

Lichtharfe - ein interdisziplinäres Unterrichtsprojekt

David Baumgärtel¹, Christopher Bednorz², Bastian Boger³, Leonore Dietrich⁴, Jan Hofmann⁵, Hannes Koderisch⁶, Anna Pössniker⁷ und Oliver Schuppe⁸

Abstract: Dieser Beitrag stellt ein interdisziplinäres Unterrichtsprojekt aus dem Bereich Physical Computing vor, das auf Basis eines Arduinos eine elektronische Harfe realisiert. Durch seinen modularen Aufbau ist das Projekt vielfältig realisierbar und damit in die äußerst heterogene Landschaft des Informatik- und auch Naturwissenschaftlichen Unterrichts in Deutschland sehr gut integrierbar. Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten sich vielfältige technische Kenntnisse, verknüpfen diese mit Programmierung und Gestaltung und lernen ein Informatiksystem als sichtbares, erlebbares System kennen, das sie selbst erschaffen und in der Schulgemeinschaft sichtbar gemacht haben.

Keywords: Arduino, Interdisziplinär, Projekt, STEAM

1 Einleitung

Bei einer Lichtharfe handelt es sich um ein rechnergesteuertes Instrument, das einer elektronischen Harfe ähnelt. Die Saiten werden durch Lichtschranken ersetzt, die vom Musiker unterbrochen werden. Der Ton wird elektronisch erzeugt, die Steuerung erfolgt über einen Arduino. Motiviert wurde dieses Projekt durch die Idee, fächerübergreifend zu arbeiten und künstlerische Aspekte mit einzubinden. Als Vorbilder dienten hier das Projekt Lichtharfe mit AVR ATMegal6.3gp [Er11], das für eine Ausstellung entstand und das Projekt My Interactive Garden [PR13] als schulisches Physical Computing Projekt. Der Anreiz bestand darin, das zunächst sehr komplex erscheinende Lichtharfen-Projekt auch auf den Schulkontext abzubilden.

Beim Bau der Harfe erwerben Schüler grundlegende Kenntnisse zu elektronischen Schaltungen, die Programmierung des Arduinos bietet einen einfachen und schülergerechten Einstieg in die Arbeit mit Mikrocontrollern und bietet

¹ Universität Heidelberg, INF, 69120 Heidelberg, D.Baumgaertel@stud.uni-heidelberg.de

² Universität Heidelberg, INF, 69120 Heidelberg, Bednorz@stud.uni-heidelberg.de

³ Universität Heidelberg, INF, 69120 Heidelberg, Boger@stud.uni-heidelberg.de

⁴ Universität Heidelberg, Didaktik der Informatik, 69120 Heidelberg, Leonore.Dietrich@uni-heidelberg.de

⁵ Universität Heidelberg, INF, 69120 Heidelberg, Hofmann@stud.uni-heidelberg.de

⁶ Universität Heidelberg, INF, 69120 Heidelberg, Koderisch@stud.uni-heidelberg.de

⁷ Universität Heidelberg, INF, 69120 Heidelberg, Poessniker@stud.uni-heidelberg.de

⁸ Universität Heidelberg, INF, 69120 Heidelberg, Schuppe@stud.uni-heidelberg.de

Anknüpfungspunkte zu Fächern wie Physik und Naturwissenschaft/Technik: Es müssen Sensorwerte eingelesen, verarbeitet und passende Töne erzeugt werden. Ebenso spielen Design und Entwicklung des Instrumentes eine Rolle und legen eine Kooperation mit dem Musikunterricht sowie die Konstruktion des Gehäuses über handwerkliche Fähigkeiten eine Zusammenarbeit mit künstlerischen Fächern nahelegt.

Die Lichtharfe zeigt, wie sich verschiedene und oftmals getrennt behandelte Themen sowie einander scheinbar ferne Fachbereiche und heterogene Schülerinteressen verbinden lassen. Die Entwicklung der Hard- und Software ermöglicht, den Unterrichtsgegenstand sowohl geistig als auch haptisch zu "begreifen". Insbesondere der künstlerische Anteil motiviert auch eine neue Schülergruppe für informatische Themen [Ta10]. Der Einsatz des Instrumentes innerhalb schulischer AGs wie Theater oder Orchester macht Informatik sichtbar und bringt sie in einen schulgemeinschaftlichen Kontext, der eine hohe Motivation für die Schüler bedeutet.

2 Rahmenbedingungen

Das Gesamtprojekt lässt sich je nach den möglichen organisatorischen Rahmenbedingungen sehr gut modularisieren. Dies eröffnet eine Umsetzung im Rahmen einer AG, eines Projektes in einer Kompaktphase oder auch die Integration in den Fachunterricht eines oder sogar mehrerer kooperierender Fächer. Um diese Modularisierung angemessen zu dokumentieren, weisen die einzelnen Abschnitte entsprechende Vermerke zu Minimalanforderungen und optionalen Komponenten bzw. Umsetzungsschritten auf.

3 Fachliche Voraussetzungen

Das nötige Basiswissen für das Projekt Lichtharfe kann größtenteils während der Bearbeitung erworben werden – in diesem Fall muss hierfür zusätzlich Zeit eingeräumt und enger angeleitet werden. Wir gehen von einer Schülergruppe am Ende der Mittelstufe aus, die die entsprechenden Fähigkeiten mitbringt, sodass nur eine Auffrischung der Kenntnisse notwendig ist. Daher werden die fachlichen Voraussetzungen für das eigentliche Projekt an dieser Stelle nur kurz erläutert. Da die Autoren des Beitrags in Baden-Württemberg unterrichten, wurden die hier gültigen Lehrpläne auf die Voraussetzungen hin untersucht und es wurde festgestellt, dass diese spätestens nach Klasse 8 bei allen Schülern vorhanden sein müssten.

3.1 Physik

Die Schülerinnen und Schüler benötigen für die Arbeit mit dem Arduino und die Konstruktion der Lichtharfe grundlegende Kenntnisse zu Schaltkreisen. Diese können beispielsweise im ersten Teil des Projekts – dem Bau eines Mini-Prototypen – erworben werden, sofern dieser dann enger angeleitet wird. Alternativ verweisen wir auf das Einstiegsmodul aus dem Projekt Informatik Enlightened [EKQ13], das alle wesentlichen Grundlagen zum Umgang mit Schaltkreisen behandelt.

Darüber hinaus werden geringe Kenntnisse aus dem Bereich der Optik vorausgesetzt – hier konkret der Umgang mit Linsen und deren Eigenschaften zur Bündelung von Licht. Die für das Projekt nötigen Kenntnisse sind mit einem Arbeitsblatt zur Brennweite vollumfassend gegeben und können gut auch innerhalb des Projekts ohne großen zusätzlichen Zeitaufwand erworben werden. In Baden-Württemberg sind diese Themen Inhalt des Physikunterrichts in Klasse 7.

3.2 Informatik

Für die Realisierung der Lichtharfe müssen Sensorwerte gelesen und ausgewertet, sowie auf diese mithilfe von Verzweigungen reagiert werden. Die grundlegenden Konzepte einer Wiederholung, Verzweigung, im fortgeschrittenen Modul auch switch/case Anweisungen sowie der Umgang mit Bibliotheken sind notwendig. Ein Verständnis für digitale und analoge Werte sowie ggf. deren Umrechnung sind ebenso hilfreich wie Erfahrungen im Umgang mit Variablen. Vorerfahrungen in Form eines Einstiegs in Programmierung sind daher von Vorteil, allerdings können sämtliche Programmierkenntnisse in der Arduino Umgebung wenn nötig ebenfalls im Rahmen der Einführungsstation des Projekts Informatik Enlightened [EKQ13] mit einem Zeitaufwand von etwa einer Doppelstunde erworben werden. Je nach Lerngruppe wird der Betreuungsaufwand dann gegebenenfalls größer oder eine weitere Station als Übungsprojekt zwischengeschaltet. Je geringer das Vorwissen im Programmierbereich ist, desto wichtiger werden Hilfestellungen wie Beispielcodes, Arbeitsblätter und erläuternde Unterrichtsbestandteile.

3.3 Konstruktive Fähigkeiten

Insbesondere für den Bau des Gehäuses werden auch handwerkliche Fähigkeiten benötigt. Hierbei können Zuschnitte natürlich auch direkt bei der Materialbeschaffung passend erfolgen, zumindest Bohren in Holz, Einsenken bzw. Versäubern von Bohrlöchern sowie Schrauben und Leimen müssen aber in Eigenarbeit erfolgen. Hier bietet sich eine Kooperation beispielsweise mit dem Werk- oder Kunstunterricht an. Je nach Bundesland haben die Schüler auch im Rahmen von Querschnittsfächern bereits Erfahrungen gesammelt – in Baden-Württemberg beispielsweise während ihres NWT-

Projekts in Klasse 8.

4 Organisatorische Bedingungen

Das Projekt ist an unterschiedlichste Organisationsformen anpassbar. So kann es mit einer kleineren Schülergruppe in einer individuellen Lernphase, mit einer AG im Ergänzungsbereich oder auch mit einer ganzen Lerngruppe im Regelunterricht bis hin zu einer Projektwoche mit fächer- und jahrgangsübergreifenden Konzepten erarbeitet werden.

Sämtliche Materialien wurden online bestellt. Da Bauteile sowohl aus dem optischen als auch aus dem Elektronikbereich benötigt werden, sind zwei Bezugsquellen nötig. Beide in unserem Projekt angesprochenen Lieferanten⁹ versenden an Bildungseinrichtungen auf Rechnung, sodass problemlos über die Schule bestellt werden kann. Fachliche Nachfragen wurden schnell und kompetent beantwortet, sodass die Beschaffung problemlos verlief. Diese Hürde ist in Schulen oft ein Hinderungsgrund für interessante Projekte und ein kompetenter Lieferant somit wichtige Voraussetzung zur Realisierung des Projekts.

Die Kosten verteilen sich zum einen auf den Arduino und seine Umgebung (Netzteil, Steckverbindungen, Widerstände), zum anderen auf Linsen, Sensoren und Dioden sowie Holz für den Bau des Gehäuses. Insgesamt kommen Kosten von momentan ca. € 100,- für eine Lichtharfe zusammen, sofern alle Bauteile gekauft werden. Sind Arduino und Holzreste vorhanden, reduziert sich der Bedarf um etwa die Hälfte.

5 Projektdurchführung

Das Projekt ist modular aufgebaut und kann unterschiedlich schnell und umfangreich umgesetzt werden. Die einzelnen Module werden im Folgenden beschrieben. Die Minimalkonfiguration kann als Folge Miniprototyp – Lichtprototyp – Music-Shield-Version – Harfe umgesetzt werden, eine komplette Durchführung aller Schritte ermöglicht auch die Erarbeitung grundlegender Kompetenzen im Umgang mit Arduino und weiteren Bauteilen und kann so fehlendes Vorwissen ergänzen.

5.1 Miniprototyp

Der Bau eines Miniprototypen besteht aus einer einzelnen Lichtsaite. Ein

⁹ Optik: astromedia.de / Elektronik, Arduino: watterott.com

Fotowiderstand liefert ein Signal als Input, das wiederum eine LED oder einen Piezo-Signalgeber über einen digitalen Ausgang ansteuert. Umgesetzt wird also die Basisfunktionalität einer Harfensaite. Damit wird in diesem ersten Schritt bereits ein prototypischer Teil des Endprodukts erstellt.

Der Mini-Prototyp ist eine Möglichkeit, im Anfangsprojekt einzelne konstruierte Saiten im weiteren Verlauf zum vollständigen Instrument zu kombinieren. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil, dass alle Schüler zunächst Zeit haben, sich individuell oder in Partnerarbeit mit Hard- und Software auseinanderzusetzen. Ergebnisse können vorgestellt, verglichen und damit eine einheitliche Ergebnissicherung durchgeführt werden. Im weiteren Verlauf kann dann der beste Code übernommen werden, wodurch ein Wissenstransfer stattfindet.

5.2 Miniprototyp 2*

Im zweiten Schritt kann nach dem Modell der wachsenden Gruppe eine kleine dreisaitige Harfe entstehen. Drei Gruppen vereinen ihre Saiten aus den Miniprototypen zu einem Aufbau und passen dann – entweder gemeinsam oder als drei alternative, parallel entwickelte Lösungen – den Code entsprechend an.

Der Prototyp 2 muss zwecks Unterscheidbarkeit der Saiten mit LEDs betrieben oder aber das Piezo-Signal entsprechend unterscheidbar angesteuert werden. Die Schüler müssen sich hier also Gedanken machen, wie sie die Korrektheit ihres Codes sinnvoll testen können. Der Einsatz des Music-Shields ist an dieser Stelle noch nicht zielführend, da mit der Einbindung des Bauteils auch Bibliotheken notwendig werden, was für die Schüler zu diesem Zeitpunkt noch eine sehr große Herausforderung darstellt.

5.3 Licht-Prototyp

Den Miniprototyp kann man nun auf die gewünschte Anzahl an Saiten ausbauen und als vollständige Harfe betreiben. Die Programmierung muss im Idealfall nicht großartig angepasst werden – dieser Schritt ist aber auch für die Erkenntnis, dass unterschiedliche Implementierungen zu unterschiedlich viel Aufwand bei Anpassungen führen zentral.

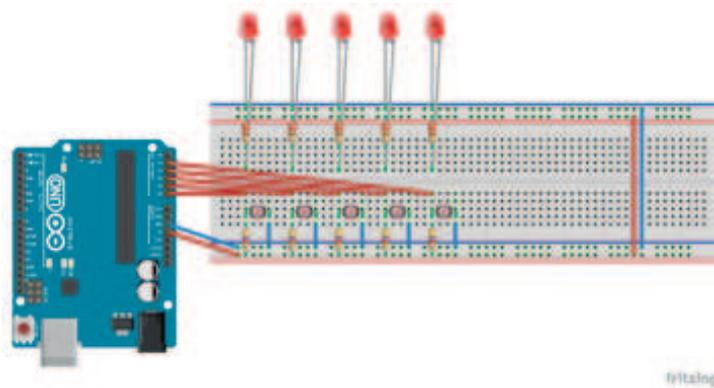


Abb. 1: Übersicht Licht-Prototyp

Mit dem Bau vieler Saiten wird je nach Größe des verwendeten Breadboards auch der Umstieg auf eine größere Konstruktion sowie eine alternative Verkabelung nötig. Insgesamt kann aber auch diese Phase bei ausreichend großem Breadboard noch ohne die spätere Harfenkonstruktion auskommen.

5.4 Music-Shield ansteuern

Um ein musikalisch ansprechendes Resultat zu erzeugen, muss für die Harfe ein Weg gefunden werden, um Töne als Midi-Signal auszugeben. Hierfür kann ein Music-Shield¹⁰ (vgl. Abb. 2) verwendet werden, das mit allen Arduino Boards zusammenarbeitet. Für den ersten Kontakt mit dem Music-Shield ist eine Version des Miniprototypen aus dem Projektbeginn äußerst hilfreich. Die Komplexität wird so auf das neu einzubindende Bauteil begrenzt und der Fokus auf den Umgang mit der nötigen Bibliothek und die Funktion als Tonausgeber gelegt. Die Schülerinnen und Schüler erzeugen so mit einer Einzelsaite einen Ton unter Verwendung des Music-Shields und entwickeln eine Teillösung, die sie später in den Code ihres Licht-Prototypen übertragen können.

Testläufe mit unterschiedlichen Reaktions- bzw. Wartezeiten der Sensoren sind sinnvoll, um ein bestmögliches Klangergebnis zu erreichen und sollten ggf. von der Lehrkraft angeregt werden. Hierbei sind auch Vorstellungen von Gruppenergebnissen zum gegenseitigen Austausch wichtig. Ideen zur Lautstärke- und Anschlagsdynamik kommen in dieser Phase von den Schülerinnen und Schülern und sollten für die spätere Optimierungsphase festgehalten werden.

¹⁰ <http://www.watterott.com/de/Music-Shield>

Sollte kein Miniprototyp mehr verfügbar sein, kann auch schlicht nur ein Sensor des Licht-Prototypen verwendet werden.

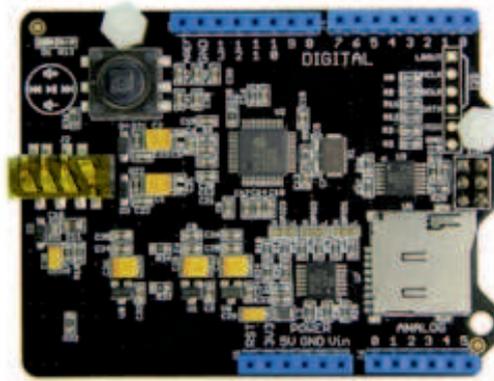


Abb. 2: Music Shield für den Arduino

5.5 Die Lichtharfe

Der nun entwickelte Code muss in die vollständige Harfe übertragen werden. Das Vorgehen sollte wiederum mit den Schülerinnen und Schülern reflektiert werden, da aber alle Voraussetzungen zu diesem Zeitpunkt bereits vorhanden sind, stellt dieser Schritt im Wesentlichen eine organisatorische Aufgabe dar.

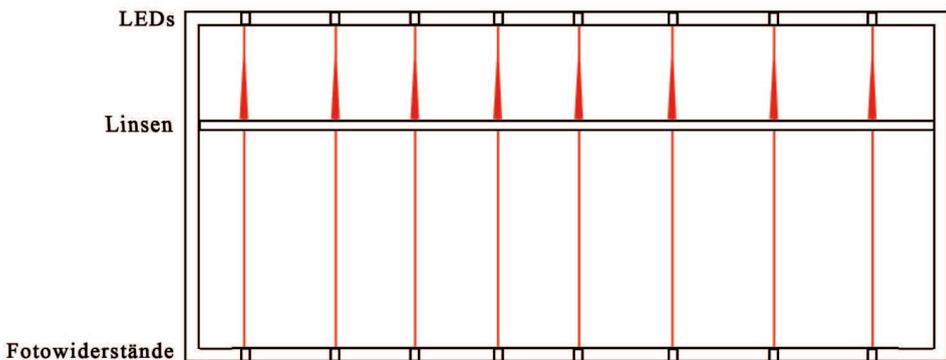


Abb. 3: Aufbau der Lichtharfe

Gegebenenfalls bietet es sich – je nach Gruppengröße – an, diesen Schritt nur von einem Teil der Gruppe umsetzen zu lassen. Zeitgleich wäre für die anderen Schülerinnen und Schüler bereits die Arbeit am Gehäuse der Lichtharfe möglich. Hier sind – bis auf die Grenzen die die optischen Eckdaten der Linsen und Lichtquellen darstellen – wenig Vorgaben nötig. Solange die Brennweite der Linsen berücksichtigt wird, kann das Gehäuse in Form eines kleinen Rechtecks, über die klassische Harfe, bis hin zu einzelnen Saitenmodulen, bestehend aus Lichtquelle, Linse und Fotowiderstand, die in einzelnen Boxen räumlich verteilt aufgebaut werden, konstruiert werden. So kann beispielsweise entlang einer Treppe auf jeder Stufe eine eigene Saite aufgebaut und die Harfe so im Schulhaus präsentiert werden.

5.6 Ausblick / Verfeinerung

Die Lichtharfe stellt ein Basisprojekt dar, mit dem bereits ansprechend musiziert werden kann. Es sind jedoch zahlreiche Verfeinerungen denkbar und auch inhaltliche Anpassungen oder Erweiterungen für fächerübergreifenden Unterricht bieten sich an.

So ist Anschlagsdynamik eine anspruchsvolle Erweiterung, die über den Umstieg auf analoge Sensorwerte erreicht werden kann. Wird der Lichtstrahl zwischen Quelle und Linse nur langsam unterbrochen, könnte die Harfe aus der Veränderung der Lichtintensität einen weichen Anschlag generieren und so natürlicher klingen.

Die Anpassung der Lautstärke durch partielle Abdeckung der Lichtquelle setzt ebenfalls ein analoges Eingangssignal voraus. Die Umsetzung setzt eine ausreichend große Brennweite der verwendeten Linsen voraus, damit zwischen Lichtquelle und Linse 'gespielt' werden kann.

Eine weitere Variante mit sehr hohem Aufforderungscharakter ist der Einbau einer Wahlmöglichkeit für das aktuelle Instrument.

6 Technische Umsetzung

Verwendet wurden helle LEDs mit Vorwiderständen, Sammellinsen, Fotowiderstände und Widerstände für Spannungsteiler sowie ein Arduino mit MusicShield 2.0 (Seeedstudio). Alternativ kann das Projekt auch mit einem Raspberry Pi umgesetzt werden. Zusätzlich werden eine Steckplatine, sowie Steckkabel und Verlängerungsstücke benötigt. Als Peripherie wurden PC-Lautsprecher verwendet, ein Anschluss an ein Mischpult und Ausgabe darüber, beispielsweise im Theaterkontext, ist natürlich ebenso möglich. Das Gehäuse für den Prototypen wurde mit Holz gebaut – andere Werkstoffe mit ausreichender Stabilität und einfacher Verarbeitung sind genauso verwendbar.

Abbildung Abb. 4 zeigt den Schaltplan der fertigen Lichtharfe, vereinfacht auf zunächst fünf Saiten.

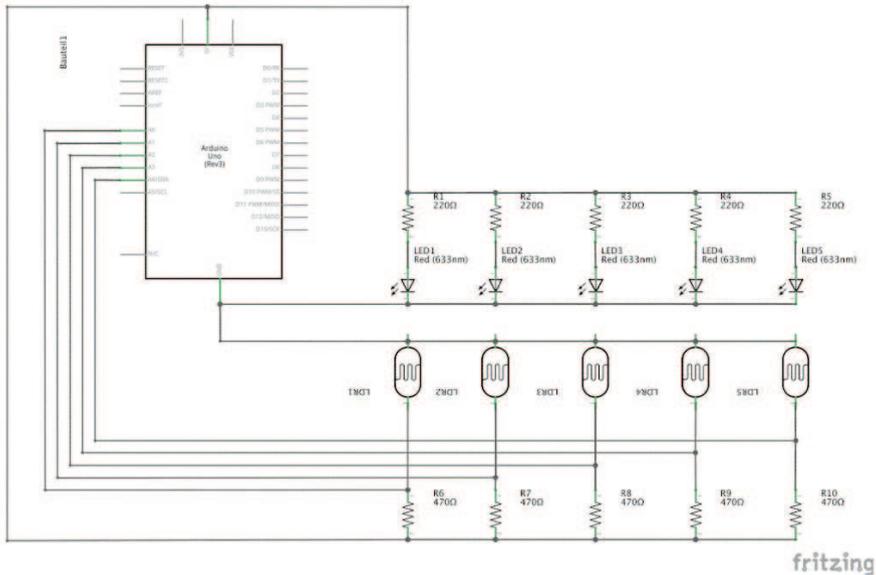


Abb. 4: Schaltplan

7 Erfahrungen

Das Projekt wurde prototypisch umgesetzt und befindet sich in der weiteren Erprobung. Lehrmaterial zum Projekt mit Beispielcode, Schalt- und Bauplänen ist in Arbeit und wird bis zur Veröffentlichung fertiggestellt.

Erste Anpassungen betreffen die Materialauswahl, die von Lasern auf LEDs umgestellt wurde, um eine Gefahrenbeurteilung zu vermeiden, die in vielen Bundesländern verpflichtend ist und zu einer eingeschränkten Nutzbarkeit geführt hätte. Die LED-Variante erwies sich als umsetzbar und wird nun als Standard übernommen.

Weitere Änderungen gegenüber dem Prototypen sind im Gesamtaufbau geplant. Umgesetzt werden unterschiedliche Aufbauten vom kompakten Instrument bis zur Treppenharfe, die durch mehrere Akteure gespielt wird.

Die Lichtharfe zeigt sich als hoch motivierendes Projekt mit großer Selbstwirksamkeit. Auch die gemeinschaftliche Arbeit an einem Informatikprojekt, das im Schulkontext wahrgenommen wird, stellt für Schüler einen hohen Aufforderungscharakter dar und

regt diese zu überdurchschnittlichem Engagement an.

Nicht zuletzt trägt ein solches Projekt zur Sichtbarkeit der Informatik und zu einem differenzierteren Bild des Faches in der Schulgemeinschaft bei.

Literaturverzeichnis

- [EKQ13] Ehlenz, M.; Kühn, H.; Quix, T.: Informatik enlightened - Was Blumen, Autos und Solarzellen verbindet. Aachen, 2013. <http://schuelerlabor.informatik.rwth-aachen.de/modul/informatik-enlightened-was-blumen-autos-und-solarzellen-verbindet>, Stand 15.3.2015
- [Er11] Ermer, Christoph: Lichtharfe mit AVR ATmega16.3gp. <http://homepages.uni-regensburg.de/~erc24492/AVR-Midi/AVR-Midi.html>, Stand 30.4.2015
- [Lu15] Lukas, Mario: Lightharp. <http://www.mariolukas.de/>, Stand: 25.4.2015.
- [PR13] Przybylla, Mareen; Romeike, Ralf: Physical Computing im Informatikunterricht. In (Breier, Norbert; Stechert, Peer; Wilke, Thomas Hrsg.): Informatik erweitert Horizonte. INFOS 2013. LNI 219, Bonn S. 137-146, 2013.
- [Ta10] Tarnoff, John: STEM to STEAM – Recognizing the Value of Creative Skills in the Competitive Debate. <http://steam-notstem.com/articles/stem-to-steam/>, Stand 25.4.2015.