werte nacheinander anzeigen zu lassen.	15 min
4. Verändert euer Programm nun so, dass der zweite Lichtsensor permanent rotes Licht ausstrahlt. Notiert euch die gemessenen Intensitätswerte ohne Probe und messt nun eine Probe mit mittlerer Verdünnung.	10 min
5. Vergleicht eure Messwerte mit denen der anderen Gruppen und diskutiert in Anbetracht der Messwertschwankungen über eine geeignete Zahl von Wiederholungsmessungen.	5 min
6. Erweitert euer Programm nun so, dass ihr alle Proben nacheinander mehrfach vermessen könnt ohne das Programm neu starten zu müssen. Verwendet die Steintasten um die jeweils nächste Messungen zu starten und euch die Messwerte nacheinander anzeigen zu lassen. Das Einbauen von Signaltönen hilft das Ende einer Messreihe zu erkennen. Ihr bekommt zusätzlich eine Probe mit einem euch unbekannten Mischungsverhältnis.	20 min
7. Rechnet eure Messwerte mit Hilfe des Lambert-Beerschen Gesetzes in Extinktionswerte um, subtrahiert den Wert der Leerprobe und stellt die Endergebnisse grafisch dar. Legt eine Ausgleichsgerade durch eure Messwerte und bestimmt deren Steigung. Berechnet das Mischungsverhältnis eurer zusätzlichen Probe und diskutiert eure Ergebnisse.	15 min

Tabelle 2: Unterrichtseinheit „Photometrie“: Arbeitsaufgaben und Durchführungsdauer

Hinweise zur Durchführung:

Indigocarmin ist als Lebensmittelfarbstoff zugelassen und somit in der Handhabung unbedenklich. Er eignet sich für dieses Experiment, da sein Absorptionsmaximum bei 608 nm liegt und so das rote Licht des EV3-Lichtsensors stark absorbiert. Der Farbstoff ist in vielen Formen erhältlich. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Tablette Heitmann IRIS-Eierfarbe in 250 ml heißem Wasser gelöst und daraus eine Verdünnungsreihe angesetzt. Idealerweise sind Carbonsäuren schon aus dem Chemieunterricht bekannt, damit ein geeignetes Strukturmodell zur Deutung der Lichtabsorption erarbeitet werden kann. Dieses Experiment könnte jedoch auch auf rein phänomenologischer Ebene durchgeführt werden ohne dass der Aufbau und die Ursache für die Lichtabsorption von Indigocarmin im Detail erläutert werden.

Für den Umgang mit Variablen und Arrays in der EV3-Software ist ggf. eine kurze Einführung nötig. Lichtsensoren und Steintasten sind hingegen durch erklärte Wahlmöglichkeiten relativ verständlich implementiert. Unter *Messen* muss einer der Lichtsensoren auf *Stärke des Umgebungslichts* und der auf *Stärke des reflektierten Lichts* eingestellt werden. Die Programmveränderung in Aufgabe 6 ist nicht obligatorisch, jedoch lässt sich der Messablauf dadurch beschleunigen und der Umgang mit einer weiteren Variable und verschachtelten Schleifen üben.

Das Lambert-Beersche Gesetz und das Umrechnen der Messwerte sollte erläutert werden, da das Rechnen mit Leerprobe und Logarithmus evt. Schwierigkeiten bereitet. Die Steigung der Messwerte war im Kontrollversuch annähernd linear bis zu einem Verhältnis von 1:3 (vgl. Abb. 2). Wenn die Verwendung eines Tabellenkalkulationsprogramms bereits geübt wurde, kann die Steigung der Ausgleichsgeraden natürlich auch von dem Programm bestimmt werden. Über die Geradengleichung kann nun das Mischungsverhältnis der zusätzlich ausgeteilten Proben ermittelt werden.

Musterlösungen:

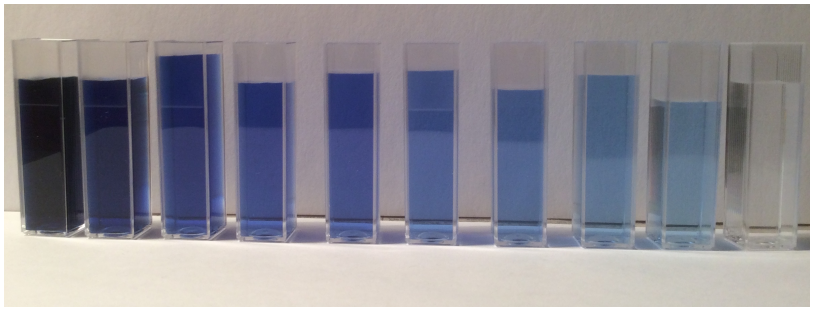

Abbildung 1: Verdünnungsreihe der Indigocarmin-Stammlösung. Von Links: Stammlösung, 1:1, 1:3, 1:5, 1:7, 1:11, 1:15, 1:23, 1:31, Leerprobe.

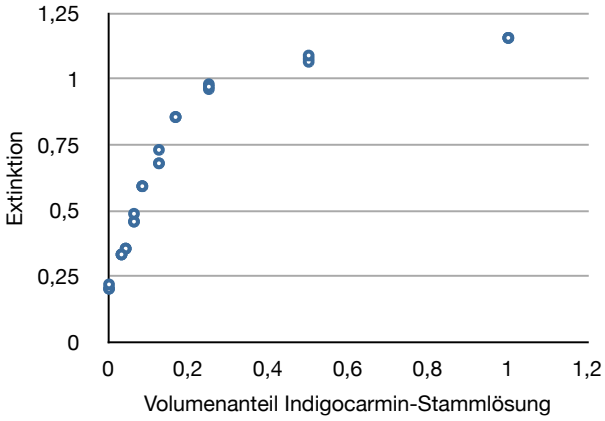

Abbildung 2: Extinktionswerte der Verdünnungsreihe der Indigocarmin-Stammlösung (jede Messung wurde 2x wiederholt). Annähernd linearer Anstieg bis zu einem Volumenanteil von 1:3 bzw. 0,25.

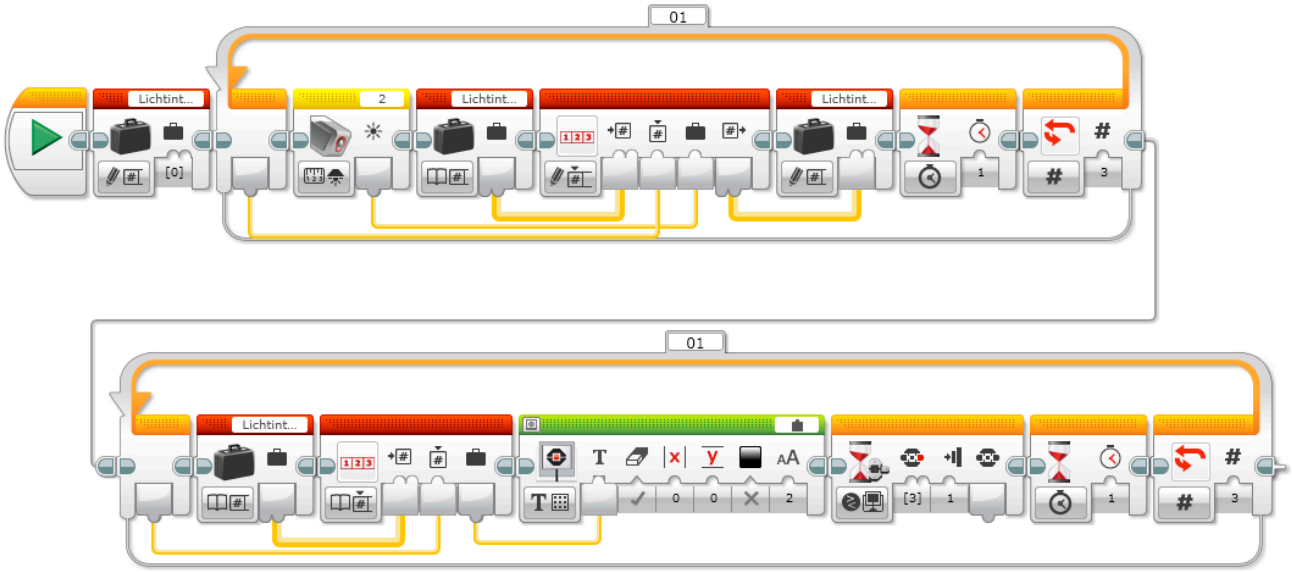

Abbildung 3: Beispiellösung für die Unterrichtseinheit „Photometrie“ Aufgabe 3: „Schreibt ein Programm, bei dem die Intensität des Umgebungslichts von einem der Lichtsensoren mehrfach gemessen, in einem Array gespeichert und auf dem Stein-Display angezeigt wird. Verwendet die Steintasten um euch die Werte nacheinander anzeigen zu lassen.“

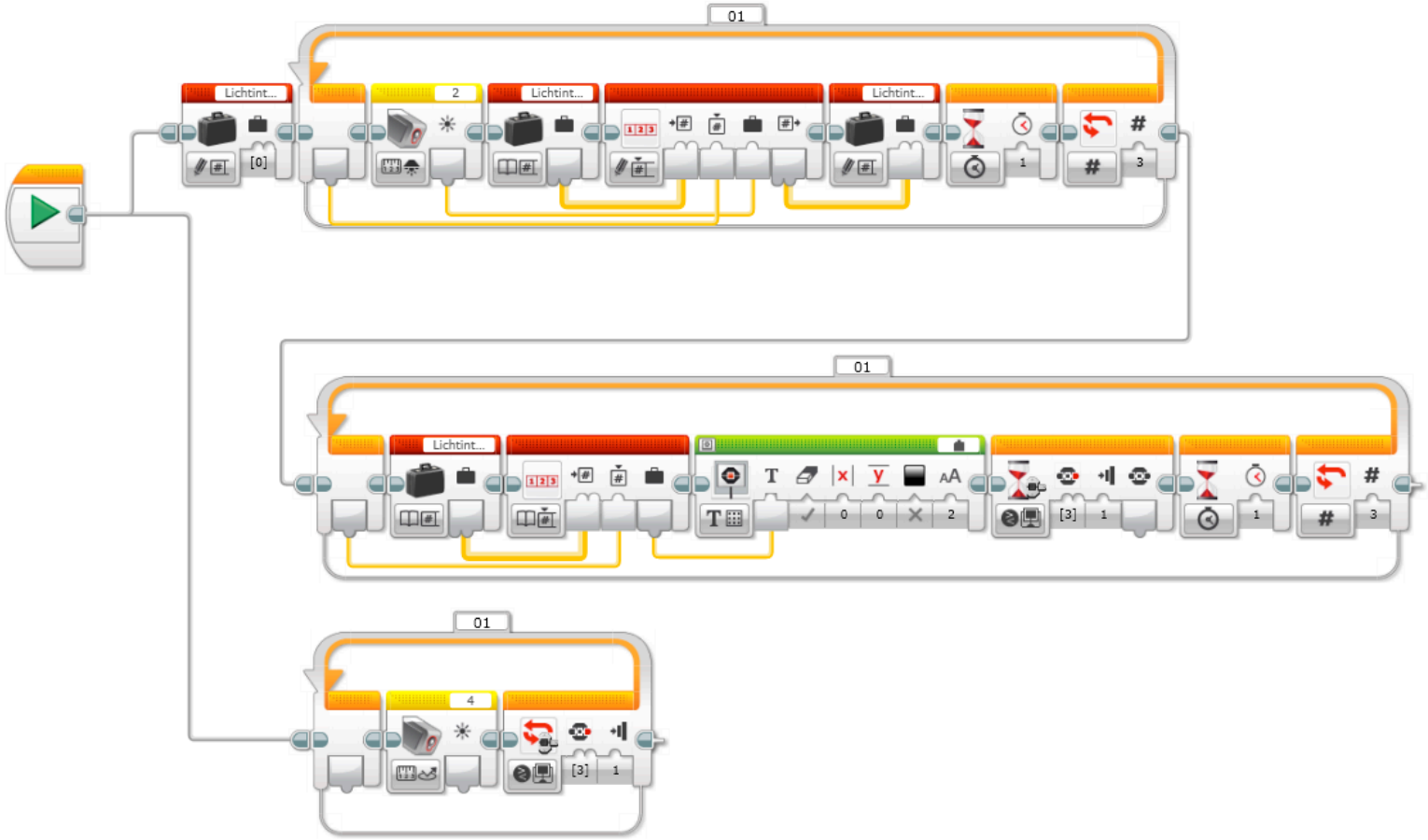

Abbildung 4: Beispiellösung für die Unterrichtseinheit „Photometrie“ Aufgabe 4: „Verändert euer Programm nun so, dass der zweite Lichtsensor permanent rotes Licht ausstrahlt. Notiert euch die gemessenen Intensitätswerte ohne Probe und messt nun eine Probe mit mittlerer Verdünnung.“

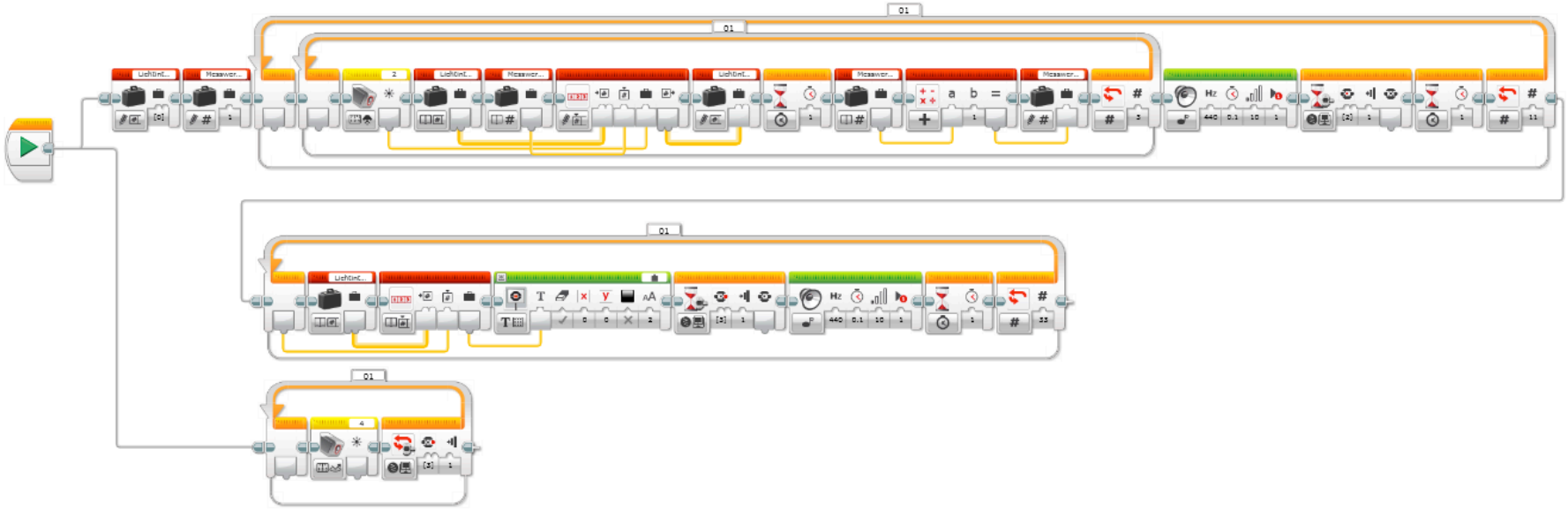

Abbildung 5: Beispiellösung für die Unterrichtseinheit „Photometrie“ Aufgabe 6: „Erweitert euer Programm nun so, dass ihr alle Proben nacheinander mehrfach vermessen könnt ohne das Programm neu starten zu müssen. Verwendet die Steintasten um neue Messungen zu starten und euch die Messwerte nacheinander anzeigen zu lassen.“

Tabellen:

Thema	Chemie		Informatik	
	Bildungsstandards	Rahmenlehrplan	GI-Standards	Rahmenlehrplan
Photometrie	F2.2, F3.1, E3, E6, K6, K7	3.7, 3.11, 2.1.2F, 2.1.3D,2.2.1D, 2.2.2FG, 2.2.4F, 2.3.2D, 2.3.3D	C1, C2, C3, C4, S1, S3, S4, S5	3.2, 3.4, 3.5, 3.9, 2.2G, 2.3DE, 2.5G, 2.6F

Tabelle 3: Berücksichtigte Basiskonzepte und -kompetenzen der Chemie und Informatik in der erarbeiteten Unterrichtseinheit, sowie deren Einordnung in die Themenfelder der zukünftigen Berliner Rahmenlehrpläne (Bildungsserver Berlin-Brandenburg, 2015a,b).

Informatik	Chemie
Information und Daten (C1)	Energie (F4), Stoff-Teilchen-Beziehungen (F1), Struktur-Eigenschafts-Beziehungen (F2)
Algorithmen (C2)	Stoff-Teilchen-Beziehungen (F1), Struktur-Eigenschafts-Beziehungen (F2), Chemische Reaktion (F3)
Sprachen und Automaten (C3)	Chemische Reaktion (F3)
Informatiksysteme (C4)	Energie (F4), Stoff-Teilchen-Beziehungen (F1), Struktur-Eigenschafts-Beziehungen (F2)
Informatik, Mensch und Gesellschaft (C5)	Energie (F4), Stoff-Teilchen-Beziehungen (F1), Struktur-Eigenschafts-Beziehungen (F2), Chemische Reaktion (F3)

Tabelle 4: Verknüpfung der Basiskonzepte (Inhaltsbereiche) der Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe I (Gesellschaft für Informatik e.V., 2008) mit Basiskonzepten (Kompetenzbereich Fachwissen (F)) der Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (KMK, 2004).

Informatik	Chemie
Modellieren und Implementieren (S1)	erkennen und entwickeln Fragestellungen, die [...] durch chemische Experimente zu beantworten sind (E1), planen geeignete Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen (E2), führen qualitative und einfache quantitative experimentelle und andere Untersuchungen durch [...] (E3)
Begründen und Bewerten (S2)	diskutieren und bewerten gesellschaftsrelevante Aussagen aus unterschiedlichen Perspektiven (B5), binden chemische Sachverhalte in Problemzusammenhänge ein [...] (B6)
Strukturieren und Vernetzen (S3)	stellen Zusammenhänge zwischen chemischen Sachverhalten und Alltagserscheinungen her [...] (K5), planen, strukturieren, reflektieren und präsentieren ihre Arbeit als Team (K10)
Kommunizieren und Kooperieren (S4)	beschreiben, veranschaulichen oder erklären chemische Sachverhalte [...] mit Hilfe von Modellen und Darstellungen (K4), dokumentieren und präsentieren den Verlauf und die Ergebnisse ihrer Arbeit [...] (K7)
Darstellen und Interpretieren (S5)	erheben bei Untersuchungen [...] relevante Daten oder recherchieren sie (E5), nutzen geeignete Modelle [...] um chemische Fragestellungen zu bearbeiten (E7)

Tabelle 5: Verknüpfung der Basiskompetenzen (Prozessbereiche) der Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe I (Gesellschaft für Informatik e.V., 2008) mit Basiskompetenzen (den Kompetenzbereichen Erkenntnisgewinnung (E), Kommunikation (K) und Bewertung (B)) der Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (KMK, 2004).

Roboteraufbau

EV3-Stein mit Küvettenhalterung

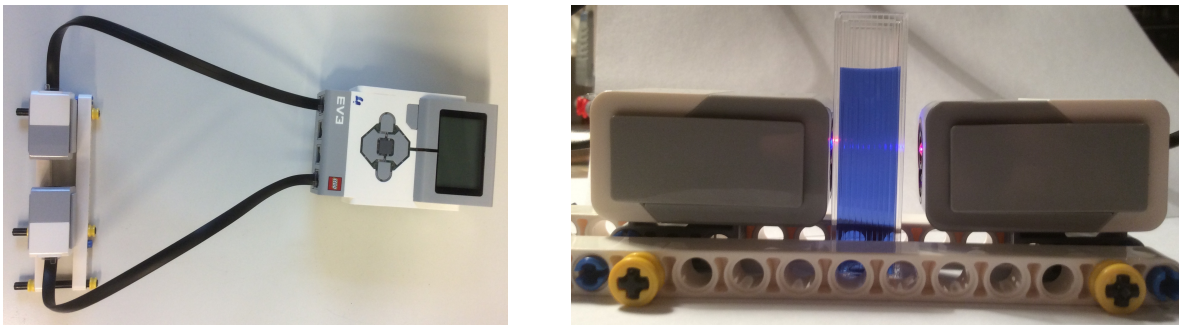

Abbildung 6: Stein mit zwei Lichtsensoren und Küvettenhalterung für photometrische Messungen.

Literatur

[Bildungsserver Berlin-Brandenburg 2015a] Bildungsserver Berlin-Brandenburg: *Rahmenlehrplan für die Jahrgangsstufen 1 –10 der Berliner und Brandenburger Schulen. Teil C: Chemie. Jahrgangsstufen 7 –10.* 2015. – URL http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fassung/Teil_C_Chemie_2015_11_10_WEB.pdf. – Zugriffsdatum: 31.12.16

[Bildungsserver Berlin-Brandenburg 2015b] Bildungsserver Berlin-Brandenburg: *Rahmenlehrplan für die Jahrgangsstufen 1–10 der Berliner und Brandenburger Schulen. Teil C: Informatik. Wahlpflichtfach. Jahrgangsstufen 7–10.* 2015. – URL http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fassung/Teil_C_Informatik_2015_11_10_WEB.pdf. – Zugriffsdatum: 31.12.16

[Gesellschaft für Informatik e.V. 2008] Gesellschaft für Informatik e.V.: *Grundsätze und Standards für die Informatik in der Schule.* 2008. – URL https://www.gi.de/fileadmin/redaktion/empfehlungen/Bildungsstandards_2008.pdf. – Zugriffsdatum: 31.12.16

[KMK 2004] KMK: *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004).* 2004. – URL https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf. – Zugriffsdatum: 31.12.16

[Kocanda u. a. 2010] Kocanda, Martin ; Wilke, Bryn M. ; Ballantine, David S.: Using LEGO MINDSTORMS NXT™ Robotics Kits as a Spectrophotometric Instrument. In: *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems* 3 (2010), Nr. 3