

Quadrologik – Modellbildung und Modularisierung auf Basis von Rechnertechnik

Tobias Jördens¹, Jens Gallenbacher²

Abstract: Auf der Abstraktionsebene oberhalb von Transistoren sind für den Computere Entwurf Logikgatter wichtige Grundbausteine. Die Behandlung von Logikgattern im Unterricht gehört aber nicht nur zu einer vertieften Beschäftigung mit dem Aufbau von Informatiksystemen. Anhand des Entwurfs mit Logikgattern kann man Kompetenzentwicklung in Modellbildung fördern und die fundamentale Idee der Modularisierung adressieren. Eine Vorentlastung oder Rückbindung an die notwendige Einführung boolescher Ausdrücke im Rahmen der Einführung der algorithmischen Grundbausteine ist möglich. Für die Beschäftigung von Logikgattern im Unterricht entwickelten wir ein neues Logikgatterstecksystem, welches in diesem Artikel vorgestellt wird und dessen erste Einsätze im Unterricht erläutert werden. Schwerpunkt sind hier Unterrichtsstunden mit Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen 4 und 5.

Keywords: Modularisierung, Modellbildung, Technische Informatik, Digitaltechnik, Logikgatter, Logikstecksystem, Logische Schaltungen, Rechnertechnik

1 Einleitung

Andreas Schwill hat in seiner Erläuterung der fundamentalen Ideen der Informatik [Sc93] als eine von drei Masterideen die strukturierte Zerlegung begründet und diese aufgefüchert in Hierarchisierung, Modularisierung und Orthogonalisierung. Wie kann man diese im Unterricht adressieren? Unser Ansatz ist es, insbesondere Modularisierung im Kontext von Rechnertechnik zu vermitteln.

Auch die wichtige Kompetenz der Modellierung kann darüber gefördert werden. Logikgatter auf Papier, in Simulatoren oder in Logikstecksystemen sind Modelle realer elektronischer Bauteile. Die Erstellung von Schaltungen aufgrund einer Problemstellung ist an sich bereits ein Modellierungsprozess. Geht man auf höhere Abstraktionsebenen des Rechnerentwurfs, so wird dieser Aspekt noch verstärkt.

Warum wir Rechnertechnik als Unterrichtsgegenstand zur Vermittlung von Modularisierung und Modellierung als sinnvoll erachten, erläutern wir in Kapitel 2 dieses Beitrags. Für die Frage nach dem *wie* des Unterrichts ist für uns die Beachtung der enaktiven Ebene wichtig. Eine kurze Vorstellung und Bewertung bisher vorhandener Möglichkeiten erfolgt daher in Kapitel 3, bevor dort das aktuell bei uns in der

¹ Schuldorf Bergstraße und Technische Universität Darmstadt, Didaktik der Informatik, Hochschulstraße 10, 64289 Darmstadt, tj@di.tu-darmstadt.de

² Technische Universität Darmstadt, Didaktik der Informatik, Hochschulstraße 10, 64289 Darmstadt, jg@di.tu-darmstadt.de

Entwicklung befindliche System Quadrologik vorgestellt und erläutert wird. Die bisherigen Unterrichtsversuche mit diesem System werden wir im Kapitel 4 vorstellen, bevor in Kapitel 5 der Ausblick gegeben wird.

2 Motivation und Legitimation für Rechnertechnik als Unterrichtsthema

Computer sind heute allgegenwärtig. Für Schülerinnen und Schüler ist es selbstverständlich, dass sie sich nicht nur für die in Software realisierten Konzepte der Informatik interessieren, sondern auch für die Wirk- und Gestaltungsprinzipien der darunterliegenden Informatiksysteme.

Wenngleich die Motivation für die Schülerinnen und Schüler also einfach geklärt ist, so existieren für die Frage der Behandlung spezifischer Inhalte im Informatikunterricht in der Literatur verschiedene Legitimationsgrundlagen. In den Bildungsstandards Informatik [GI08] wird für den Inhaltsbereich Informatiksysteme als Kompetenz formuliert: „*Schülerinnen und Schüler aller Jahrgangsstufen verstehen die Grundlagen des Aufbaus von Informatiksystemen und deren Funktionsweise*“ [ebd. S.37]. Bei der Präzisierung dieser Kompetenz verbleibt die Behandlung jedoch, fast ausschließlich, auf der Ebene der mit dem bloßen Auge sichtbaren Hardwarekomponenten [vgl. ebd.]. In Lehrplänen³ findet man allerdings auch die Behandlung von Abstraktionsebenen unterhalb der sichtbaren Hardware. Entsprechend gibt es auch Unterrichtseinheiten zu diesem Thema. So stellt Urs Lautenbach eine Unterrichtseinheit vor, die „Vom Gatter zum Compiler“ als „Durchstich durch viele Abstraktionsebenen“ dienen soll [La15]. Jens Gallenbacher stellt ganz ähnlich einen Unterrichtsgang durch die verschiedenen Abstraktionsebenen vor [vgl. Ga16] und in seinem Buch Abenteuer Informatik [Ga17] beschäftigt er sich mit der Funktionsweise von Computern auf der Ebene von Transistoren und Gattern. Auch die Plattform www.inf-schule.de beschäftigt sich mit *Digitaltechnik* [vgl. Pä16].

Passend zu diesen Unterrichtseinheiten findet man im Internet eine Reihe von Simulatoren für Logikgatter (vgl. etwa [DB05], [Te09], [Bu11]). Digitaltechnik wird also durchaus in bestehendem Informatikunterricht thematisiert.

In Kapitel 1 wurde schon Andreas Schwills Ansatz erwähnt, Bruners Idee der fundamentalen Ideen auf die Informatik zu übertragen [vgl. Kapitel 1]. Bei der Konkretisierung dieser Ideen führt er bzgl. der Hierarchisierung „Ebenenmodelle der Rechnerarchitektur“ [Sc93, S.20] und „boolesche Funktionen“ bei der Orthogonalität [ebd., S.21] auf. Auch die Modularisierung sehen wir bei der Thematik der Rechnertechnik/Rechnerarchitektur gut thematisierbar. Daher dient die Behandlung dieser Thematik als übersichtliches, eingängiges Beispiel dieser fundamentalen Ideen.

³ Vgl. etwa: Hessen [He16 S.40 ff.] und [He05 S. 24f.], Rheinland-Pfalz [Rh17a S.16] und [Rh17b S.24], ansatzweise Thüringen [Th12 S. 18f.] und Berlin [Se06 S.20]

„Der Prozess der Modellierung ist nicht nur Lerninhalt, sondern auch durchgängige Methode des Informatikunterrichts.“, lautet es in den Bildungsstandards Informatik [GI08, S.45]. Auch wenn Modellierung eigentlich durchgängige Methode des Informatikunterrichts sein soll, so ist sie das in der Praxis nicht immer und bei jeder Thematik gegeben, evtl. auch aufgrund der weiteren Anforderungen und Randbedingungen, die in den Bildungsstandards aufgestellt werden: so sei die Implementierung beim informatischen Modellieren „unverzichtbar, um das Ergebnis der Modellbildung erlebbar zu machen.“ [ebd. S.46]. Für die Jahrgangsstufe 5-7 wird aber erklärt: „In diesen Jahrgangsstufen kann der Prozess der Modellierung nicht vollständig durchlaufen werden, da die Fähigkeit zur Abstraktion bei Schülerinnen und Schülern noch nicht hinreichend ausgeprägt ist. Insbesondere wird es kaum möglich sein, in dieser Altersstufe Modelle selbst zu implementieren.“ [ebd.].

Modellierung im Bereich Rechnertechnik, insbesondere auf der Ebene der Logikgatter kann nach Meinung der Autoren des vorliegenden Beitrags diese Problematik umgehen: Digitale Simulatoren oder Stecksysteme für Logikgatter bieten, anders als bei vielen anderen Modellen, die Möglichkeit einer „Quasi-Implementierung“ dieser Modelle, als dass die Funktionsweise des Modells ausprobiert werden kann.

Für die Thematisierung von Hierarchisierung ist der Gang durch mehrere Abstraktionsebenen der Rechnerarchitektur notwendig, bei der Modularisierung hilfreich.

Betrachtet man nur die Ebene der Logikgatter, so kann ein weiterer Kompetenzbereich gefördert werden. Die mathematische Entsprechung für die Logikgatter ist die boolesche Algebra. Boolesche Operatoren sind notwendig zur Konstruktion komplexer Bedingungen in algorithmischen Grundbausteinen. Im Inhaltsbereich Algorithmen der Bildungsstandards wird die Arbeit mit den algorithmischen Grundbausteinen als zentraler Aspekt identifiziert [vgl. GI08, S. 30]. Entscheidungen und Schleifen, außer Zählschleifen, benötigen Bedingungen, welche boolesche Ausdrücke darstellen. Zur Behandlung komplexer Bedingungen werden keine Aussagen gemacht. In vielen Unterrichtszenarien des Anfangsunterrichts mag es auch nicht notwendig sein, den Aufbau dieser Bedingungen intensiv zu thematisieren, weil etwa durch die Blöcke einer visuellen Programmiersprache Vergleiche implizit benutzt werden, oder Rückgabewerte von Methoden direkt einen booleschen Wert darstellen. Auch können durch Schachtelung oder Reihung von if-Strukturen AND und OR-Terme implizit umgesetzt werden. Andererseits kennen selbst kindgerechte Programmiersprachen wie Scratch oder die Lego Mindstorms-Software logische Operatoren. Komplexe logische Bedingungen sind somit auch rein im Kontext der Arbeit mit einer Programmiersprache erlernbar. Auch mittels eines Spieles wie Erkennungsdienst können die logischen Funktionen erarbeitet werden [vgl. Ga17]. Über die Arbeit mit Logikgattern kann darüber hinaus eine Vorentlastung für die Einführung von Bedingungen bei algorithmischen Grundbausteinen oder eine Rückbindung/Wiederholung erfolgen.

3 Quadrologik

Behandelt man Rechnertechnik im Unterricht, sowohl die Ebene einfacher Schaltnetze aus Logikgattern als auch Schaltwerke oder komplexere Strukturen wie ALU, Steuerwerk und Rechenwerk, stellt sich die Frage des *wie*. Wie in Kapitel 2 aufgezeigt, existieren eine Reihe von Simulatoren für Logikgatter.

Werner Hartmann hat zur INFOS2005 erläutert, dass Informatik geprägt sei durch Abstraktion und „[v]ielleicht müssten auch im Informatikunterricht vermehrt die drei klassischen Repräsentationsebenen eingesetzt werden. [...] Abstraktes im wahrsten Sinne des Wortes begreifbar machen [...]“ [Ha05]. Auch die Autoren des vorliegenden Textes sind der Meinung, dass der Unterrichtsgegenstand, wenn möglich, im wörtlichen Sinne begriffen werden sollte. Im Bereich der Rechnertechnik, insb. der Logikgatter, ist es möglich nicht nur die ikonische Repräsentationsebene mittels Simulatoren anzusprechen, sondern eben auch die enaktive Repräsentationsebene durch haptische Systeme. Hierfür existieren verschiedene käuflich zu erwerbende Systeme.

3.1 Vorführsysteme aus der Physik und Steuerungstechnik

Für den Physikunterricht existieren umfangreiche Stecksysteme für Analog- und Digitaltechnik, etwa LOGITRON [GR17], welches aufgrund von Größe und Kosten jedoch eher zur Vorführung durch die Lehrkraft geeignet scheint.

3.2 littleBits

littleBits [sic] ist das Produkt eines New-Yorker Start-Ups. Dabei handelt es sich um modulare Elektronikbauteile, als Bits bezeichnet, welche durch magnetische Konnektoren (bitSnaps) zusammengesteckt werden (vgl. Li17). Zu diesem System gehören auch Logikgatter, die bei littleBits in der Kategorie *WireBits* zusammen mit anderen Verbindungselementen geführt werden. Gegenüber Schaltungssymbolen haben diese Bits jedoch ihre Eingänge nicht an der linken Seite, sondern oben und unten anliegend.

3.3 Quadrologik

Die auf dem Markt vorhandenen Systeme konnten die Autoren des vorliegenden Artikels nicht überzeugen. Daher entwickelt die Arbeitsgruppe ein eigenes Logikstecksystem: *Quadrologik*.

Für dieses System gilt:

- Logikgatter werden, wie allgemein üblich, mit (zwei) Eingängen auf der linken Seite und einem Ausgang auf der rechten Seite eines Bausteines realisiert.⁴
- Verbindungen zwischen Logikgattern werden nicht mit Kabeln gelegt, sondern mit speziellen Verbindungselementen, welche Verbindungen von links nach rechts und oben nach unten implizieren (vgl. unten). Die „Verkabelung“ kann dadurch nicht „kreuz und quer“ erfolgen, sondern muss geplant werden. Darüber hinaus wäre ein derart gelegtes Verbindungsnetz immer auf einer zweilagigen Platine abbildbar.
- Zur Verbindung der Bausteine dienen die Steckverbindungen (bitSnaps) von littleBits. Die Stromversorgung erfolgt über USB(5V). Beides sind Maßnahmen, welche die Kompatibilität zum littleBits-System ermöglichen.
- Die Logikgatter mit zwei Eingängen einerseits und die Verbindungselemente, Taster und das Not-Gatter andererseits werden jeweils durch eine generische Platine realisiert. Erst durch Bestückung bzw. Lötunkte werden die konkreten Steckelemente festgelegt.

In der bisherigen Entwicklungsstufe sind Schaltnetze möglich.

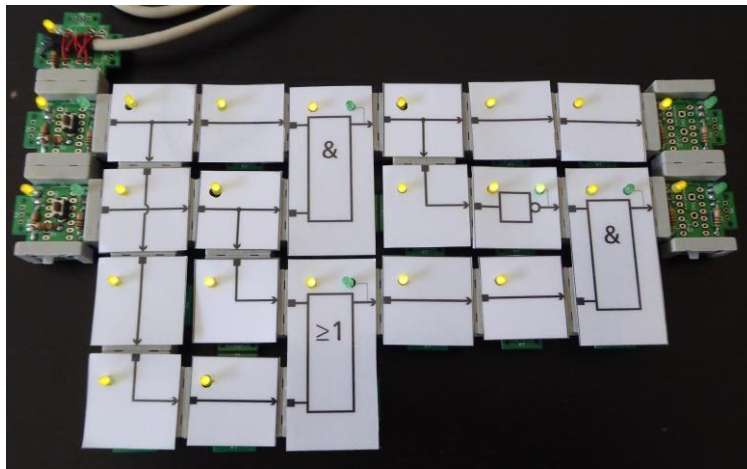


Abb. 1: Halbaddierer mit Quadrologik

4 Erster Einsatz im Unterricht

Der erste Satz Prototypen wurde bisher in unterschiedlichen Unterrichtssituationen getestet.

⁴ Das Not-Gatter besitzt selbstverständlich nur einen Eingang.

Mit mehreren Lerngruppen aus einem fünften Schuljahr (Gymnasium) sowie einer Lerngruppe eines vierten Schuljahres wurde jeweils eine Doppelstunde mit Quadrologik gearbeitet. Aufgrund der bisher begrenzten Anzahl an Quadrologik-Bausteinen wurden jeweils nur 6 Schülerinnen und Schüler aus verschiedenen Klassen „ausgeliehen“. In der Regel wurden dafür von Mathematikkollegen Schülerinnen und Schüler ausgewählt, für die aufgrund ihrer Leistungsstärke die verpasste Mathematik-Einheit entbehrlich war. Für sie stellten diese Stunden ihre ersten Informatikstunden überhaupt dar. Ziel war somit auch, auszuprobieren, was in diesem Anfangsunterricht möglich ist –auch vor dem Hintergrund, dass in dieser Altersstufe noch kein Physikunterricht zu Elektrik stattgefunden hat.

Als Rahmen für die Stunde wurde ein Anchored Instruction-Szenario gewählt [vgl. GH13]: in der Rolle eines Indiana Jones auf einem fremden Planeten erkundeten die Schülerinnen und Schüler eine alte Ruine, bei der die Funktionsweise von „komischen“ Schalttafeln verstanden werden musste, um die Lampen am Ende der Schaltungen zum Leuchten zu bringen, um dadurch sinnbildlich die Türen einer Ruine zu öffnen.

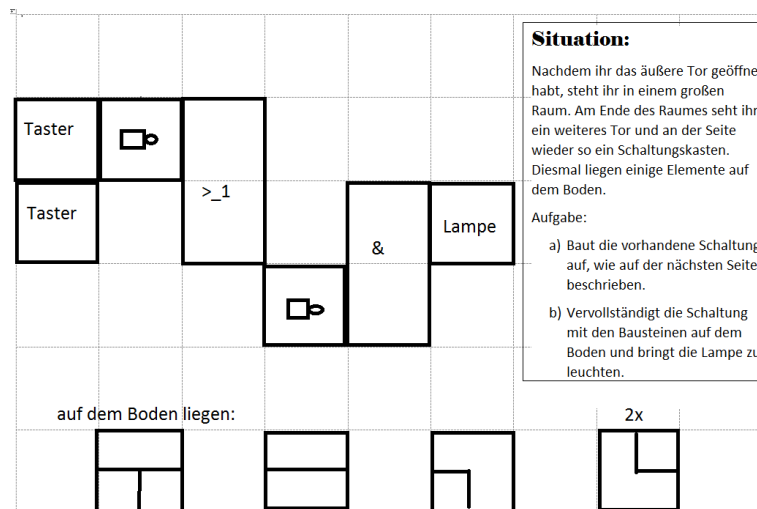


Abb. 2: Aufgabe mit „heruntergefallenen“ Leitungsmodulen

Im Laufe dieser interaktiven Geschichte haben sie sich die Funktionsweise des Stecksystems mit seinen Komponenten und insbesondere der Logikbausteine erschlossen. Bei der ersten Aufgabe gaben wir den Schülerinnen und Schülern eine fertige Schaltung vor. Sie mussten dann die beiden Lampen an den Ausgängen zum Leuchten bekommen. Bei der zweiten mussten sie „heruntergefallene“ Leitungsmodul korrekt in eine teilweise vorgegebene Schaltung einfügen (s. auch Abb. 2). Es folgten Übungen zur Funktionsweise der Logikbausteine wie etwa: „Der Taster lässt sich nicht

drücken“, was die Verwendung eines NOT-Gatters erzwang, um die Lampe am Ausgang leuchten zu lassen (s. auch Abb. 3).

Auf vier Aspekte für die oben benannte Kompetenzentwicklung (vgl. Kapitel 2) wurde geachtet und in den verschiedenen Lerngruppen variiert, auch da in einer Doppelstunde nicht alles behandelbar war.

Mit allen Gruppen gelang die Konstruktion von Wahrheitstafeln (als „An-Aus-Tabelle“). Den leistungsstärksten Gruppen gelang es, die vollständigen Tafeln selbstständig aufzustellen. Andere vergaßen zunächst die Variante (Eingang1 aus, Eingang2 aus) mit zu benennen. Spätestens nach der gemeinsamen, exemplarischen Konstruktion einer Tabelle konnten die anderen Tabellen selbstständig hergeleitet werden. Zweimal gab es beim NOT das Problem, dass zunächst auch zwei Eingänge angesetzt wurden. Die Reihenfolge der Zeilen entsprach, erwartungsgemäß, noch nicht der üblichen Konvention.

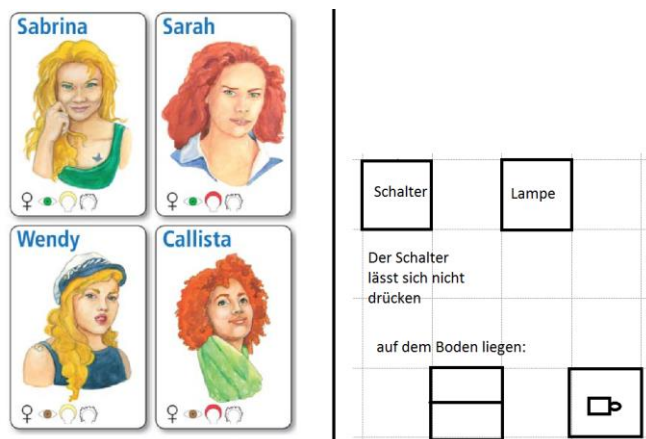


Abb. 3: Spielkarten vom Erkennungsdienst[Ga17] und Aufgabe zum Not

Die Analyse von Schaltungen ist eine Vorstufe zum Erstellen eigener Schaltungsmodelle (vgl. [GI08, S.46]). Durch Nachbau der Schaltungen und Ausprobieren aller Kombinationen konnten die Schülerinnen und Schüler selbstständig vollständige Wahrheitstabellen für drei Eingänge aufstellen. Der theoretische Nachvollzug anhand des Schaltungsplans wurde mit einer Gruppe versucht. Hier zeigte sich, dass das Verständnis des Schaltungsaufbaus noch nicht vollständig durchdrungen war. So konnten die Schülerinnen und Schüler zwar benennen, wie in einer mehrstufigen Logik die Signalleitungen verlaufen, sie erkannten aber nicht selbstständig, dass die Eingänge eines späteren Logikgatters nicht direkt von den Eingängen/Tastern abhängen, sondern dass sie an den Ausgängen der ersten Logikelemente Zwischenergebnisse ermitteln müssen.

Um den Zusammenhang mit logischen Aussagen zu bekommen, wurde mit Spielkarten

des Spiels Erkennungsdienst [vgl. Ga17] gearbeitet (s. auch Abb. 3). Zunächst wurden logische Aussagen über die Merkmale der Personen vorgegeben (etwa: rothaarig UND grüne Augen), die Schülerinnen und Schüler mussten dann die entsprechende(n) Karte(n) benennen. Ein Teil hatte anfangs Probleme, mehr als eine Karte zu benennen, wenn eine Teilmenge von mehr als einer Karte gefordert war. Dieses Problem war allerdings schnell behoben. Der Umgang mit dem UND-Operator war erwartungsgemäß unproblematisch. Aber auch Aussagen mit der NICHT-Operator und das inklusive ODER funktionierten gut. Im Rahmen der Wahrheitstabellen wurde thematisiert, dass ein Unterschied zwischen mathematischer Logik und Alltagssprache besteht.

Im zweiten Schritt durften die Schülerinnen und Schüler logische Aussagen für Teilmengen der Karten formulieren (z.B.: „Erstelle eine Aussage, welche nur auf Kevin und Felix zutrifft“). Dies klappte erstaunlich gut. Einzelne Schülerinnen und Schüler kamen auf Ausdrücke, die mathematisch nur mit Klammerung formulierbar wären. Dies wurde im Einzelgespräch erfolgreich thematisiert. Die Schülerinnen und Schüler waren danach in der Lage, gegebenen logischen Aussagen die entsprechenden korrekten Teilmengen an Personenkarten zuzuordnen.

Das eigentlich mit Quadrologik verfolgte Ziel, die Konstruktion einer eigenen Schaltung, wurde zuletzt erprobt. Bei einer Lerngruppe wurde die Konstruktion einer Schaltung gefordert, für welche nur eine Wertetabelle vorgegeben war. Einer Gruppe gelang es NAND und NOR Schaltungen sowie eine weitere Funktion (ein Und-Gatter mit einem negierten Eingang) zu konstruieren, scheiterten dann jedoch am XOR, allerdings auch aus Zeitgründen. Bei drei weiteren Lerngruppen wurde im Rahmen des Rollenspiels die Aufgabe gestellt, dass ein bestimmter Roboter in Menschengestalt durch eine Einlasskontrolle passieren darf und die anderen Roboter nicht. Dazu wurde eine aus acht Erkennungsdienstkarten gezogen. Sämtlichen Gruppen gelang es, diese Aufgabe zu meistern. In der Menge der acht Karten waren die Merkmale so verteilt, dass für die Selektion einer Karte alle drei Merkmale entweder regulär oder negiert abgefragt und mit UND verknüpft werden mussten. Aufgrund dessen der lediglich zweiwertigen Logikbausteine bei Quadrologik mussten also alle eine mehrstufige Logik mit geschachtelter Aussage realisieren.

Auch auf der subjektiven Ebene waren die Unterrichtsversuche erfolgreich. So erklärten alle SuS, dass der Unterricht ihnen Spaß gemacht hätte, fanden das Quadrologik-System sehr toll und wollten mehr Unterricht dazu.

Im Wahlunterricht Informatik im Jahrgang 9 wurde Digitaltechnik „klassisch“ unterrichtet. Der Teil mit Logikgattern wurde diesmal jedoch mit Quadrologik ausgeführt. Die Schüler⁵ besaßen vertieftes Vorwissen, und alle nahmen auch schon an der Juniorliga des BWInf teil. In 2,5 Doppelstunden wurde die Thematik von der Einführung von Logikgattern, über die Analyse komplexer Schaltung bis zum Entwurf eigener Schaltungen behandelt. Für die Modellierung verschiedener Schaltungen bekamen die Schüler eine Sammlung diverser Textaufgaben zu Logikgattern, von

⁵ Der Kurs besteht leider nur aus männlichen Individuen.

Tresorsteuerungen über Gurtkontrollen im Auto bis hin zu Multiplexern und Halb-/Volladdierern. Die Bearbeitung dieser Problembeschreibungen gelang gut bis sehr gut, entsprechend den allgemeinen Leistungsunterschieden im Kurs. Beim Entwurf des Volladdierers war die Analyse der Problemstellung schnell erfolgt, eigene Wahrheitstabellen aufgestellt und der Baustein mit Quadrologik gesteckt (s. auch Abb. 1)

5 Ausblick

Rechnertechnik sollte im Informatikunterricht behandelt werden, um dabei Modellbildungskompetenz und Verständnis von Modularisierung zu fördern. Das gelingt mit dem Logikstecksystem Quadrologik auf motivierende Art und Weise. Erste Tests mit Schülergruppen sind sehr vielversprechend. Es zeigte sich, dass der erhoffte Kompetenzzuwachs erreicht wird.

Wir möchten die Weiterentwicklung von Quadrologik betreiben. Dazu gehört die Realisierung von Schaltnetzen und die Unterstützung der Modularisierung durch ein eigenes Bauteil, sodass konstruierte Schaltungen in diese Bauteile einprogrammiert werden können. Wir erhoffen uns Impulse für die konkrete Ausgestaltung der Weiterentwicklung aus der Diskussion auf der INFOS und danach.

Sofern diese Entwicklungsprozesse abgeschlossen sind, können eine größere Anzahl an Bauteilen produziert werden, sodass Tests in Klassenstärke und über unterschiedliche Kompetenzstufen sowie eine wissenschaftliche Evaluation möglich sind.

Literaturverzeichnis

- [Bu11] Burch, C.: Logisim v.2.7.1., <http://www.cburch.com/logisim/>, Stand 05.02.2017.
- [DB05] Damm, M; Brauner, O.: LogiFlash v3.03, 2005
<http://tiweb.hsu-hh.de/LogiFlash/index.html>, Stand 05.02.2017.
- [Ga16] Gallenbacher, J.: Rechnerorganisation – Vom Relais zum Prozessor. Vortrag beim Schweizer Tag für den Informatikunterricht. Zugriff über: <http://www.abz.inf.ethz.ch/schweizer-tag-fur-den-informatikunterricht/stiu-2016-7-schweizer-tag-fuer-den-informatikunterricht/stiu-2016-workshops/>, Stand 09.02.2017
- [Ga17] Gallenbacher, J: Abenteuer Informatik: IT zum Anfassen für alle von 9 bis 99 – vom Navi bis Social Media, 4. Auflage, 2017.
- [GH13] Gallenbacher, J., Heun, D.: Ein moderner Ansatz für Anchored Instruction im Informatikunterricht. In (Breier, N., Stechert, P., Wilke, T. Hrsg.): Proc. Informatik erweitert Horizonte, INFOS2013, 15. GI-Fachtagung Informatik und Schule, 2013.
- [GI08] Gesellschaft für Informatik e.V.: Grundsätze und Standards für die Informatik in der Schule: Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe I, 2008.
- [GR17] GRS Lehrgeräte KG: Logitron – Digitalbausteine mit starken Eigenschaften,

- http://www.grs-physik-shop.de/index.php?option=com_content&task=view&id=37&Itemid=60, Stand 05.02.2017.
- [Ha05] Hartmann, W.: Informatik – EIN/AUS – Bildung. In (Friedrich, Sreffen Hrsg.): Proc. Unterrichtskonzepte für informatische Bildung, INFOS2005, 11. GI-Fachtagung Informatik und Schule, 2005.
- [He05] Hessisches Kultusministerium: Berufliche Schulen des Landes Hessen. Lehrplan Berufliches Gymnasium. Fachrichtung Technik. Schwerpunkt Datenverarbeitungstechnik, 2005.
https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/hkm/lp_bg_fr_technik_sp_datenverarbeitungstechnik_05.pdf, Stand 09.02.2017
- [He16] Hessisches Kultusministerium: Kerncurricula Gymnasiale Oberstufe – Informatik, 2016. <https://kultusministerium.hessen.de/schule/kerncurricula/gymnasiale-oberstufe/informatik>, Stand: 05.02.2017.
- [La15] Lautebach, U.: Vom Gatter zum Compiler: Im Unterricht durch sieben Abstraktionsebenen. In (Gallenbacher, J. Hrsg.): Proc. Informatik allgemeinbildend begreifen, INFOS2015, 16. GI-Fachtagung Informatik und Schule, S.239-246.
- [Li17] LittleBits Electronics Inc.: What is littleBits? <http://littlebits.cc/how-it-works>, Stand 05.02.2017.
- [Pä16] Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz: Digitaltechnik, 2016, <http://www.inf-schule.de/rechner/digitaltechnik>, Stand: 05.02.2017.
- [Rh17a] Rheinland-Pfalz Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Jugend und Kultur. Lehrplan Informatik Wahlfach und Wahlpflichtfach an Gymnasien und Integrierten Gesamtschulen (Sekundarstufe I), ohne Jahresangabe. Zugriff über: <http://lehrplaene.bildung-rp.de/gehezu/startseite.html?keyword=informatik>, Stand 09.02.2017.
- [Rh17b] Rheinland-Pfalz Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Jugend und Kultur. Lehrplan Informatik Grund- und Leistungsfach, ohne Jahresangabe. Zugriff über: <http://lehrplaene.bildung-rp.de/gehezu/startseite.html?keyword=informatik>, Stand 09.02.2017.
- [Sc93] Schwill, A.: Fundamentale Ideen der Informatik, 1993. <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/Forschung/Schriften/ZDM.pdf>, Stand 09.02.2017
- [Se06] Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport Berlin: Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe – Informatik, 2006.
https://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/unterricht/lehrplaene/sek2_informatik.pdf?start&ts=1450262874&file=sek2_informatik.pdf Stand: 10.02.2017.
- [Te09] Tetzl, A.: LogicSim, 2009, http://www.tetzl.de/java_logic_simulator.html, Stand 05.02.2017.
- [Th12] Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur: Lehrplan für den Erwerb der allgemeinen Hochschulreife – Informatik, 2012. Zugriff über: <https://www.schulportal-thueringen.de/media/detail?tspi=3657> Stand 09.02.2017