

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

Marlene Lindner¹, Sandra Schulz¹ und Niels Pinkwart¹

Abstract: Als Beitrag zu einer flächendeckenden informatischen Bildung kann sich eine Verknüpfung der Informatik mit anderen Schulfächern gewinnbringend auswirken. Mit Unterrichtseinheiten in *Physical Computing* ist es möglich den Erwerb von Basiskonzepten und -kompetenzen der Informatik in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren. In diesem Beitrag werden unter Berücksichtigung der Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz und der Gesellschaft für Informatik Verknüpfungsmöglichkeiten für die Sekundarstufe I aufgezeigt, die sich aus den Bildungsstandards ergeben. Anschließend werden zwei entwickelte Unterrichtseinheiten mit LEGO Mindstorms detailliert vorgestellt.

Keywords: MINT-Unterricht, Bildungsstandards, *Physical Computing*, LEGO Mindstorms.

1 Einleitung

1.1 Fächerübergreifender MINT-Unterricht

Im Allgemeinen kann ein fächerübergreifender Unterricht genutzt werden, um verschiedene Zugänge zu einer Thematik zu ermöglichen. Damit können bisher bestehendes Wissen gefestigt sowie zusammengehörige Inhalte miteinander verknüpft werden.

Kompetenzen in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik (MINT) sind in den letzten Jahren zunehmend als Schlüsselqualifikationen für den Einstieg in vielfältige Berufsmöglichkeiten identifiziert worden und eine grundlegende *Scientific Literacy* ist mittlerweile ein erklärtes Bildungsziel für SchülerInnen aller Schulformen [OE99, NG13]. Obwohl MINT-Fächer Gemeinsamkeiten in Bezug auf Problemlösung, Erkenntnisgewinnung und lebensweltliche Anwendung haben, werden sie in den meisten Curricula-Dokumenten der Welt getrennt aufgeführt [BB14]. Betrachtet man jedoch die Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz (KMK) für die Mathematik und die Naturwissenschaften bzw. die Standards der Gesellschaft für Informatik (GI) und des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) für die Informatik und die Technik, ergeben sich viele Verknüpfungsmöglichkeiten sowohl in Bezug auf den Erwerb von Basiskonzepten als auch Basiskompetenzen. Im Folgenden wird nun speziell auf inhaltliche und konzeptuelle Überschneidung der Informatik mit den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern eingegangen und Unterrichtseinheiten in *Physical Computing* präsentiert, die sowohl einen Lernzuwachs bzgl.

¹Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Informatik, Unter den Linden 6, 10099 Berlin, marlene.lindner@hu-berlin.de; saschulz@informatik.hu-berlin.de; niels.pinkwart@hu-berlin.de

Informatik als auch einem der weiteren Fächer ermöglichen sollen. *Physical Computing* beschäftigt sich mit interaktiven, physischen Objekten, in denen mithilfe von Sensoren und Aktuatoren ein Bezug zwischen virtueller und realer Welt hergestellt wird [OI04]. Zusätzlich bietet es die Möglichkeit, Informatik in den MNT-Unterricht zu integrieren [SP15].

Für Mathematik, Physik und Technik gibt es viele Unterrichtsbeispiele, die eine Verknüpfung zur Informatik herstellen und über die bloße Anwendung von Software hinausgehen. Es wurden jedoch keine Unterrichtsbeispiele gefunden, die explizit die deutschen Bildungsstandards berücksichtigen. LEGO Education bietet ausgearbeitete Unterrichtseinheiten für LEGO Mindstorms EV3-Roboter zum Verkauf an, die Inhalte aus Mathematik, Physik und Technik aufgreifen [Th16]. Vernier Software & Technology [Ve16] bietet eine Vielzahl an Sensoren an, um den Roboter für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht durch Inhalte wie z. B. Messungen des pH-Werts oder eines magnetischen Felds zu erweitern. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass frei verfügbare, deutschsprachige Unterrichtseinheiten, die als Ziel haben Informatik fächerbergreifend mit den MNT-Disziplinen zu unterrichten und die Bildungsstandards berücksichtigen, bisher kaum vorliegen. Daher werden im Folgenden mögliche Verknüpfungspunkte diskutiert und entsprechende Unterrichtseinheiten exemplarisch vorgestellt.

1.2 Bildungsstandards und Rahmenlehrpläne der MINT-Fächer

Seit 2003 liegen von der KMK „Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Mittleren Schulabschluss“ vor [KMc] und seit 2004 gibt es auch Bildungsstandards für Biologie, Chemie und Physik [KMa, KMb, KMd]. Sie finden starke Berücksichtigung in den jeweiligen Rahmenlehrplänen der Bundesländer. Für den Informatikunterricht an deutschen Schulen gibt es keine von der KMK verfassten Bildungsstandards. Bisher wurde ein erster Ansatz im Strategiepapier „Bildung in der digitalen Welt“ formuliert, das jedoch nicht konkret auf den Informatikunterricht eingeht [KM16]. Die GI hat 2008 unter „Grundsätze und Standards für die Informatik in der Schule“ [Ge08] sogenannte Mindeststandards für die Sekundarstufe I veröffentlicht, die als methodische und inhaltliche Empfehlung für den Informatikunterricht z. B. in dem aktuellen Rahmenlehrplan von Berlin berücksichtigt sind [Se06]. Da die KMK auch keine Bildungsstandards für das Fach Technik veröffentlicht hat, hat der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 2007 „Bildungsstandards Technik für den Mittleren Schulabschluss“ konzipiert [VD07]. Bisher konnte sich in den Bildungsstandards und Rahmenlehrplänen der MINT-Fächer noch keine einheitliche Terminologie für grundlegende Konzepte und Kompetenzen durchsetzen. Im Folgenden wird der Begriff „Basiskonzepte“ für Inhaltsbereiche, inhaltsbezogene Kompetenzen, Kompetenzbereich Fachwissen und Leitideen verwendet, wohingegen mit „Basiskompetenzen“ Prozessbereiche, allgemeine Kompetenzen und die Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung beschrieben werden. Im Rahmen dieses Beitrags kann jedoch nicht näher auf die Verknüpfungspunkte in den Bildungsstandards bzgl. der Basiskompetenzen eingegangen werden.

2 Mögliche Verknüpfungspunkte in den Bildungsstandards bzgl. der Basiskonzepte

Als Basiskonzepte der **Informatik** hat die GI folgende fünf Bereiche identifiziert: „Information und Daten“ (C1), „Algorithmen“ (C2), „Sprachen und Automaten“ (C3), „Informatiksysteme“ (C4) und „Informatik, Mensch und Gesellschaft“ (C5). Im Folgenden werden exemplarisch berschneidungspunkte zu MN-Fchern aufgezeigt, die in Tab. 1 zusammengefasst sind. Fr den **Mathematik**-Unterricht lassen sich die Konstruktion und Berechnung von geometrischen Strukturen und das kartesische Koordinatensystem in „Raum und Form“ (L3) mit C1 vernetzen. Dies sind Grundlagen für das Erfassen von Daten und Informationen in Grafiken und Graphen. Dafür kann ein Grafikprogramm Anwendung finden. In der **Biologie** ist ein wesentlicher Aspekt des Basiskonzepts „System“ (F1) die Steuerung, Regelung und Informationsverarbeitung in lebenden Systemen. Es lässt sich mit (C3) z. B. durch das EVA-Prinzip und Zustände der Automatentheorie verknüpfen. „Entwicklung“ (F3) beinhaltet die Auseinandersetzung mit artspezifischer Individualentwicklung und evolutionärer Entwicklung, wobei Mutation, Selektion und Variabilität behandelt werden. Das Beschreiben der Eigenschaften bedeutsamer Stoffe in der **Chemie** ist ein Kernthema von „Stoff-Teilchen-Beziehungen“ (F1), wohingegen in „Struktur-Eigenschafts-Beziehungen“ (F2) das Ableiten von Stoffeigenschaften aus dessen Struktur betrachtet wird. In „Chemische Reaktion“ (F3) verlangt das Erstellen von ausgeglichenen Reaktionsgleichungen (F3.4) quantitatives Verständnis, was auch für die daraus abgeleiteten Handlungsvorschriften für Experimente relevant ist. „Energetische Betrachtung bei Stoffumwandlung“ (F4) betrachtet Energieformen und Energieaustausch mit der Umgebung. Energieumwandlung und die Abhängigkeit von Reaktionsbedingungen und Katalysatoren (F4.3) ist auch relevant für einige Komponenten in Informatiksystemen (C4), wie z. B. Sensoren oder Elemente zur Kühlung von Rechneranlagen. Das Materiekonzept in **Physik** lässt sich lediglich mit C4 in Bezug auf Hardwarekomponenten von Informatiksystemen und deren Kenngrößen verbinden. Das Wechselwirkungskonzept lässt sich hingegen mit fast allen Basiskonzepten der Informatik verknüpfen. Die newtonsche Mechanik, Optik, sowie elektrische und magnetische Felder sind für die Eingabe-, Verarbeitungs- und Ausgabegeräte von Informatiksystemen (C4) von Bedeutung, beeinflussen aber auch Wechselwirkungen zwischen Informatik, Mensch und Gesellschaft (C5).

3 Exemplarische Unterrichtseinheiten im Physical Computing

Aufgrund der herausgearbeiteten berschneidungen erscheint Physical Computing als geeigneter Lerngegenstand, um eine Verknüpfung sinnvoll umzusetzen. Folgende Beispiele für Unterrichtseinheiten im *Physical Computing* sollen es ermöglichen, den Erwerb von Basiskonzepten und -kompetenzen der Informatik in den naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren. Dabei geht es nicht darum, besonders vielschichtige, komplexe Aufgaben zu stellen, sondern vielmehr Beispiele aufzuzeigen, die sowohl in den normalen Fachunterricht als auch in den Projektunterricht eingebunden werden können und in Bezug auf Zeit und Material keine großen Herausforderungen darstellen. Auf Sensoren, die nicht in der Standardverkaufseinheit der LEGO Mindstorms EV3-Roboter enthalten

Informatik	Mathematik	Biologie	Chemie	Physik
Information und Daten (C1)	Zahl (L1), Messen (L2), Raum und Form (L3), Funktionaler Zusammenhang (L4), Daten und Zufall (L5)	System (F1), Struktur und Funktion (F2), Entwicklung (F3)	Energie (F4), Stoff-Teilchen-Beziehungen (F1), Struktur-Eigenschafts-Beziehungen (F2)	Wechselwirkung, Energie
Algorithmen (C2)	Zahl (L1), Raum und Form (L3), Funktionaler Zusammenhang (L4), Daten und Zufall (L5)	System (F1), Struktur und Funktion (F2)	Stoff-Teilchen-Beziehungen (F1), Struktur-Eigenschafts-Beziehungen (F2), Chemische Reaktion (F3)	Wechselwirkung, System
Sprachen und Automaten (C3)	Zahl (L1), Funktionaler Zusammenhang (L4)	System (F1), Struktur und Funktion (F2)	Chemische Reaktion (F3)	System
Informatikssysteme (C4)	Funktionaler Zusammenhang (L4)	System (F1), Struktur und Funktion (F2), Entwicklung (F3)	Energie (F4), Stoff-Teilchen-Beziehungen (F1), Struktur-Eigenschafts-Beziehungen (F2)	Materie, Wechselwirkung, System, Energie
Informatik, Mensch und Gesellschaft (C5)	Raum und Form (L3), Funktionaler Zusammenhang (L4), Daten und Zufall (L5)	System (F1), Struktur und Funktion (F2), Entwicklung (F3)	Energie (F4), Stoff-Teilchen-Beziehungen (F1), Struktur-Eigenschafts-Beziehungen (F2), Chemische Reaktion (F3)	Wechselwirkung, Energie

Tab. 1: Verknüpfung der Basiskonzepte (Inhaltsbereiche) der Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe I [Ge08] mit Basiskonzepten (inhaltsbezogenen Kompetenzen, Kompetenzbereich Fachwissen (F), Leitideen (L)) der Bildungsstandards im Fach Mathematik, Biologie, Chemie und Physik für den Mittleren Schulabschluss [KMc, KMa, KMb, KMd].

sind, wird bewusst verzichtet. Auch wird auf die Umsetzbarkeit jeder 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. Bei den meisten Aufgaben bietet es sich an, mit bereits zusammengebauten Robotern zu arbeiten. Für einen selbstständigen Zusammenbau müssten zusätzlich ca. 30 min eingeplant werden. Weitere Unterrichtsbeispiele der MINT-Fächer sowie Unterrichtsmaterialien werden unter https://cses.informatik.hu-berlin.de/de/for_schools/ zur Verfügung gestellt.

3.1 Unterrichtseinheit in der Biologie: Informationsverarbeitung

Klassenstufe:	9 (abhängig von der Schulform)
Vorwissen in Informatik:	Kenntnisse von algorithmischen Grundstrukturen
Informatische Inhalte:	Roboter als Informatiksysteme, Implementieren von Algorithmen, Verarbeitung elektrischer Größen (<i>Physical Computing</i>)
Robotertyp:	Standardfahrzeug der LEGO Mindstorms EV3-Roboter mit zwei Lichtsensoren
Zusätzliches Material:	Taschenlampen

Tab. 2: Aufgabenprofil der Unterrichtseinheit „Informationsverarbeitung“

Für alle Organismen ist die Verarbeitung von Informationen aus ihrer Umwelt von zentraler Bedeutung für Nahrungs- und Partnersuche. Sogenannte Reiz-Reaktions-Zusammenhänge sind mitunter sehr komplex, abhängig von vielen Faktoren und somit schwer zu verstehen (vgl. EVA-Prinzip der Informatik). Braitenberg-Vehikel hingegen haben eine sehr einfache Struktur (Abb. 1), verdeutlichen aber die Vielfalt, die schon mit einfachen neuronalen Strukturen erzeugt werden kann. Zwei Sensoren werden auf unterschiedliche Weise (inhibitorisch oder exzitatorisch) mit zwei Motoren gekoppelt und erzeugen somit ein „Verhalten“, das unterschiedlichen Emotionen bzw. Verhaltensstrategien zugeordnet werden kann. Mit LEGO Mindstorms EV3-Robotern können Braitenberg-Vehikel nachgebaut und beobachtet werden. Der Fokus dieser Unterrichtseinheit bzgl. Biologie liegt somit auf der Erklärung der Variabilität von Lebewesen (Basiskonzept „Entwicklung“ (F3)) durch den Einsatz eines Modells (Basiskompetenz E10). Innerhalb der Informatik wird insbesondere das Verstehen und Anwenden von Informatiksystemen adressiert. Schleifen und Schalter werden als bekannt voraus gesetzt. Bei Aufgabe 1 ist abhängig vom Umgebungslicht ein geeigneter Schwellwert für den Lichtsensor zu finden. Als Programmierblock für den Motor sollte *Hebelsteuerung* mit *An für n Sekunden* und *Am Ende Bremsen: Falsch* gewählt werden. Rauschen ist ein wichtiger Aspekt bei der Informationserfassung und -verarbeitung, sowohl in der Technik als auch in lebenden Organismen. In diesem Zusammenhang sollte kurz auf das Nervensystem des Menschen eingegangen werden und erläutert werden, dass Synapsen auch zufällig feuern, wodurch sich ein Rauschen bei der Reizübertragung ergibt. Des Weiteren kann bei der Verarbeitung elektrischer Größen auf Messunsicherheiten eingegangen und Algorithmen zur Fehlerminimierung entwickelt werden. Im Rahmen von Aufgabe 2 kann Rauschen mit dem Programmierblock

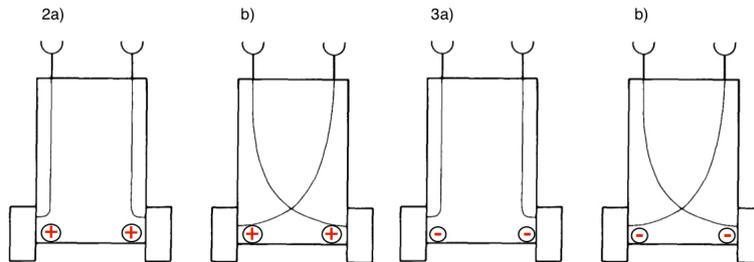


Abb. 1: Braitenberg-Vehikel als Modellkonstrukte für die Informationsverarbeitung in einfachen Organismen: Zwei Sensoren werden auf unterschiedliche Weise (inhibitorisch oder exzitatorisch) mit zwei Motoren gekoppelt und erzeugen somit ein „Verhalten“, das unterschiedlichen Emotionen zugeordnet werden kann. 2a) Angst b) Aggression; 3a) Liebe b) Entdeckungslust [Br84].

Zufall simuliert werden. Bei der Chemotaxis z. B. peritrich begeißelter Bakterien wechseln sich Vorwärtsbewegung entlang eines Stoffkonzentrationsgradienten und zufällige Tauselbewegungen ab, die eine Richtungsänderung ermöglichen, wenn die Stoffkonzentration sinkt. Die Geschwindigkeit bei der Phototaxis soll bei Aufgabe 3 proportional zu der Lichtintensität steigen – dies ist ein Braitenberg-Vehikel vom Typ I [Br84]. Für eine ef-

Aufgabe	Zeit
1. Lasst euren Roboter geradeaus auf euch zufahren, wenn ihr ihn mit einer Taschenlampe anstrahlt. Sobald die Taschenlampe aus ist, soll er anhalten und warten. Verwendet zunächst nur einen der Lichtsensoren.	10 min
2. Lasst euren Roboter sich zufällig leicht nach rechts und links bewegen, wenn er wie unter 1. auf euch zu fährt.	10 min
3. Lasst euren Roboter nun schneller auf euch zufahren, wenn ihr ihn direkt anstrahlt und langsamer werden, wenn die Lichtquelle weiter entfernt ist. Vergleicht das Verhalten eures Roboters mit der Chemotaxis von Bakterien. Was muss für eine effektive Phototaxis des Roboters verändert werden?	15 min
4. Baut euer Programm nun so um, dass beide Lichtsensoren gleichzeitig messen und jeweils einen der Motoren ansteuern. Testet, ob sich eurer Roboter nun Lichtquellen zuwendet, die nicht direkt vor ihm sind.	15 min
5. Schreibt nun ein Programm für ein weiteres Braitenberg-Vehikel und testet seine Reaktion auf eine Lichtquelle. Von welchen Tieren würdet ihr eine vergleichbare Reaktion erwarten?	15 min
6. Dunkelt den Raum nun ab und schafft eine große freie Fläche, auf der ihr eure Braitenberg-Vehikel aussetzt. Erzeugt einen Lichtkegel etwa in der Mitte der Fläche und beobachtet das Verhalten aller Roboter. Ordnet ihr Verhalten jeweils Typen von Braitenberg-Vehikel zu und diskutiert Verbesserungsmöglichkeiten bei der Umsetzung. Ändert ggf. das Programm eures Roboters und setzt ihn erneut auf die Freifläche.	15 min

Tab. 3: Unterrichtseinheit „Informationsverarbeitung“: Arbeitsaufgaben und Durchführungsdauer

fektive Phototaxis fehlt noch die Implementation einer Bewegungsrichtungsänderung. Für Aufgabe 4 gibt es mehrere Lösungsmöglichkeiten. Zwei parallele Schleifen mit jeweils einem einzelnen Motor lassen sich hierbei gut umsetzen. Dies ist nun das „aggressive“ Braitenberg-Vehikel (Typ 2b). Die Braitenberg-Vehikel sollten mit Abb. 1 kurz vor-

gestellt werden und bei Aufgabe 5 sollte jeder Vehikel-Typ von mindestens einer Gruppe bearbeitet werden, wobei der Typ 2a) sehr einfach aus 2b) ableitbar ist. Durch die inhibitorische oder exzitatorische Verknüpfung der zwei Sensoren mit den beiden Motoren können vier unterschiedliche Verhaltensmuster erzeugt werden: einige Roboter fliehen vor dem Licht, andere greifen den Lichtkegel an, einige bleiben darin stehen und wieder andere betrachten den Lichtkegel kurz und ziehen dann weiter. Diese Verhaltensmuster werden mitunter Emotionen zugeordnet. Hier ist jedoch für einen sprachbewussten Biologieunterricht wichtig, den Unterschied zwischen Verhalten und Emotionen zu verdeutlichen und im Ausdruck auf das Vermeiden von Begriffen zur Vermenschlichung der Roboter zu achten. Tiere, die mitunter vergleichbares Verhalten zeigen, sind z. B. Kellerassel (2a), Motte (2b), Eidechse (3a) und Katze (3b). Bei Aufgabe 6 werden sich Zusammenstöße nicht ganz vermeiden lassen und die Typen 2a) und 3b) müssen eingefangen werden, bevor sie in dunklen Ecken des Raumes verschwinden bzw. gegen die Wand fahren.

3.2 Unterrichtseinheit in der Chemie: Photometrie

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, <i>Physical Computing</i>
Robotortyp:	LEGO Mindstorms EV3-Stein mit zwei Lichtsensoren
Zusätzliches Material:	Küvetten und Küvettenhalterung, Lebensmittelfarbe (z. B. E132), Wasser, Pipetten, Bechergläser

Tab. 4: Aufgabenprofil der Unterrichtseinheit „Photometrie“

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 Quotienten der Intensität des Lichtstrahls vor (I_0) und nach (I_1) dem Durchtritt durch die Lösung. 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 d des Lichtstrahls in der Lösung. Der Proportionalitätsfaktor ε wird als stoffspezifischer, molarer Extinktionskoeffizient bezeichnet. So ergibt sich das Lambert-Beersche Gesetz mit:

$$E = \log\left(\frac{I_0}{I_1}\right) = \varepsilon \cdot c \cdot d \quad (1)$$

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 $632 \text{ nm} \pm 3 \text{ nm}$ erzeugen kann. Diese Unterrichtseinheit orientiert sich an dem Artikel „Using LEGO MINDSTORMS NXT™ Robotics Kits as a Spectrophotometric Instrument“ [KWB10], 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)). Indigocarmin ist als Lebensmittelfarbstoff

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 Messung 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 unbekanntem Mischungsverhältnis.	20 min
7. Rechnet eure Messwerte mithilfe 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

Tab. 5: Unterrichtseinheit „Photometrie“: Arbeitsaufgaben und Durchführungsdauer

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-Lichtensors stark absorbiert. Der Farbstoff ist in vielen Formen erhältlich. Im Rahmen dieses Beispiels 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. Der Zusammenhang von Informationen und Daten sollte als Dimension der Informatik thematisiert 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. Hier



Abb. 2: Aufbau des Experiments mittels Stein, zwei Lichtsensoren und Kvettenhalterung für photometrische Messungen

sollten aus informatischer Sicht Sensorik, Möglichkeiten der Informationsaufnahme und die Funktionsweise des konkreten Sensors besprochen werden. Die Programmveränderung in Aufgabe 6 ist fakultativ, 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 ggf. Schwierigkeiten bereitet. Die Steigung der Messwerte war in einem Kontrollversuch annähernd linear bis zu einem Verhältnis von 1:3. 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.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Frei verfügbare, deutschsprachige Unterrichtseinheiten, die als Ziel haben, Informatik fächerübergreifend mit den MNT-Fächern zu unterrichten sowie die konkrete Einbettung in Rahmenlehrpläne, sind rar. Neben den präsentierten Unterrichtseinheiten wurden auch Einheiten zu rationalen Zahlen, ebenen Figuren (Dreiecken und Vierecken), Steuerung und Regelung (Homöostase durch negative Rückkopplung) der thermischen Zustandsgleichung idealer Gase, gleichförmiger Bewegung und gedämpften mechanischen Schwingungen ausgearbeitet. Ob sich diese Unterrichtseinheiten positiv auf die Motivation und die Kompetenzentwicklung von SuS auswirken, ist zu überprüfen. Sie bieten in jedem Fall die Möglichkeit, erste Pilot-Studien durchzuführen und werden interessierten LehrerInnen als OER frei zur Verfügung gestellt. Zur Überprüfung der Einsetzbarkeit der vorgeschlagenen Aufgaben sollten diese zunächst in kleinen Gruppen z. B. an Projekttagen mit SchlerInnen getestet und anschließend ihr Einsatz im Regelunterricht erprobt werden. Im Frühjahr 2017 wurde das Beispiel zur Biologie (Abschnitt 3.1) mit 7 Schlerinnen der 9. Klasse durchgeführt. Diese gaben anschließend an, dass sie dem Kurs gut folgen konnten und sich wünschen würden, diese Inhalte mit Robotern in der Schule zu behandeln.

Unser Dank gilt dem Humboldt-ProMINT-Kolleg für anregende Gespräche und inhaltliche Unterstützung bei der Entwicklung der Unterrichtseinheiten.

Literaturverzeichnis

- [BB14] Banks, Frank; Barlex, David: Teaching STEM in the Secondary School. Taylor & Francis Ltd, 2014.
- [Br84] Braitenberg, Valerio: Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology. MIT University Press Group Ltd, 1984.
- [Ge08] Gesellschaft für Informatik e.V.: Grundsätze und Standards für die Informatik in der Schule. https://www.gi.de/fileadmin/redaktion/empfehlungen/Bildungsstandards_2008.pdf. – Zugriffsdatum: 31.12.16, 2008.
- [KMa] KMK: Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004).
- [KMb] KMK: Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004).
- [KMc] KMK: Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Mittleren Schulabschluss (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 04.12.2003).
- [KMd] KMK: Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004).
- [KM16] KMK: Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2016/Bildung_digitale_Welt_Webversion.pdf – Zugriffsdatum: 31.12.16, 2016.
- [KWB10] Kocanda, Martin; Wilke, Bryn M.; Ballantine, David S.: Using LEGO MINDSTORMS NXT™ Robotics Kits as a Spectrophotometric Instrument. International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, 3(3), 2010.
- [NG13] NGSS Lead States: Next Generation Science Standards. <http://nextgenscience.org>. – Zugriffsdatum: 31.12.16, 2013.
- [OE99] OECD: Measuring Student Knowledge and Skills – A New Framework for Assessment. <http://www.oecd.org/edu/school/programmeforinternationalstudentassessmentpisa/33693997.pdf> – Zugriffsdatum: 31.12.16, 1999.
- [OI04] O’Sullivan, Dan; Igoe, Tom: Physical Computing: sensing and controlling the physical world with computers. Course Technology Press, 2004.
- [Se06] Senatsverwaltung für Bildung, Sport und Jugend Berlin: Rahmenlehrplan für die Sekundarstufe I. Jahrgangsstufe 7–10. ITG Informatik als Wahlpflichtfach. 2006.
- [SP15] Schulz, Sandra; Pinkwart, Niels: Physical Computing in STEM Education. In: Proceedings of the Workshop in Primary and Secondary Computing Education. WiPSCE ’15, ACM, New York, NY, USA, S. 134–135, 2015.
- [Th16] The LEGO Group: LEGO MINDSTORMS Education EV3; Aufgaben für den MINT-Unterricht. https://le-www-live-s.legocdn.com/sc/media/files/curriculum/le_ev3_aufgaben_fuer_unterricht-30d0cec3ed3ce82fe35811eed0b42a2e.pdf. – Zugriffsdatum: 31.12.16, 2016.
- [VD07] VDI: Bildungsstandards Technik für den Mittleren Schulabschluss. https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/sk_dateien/VDI%20Bildungsstandards_2007.pdf. – Zugriffsdatum: 31.12.16, 2007.
- [Ve16] Vernier Software & Technology: Vernier Engineering Projects with LEGO MINDSTORMS Education EV3. <http://www.vernier.com/products/books/ep-ev3/>. – Zugriffsdatum: 31.12.16, 2016.