

3 Ansätze zur Begründung des Inhalts als Gegenstand des Sachunterrichts

Nach der Einführung in die Untersuchung wird im folgenden Kapitel der Frage nachgegangen, warum sich im Sachunterricht mit der technischen Funktionsweise von Mikrocontrollern und damit auch im weiteren Sinne mit der Funktionsweise von Informatiksystemen auseinandergesetzt werden soll.

Bereits *Klafki* führt als eines der epochaltypischen Schlüsselprobleme die neuen technischen Steuerungs-, Informations- und Kommunikationsmedien an. Dabei bezieht er sich sowohl auf die Gefahren als auch Möglichkeiten der dadurch fortschreitenden Veränderungen. Jegliche Lebensbereiche unterziehen sich zunehmend komplexen Veränderungen, was vor allem im Industriewesen in der Veränderung von Produktionssystemen, dem Arbeitswesen und der einhergehenden Substitution durch Technik sowie in der Freizeitgestaltung und den Kommunikationsbeziehungen deutlich wird.¹¹⁷ *Duddeck* begründet diese komplexen Veränderungen dadurch, dass Technik nicht einfach mehr erfunden wird, sondern „naturwissenschaftliche Erkenntnisse [...] neue Techniken“ erzeugen¹¹⁸. *Klafki* fordert vor diesem Hintergrund eine „kritische informations- und kommunikationstechnologische Grundbildung als Moment einer neuen Allgemeinbildung“¹¹⁹, welche ein „elementarisches Verständnis der modernen, elektronisch arbeitenden Kommunikations-, Informations- und Steuerungsmedien“¹²⁰ voraussetzt. Der Gebrauch und die Wirkung müssen von den Nutzer:innen kritisch

117 Vgl. *Klafki* 1985/2007, S. 59 f.

118 *Duddeck* 2016, S. 40.

119 *Klafki* 1985/2007, S. 60.

120 Ebd.

betrachtet werden, um auftretenden sozial-gesellschaftlichen Fragen mündig zu begegnen. Unter solche Medien fallen auch die in *Kapitel 2.1* definierten Informatiksysteme, welche regelmäßig im Zusammenhang mit den in *Kapitel 2.2* definierten Mikrocontrollern als Steuerungssysteme auftreten. *Klafki* betont bereits im 20. Jahrhundert die künftige Bedeutung und den Mehrwert einer schulischen Auseinandersetzung mit diesen Medien.¹²¹

Zur Beantwortung der Frage, warum die technische Funktionsweise von Mikrocontrollern (als niedrigschwelliger Einstieg in Informatiksysteme) im Sachunterricht behandelt werden soll, werden zwei Analysewerkzeuge herangezogen. Zum einen dienen aus sachunterrichtsdidaktischer Perspektive *Klafkis* fünf didaktische Grundfragen. Dabei werden Fragen zur Gegenwartsbedeutung, Exemplarität, Zugänglichkeit, Zukunftsbedeutung und Struktur des Inhalts aufgegriffen.¹²² Zum anderen wird sich aus informatischer Perspektive – vor dem Hintergrund der Untrennbarkeit von technischen, informationsverarbeitenden und informatischen Bestandteilen – des Konzepts der fundamentalen Ideen von *Schwill* bedient. Ziel dieser fundamentalen Ideen ist die Auswahl von grundlegenden informatischen Prinzipien, Denkweisen und Methoden¹²³. Die fundamentalen Ideen sind ein informatikdidaktischer Ansatz, welcher wiederkehrenden informatischen Prinzipien eine überdauernde Allgemeingültigkeit zuschreibt. Die Wissenschaft der Informatik ist Ausgangspunkt und ermöglicht durch die wissenschaftsorientierte Didaktik (hier: Fundamentale Ideen) die Strukturierung von Lehr-/Lernprozessen, ohne dass die Sachlogik des Faches verändert wird. Ein Kriterium zur Bestimmung der fundamentalen Ideen ist die überdauernde Allgemeingültigkeit, welche einen nicht-spezifischen Transfer von einer informatischen Lösung auf ein neues Problem umfasst. Dieses Problem ist als „Varianten eines vertrauten Themas“¹²⁴ zu verstehen.¹²⁵ Thematisch führt *Schwill* Algorithmisierung, strukturierte

121 Vgl. Klafki 1985/2007, S. 60.

122 Vgl. Klafki 1958/1963, S. 135 ff. zit. n. Meyer & Meyer 2007, S. 68.

123 Vgl. Schwill 1993, S. 20 ff.

124 Vgl. Schubert & Schwill 2011, S. 60.

125 Vgl. Ebd., S. 41, 60.

Zerlegung und Sprache an¹²⁶. Trotz des deutlichen Anklangs dieses Konzepts im informatischen Bildungsbereich ist die thematische Eingrenzung zu bemängeln. *Schwill* konzentriert sich auf die Softwareebene und vernachlässigt implizit die Hardwareebene und das sozio-technische Bezugssystem.¹²⁷ Er benennt die technische Funktionsweise von Mikrocontrollern nicht explizit als fundamentale Idee. Um das didaktische Konzept zu nutzen, werden die Kriterien zur Bestimmung dieser fundamentalen Ideen den didaktischen Grundfragen nach *Klafki* entsprechend genutzt. Zur Beantwortung der Fragestellung des Kapitels müssen die fundamentalen Ideen mit den Begründungsdimensionen in Verbindung gesetzt werden:

Als erstes führt *Schwill* das Horizontalkriterium an, in welchem die fundamentale Idee „sich in verschiedenen Anwendungsbereichen“¹²⁸ wiederfindet. Analog dazu bewegt sich die exemplarische Bedeutung von *Klafki*, welche u. a. nach dem Grundprinzip bzw. dem allgemeinen Sachzusammenhang fragt. An das Vertikalkriterium schließt sich der Aspekt der Zugänglichkeit an. Während das Vertikalkriterium zunächst die Frage nach einer Vermittlung eines Inhaltes auf verschiedenen intellektuellen Ebenen erfragt, greift die Zugänglichkeit die konkrete Vermittlung auf. Ähnlich der Zugänglichkeit ist das Repräsentationskriterium, welches jeweils nach Fallbeispielen und Möglichkeiten zur Vermittlung auch auf verschiedenen Repräsentationstufen fragt (*enaktiv, ikonisch, symbolisch*). In Verbindung mit dem Zeitkriterium steht die Zukunftsbedeutung, indem die langfristige Bedeutung der fundamentalen Idee bzw. die zukünftige Bedeutung des Themas angesprochen wird. Ähnlich verhält sich das Sinnkriterium zur Gegenwartsbedeutung, indem das Thema im Bezug zur Lebenswelt der Kinder stehen muss. Die didaktischen Grundfragen nach *Klafki* werden mit der Struktur des Inhalts vervollständigt, welcher in Abhängigkeit zur Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung das Grobkonzept des Themenbereiches darlegt und ebenfalls an das Repräsentationskriterium anschließt.

126 Siehe u. a. die graphische Darstellung bei Schwill 1993, S. 29.

127 Vgl. Humbert 2003, S. 64.

128 Borowski, Diethelm & Mesaroş 2010, S. 5.

Schwills fundamentale Ideen werden durch das Zielkriterium vollendet, welches die Ideen als eine idealisierte fast unerreichbare Zielvorstellung definiert.¹²⁹

Im weiteren Verlauf wird anhand der genannten Kriterien von *Klafki* und *Schwill* diskutiert, ob die technische Funktionsweise von Informatiksystemen am Beispiel des Mikrocontrollers Calliope mini Gegenstand des Sachunterrichts sein kann und auch sollte.

3.1 Gegenwartsbedeutung

Kinder nutzen mit zunehmendem Alter immer mehr digitale Medien. Diese Beobachtung wird durch die KIM-Studie aus dem Jahr 2022 bestätigt, in welcher der Medienumgang von Kindern im Alter zwischen sechs und dreizehn Jahren untersucht wurde. Diese Einsicht ist nicht neu. Bereits die vorangegangenen KIM-Studien zeigten diese Tendenz zur Mediennutzung und zum -besitz auf.¹³⁰ In die Liste der meistgenutzten Medien fallen auch die in *Kapitel 2.1* definierten Informatiksysteme in Form von Handys, Spieletkonsolen und Tablets. Die gegenwärtige Bedeutung und das Sinnkriterium sind kaum zu leugnen: Laut der KIM-Studie 2022 haben 9 % der Kinder im Alter von sechs bis sieben Jahren ein eigenes Smartphone. Diese Anzahl verdreifacht sich bis zur Altersspanne von acht bis neun Jahren (27 %) und verdoppelt sich dann nochmal auf 58 % im Alter von zehn bis elf Jahren.¹³¹ Der Trend setzt sich in der neusten KIM-Studie 2024 fort.¹³² Der ohnehin vorhandene Trend wird seitens des Staats wie bspw. in Bremen verschärft: Seit 2020/21 wird jedem und jeder Schüler:in ein iPad zur Verfügung stellt¹³³. Hier werden Kinder unmittelbar mit Informatiksys-

129 Vgl. Klafki 1958/1963, S. 135 ff. zit. n. Meyer & Meyer 2007, S. 68; Borowski, Diet helm & Mesaroş 2010, S. 5; Schwill 1993, S. 21 ff.

130 Vgl. mpfs 2022, S. 82.

131 Vgl. mpfs 2022, S. 82.

132 Vgl. mpfs 2024, S. 7: „[...] der Anstieg nirgends so deutlich ist wie beim Smartphone (6–7 Jahre: 11 %, 8–9 Jahre: 33 %, 10–11 Jahre: 63 %, 12–13 Jahre: 79 %).“

133 Vgl. Die Senatorin für Kinder und Bildung; Bundesministerium für Bildung und Forschung.

temen und mittelbar auch mit Mikrocontrollern als Steuerungssysteme konfrontiert. Dies ist nicht der einzige Bereich, in welchem Kinder mit technisch-digitale Artefakten in Kontakt kommen. Vielmehr basieren zentrale Bereiche der Gesellschaft wie das Transport-, Kommunikations- und Produktionswesen sowie (Wetter-, Klima-)Vorhersagen auf Technik und Informatik, was für die Kindern im Regelfall nicht ersichtlich ist.¹³⁴

3.2 Exemplarische Bedeutung

Aber nicht nur für Kinder sind informationsverarbeitende Systeme meist unzugänglich, auch für Erwachsene sind Computersysteme *Blackboxes*¹³⁵. Über deren Funktionsweise kann ohne vertieftes Wissen (z. B. durch Studium oder Beruf) und ohne intrinsisches Interesse nur spekuliert werden, da grundlegende Funktionsweisen von außen nicht sichtbar sind. Eine Technikmündigkeit erfordert zwar auch eine Zweck-rationalität in Form eines Umgangs- und Bedienungswissens, muss sich jedoch darüber hinaus auch mit den technischen Grundlagen beschäftigen, um „Weltzugriffe als solches wahr[zu]nehmen und *dadurch* hinterfragbar“¹³⁶ hinsichtlich eines kritischen, konstruktiven und gestalte-rischen Umgangs mit Informatiksystemen zu machen¹³⁷. Mikrocontroller dienen im Hinblick auf die Exemplarität als Paradebeispiel: Wie in *Kapitel 2.2* erläutert, agieren Mikrocontroller als Steuerungselemente in den meisten Informatiksystemen. Diese lassen sich unter dem Obergriff des Computers fassen, wobei sie sich deutlich hinsichtlich ihrer Funktions-, Leistungs- und Nutzungsmöglichkeiten unterscheiden. Mi-kocontroller weisen zudem geringere Flexibilität in der Gestaltung auf. Dies kann jedoch ein Vorteil sein, wenn Mikrocontroller anstelle eines vollwertigen komplexen Computersystems für die unterrichtliche Thematisierung genutzt werden. Während normale Computer äußerst

134 Vgl. Duddeck 2016, S. 39.

135 Vgl. Murmann et al. 2018, S. 32.

136 Murmann 2021, S. 391: Hervorhebung im Original.

137 Vgl. ebd.; Graube et al. 2015, S. 23.

komplex in ihrer Gestaltung und Zusammensetzung sind, gestalten sich Mikrocontroller kompakter und können in Bezug auf die technischen Spezifikationen in ihrer Funktion angepasst werden. Dies lässt sich am Beispiel des Calliope mini verdeutlichen, welcher hinsichtlich seiner didaktischen Funktion und seinem Verwendungszweck an die Bedürfnisse von Kindern angepasst ist (z. B. Größe, Unempfindlichkeit, weniger Kurzschlüsse, etc.). Wie im vorherigen Kapitel thematisiert, bieten Mikrocontroller unabhängig von bestehenden Betriebssystemen die Möglichkeit ein Informatiksystem zu programmieren und es funktionstüchtig zu machen. Im Hinblick auf das Horizontalkriterium wird die Komplexität reduziert und ein fachliches Durchdringen des Gegenstands deutlich vereinfacht. Durch einen Mikrocontroller können die für jegliches Informatiksystem geltenden grundlegenden Funktionsprinzipien vermittelt werden. Die Programmierung und das Verstehen eines eigenen Computers hingegen bedürfen umfangreicher fachlicher Expertise. Dabei muss gerade hinsichtlich einer technischen Handlungskompetenz und einer Technikmündigkeit darauf geachtet werden, dass Kinder früh mit Technik und technischen Handlungs- und Konstruktionsweisen in Kontakt kommen. Dieser frühe Kontakt ist maßgeblich für die Interessenbildung und somit auch für die künftige Berufswahl und das spätere Verhalten gegenüber Technik (Medieneuphorie bzw. -aversion).¹³⁸ Möller ergänzt dies mithilfe kognitionspsychologischer Arbeiten, in welchen die Erschließung von Technik durch aktives Handeln mit derselben zu Stande kommt. Das aktive Handeln inkludiert Prozess- und Ergebnisbewertung, Optimieren, Korrigieren und Schlussfolgerungen und somit auch einen reflektierenden Umgang. Dabei verweist Möller auf die Bedeutung der variablen Gestaltbarkeit und auf das Weiterentwicklungspotenzial sowie auf die Reflexion und Bewertung des Erschaffungsprozesses von Technik.¹³⁹

138 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 10 f.; Graube 2016, S. 73 f.; Möller 2000, S. 333.

139 Vgl. Möller 2000, S. 334 f.

3.3 Zugänglichkeit

In Bezug auf die Zugänglichkeit bzw. das Repräsentationskriterium ist der spielerische Umgang mit Mikrocontrollern hervorzuheben. Ein solcher bricht die Blackbox rund um das Funktionieren von Computern bzw. Informatiksystemen auf. Kinder, die mit Mikrocontrollern arbeiten, können hinter die Hülse von Informatiksystemen blicken und grundlegende Funktionsweisen technischer und informatischen Prinzipien entdecken. Der Einblick in die Funktionsweise und dem Umgang mit dem Mikrocontroller versetzt Kinder in die Lage, ein grundlegendes Verständnis von Steuerungsmedien zu erwerben, was letztlich durch das sichtbare Zusammenspiel von technischen Bedienelementen und Programmierung ermöglicht wird. Indem Kinder den Calliope mini nach ihren eigenen Vorstellungen programmieren und dieser das Programm ausführt, erkennen sie, dass Mikrocontroller bestimmte Steuerungsfunktionen einnehmen. Die individuelle Gestaltbarkeit bietet, wenn auch nur auf eingeschränkter Ebene beim Calliope mini, die Möglichkeit zu verdeutlichen, dass Technik bzw. Informatik veränderbar und an den Bedürfnissen des Menschen ausgerichtet ist. Die Einschränkung ist bedingt durch seine didaktische Funktion. Durch das Vorhandensein von Peripherie und Verarbeitungsinstanzen auf derselben Platine ist die Gefahr gegeben, dass der Calliope mini als Ganzes begriffen wird. Es würde keine Differenzierung zwischen verarbeitenden Instanzen und Peripherie vorgenommen werden, was bei anderen schulisch genutzten Mikrocontrollern (z. B. Arduino) deutlicher wird¹⁴⁰. Der Vorteil des Calliope mini gegenüber anderen Mikrocontrollern ist, dass dieser durch die fest integrierte Peripherie als niedrigschwelliger und fehlerunfalliger Einstieg dienen kann. Nachteilig ist, dass erste Konstruktionsschritte auf der Hardwareebene ausgelassen werden. Diese können bei anderen Mikrocontrollern, wie dem Arduino, realisiert werden. Bei zunehmender unterrichtlicher Nutzung gleicht der Calliope mini dies teilweise aus, da die Möglichkeit der Erweiterung zusätzlicher Peripherie durch verschiedene Anschluss-

140 Vgl. Arduino 2024.

möglichkeiten besteht. *Romeike & Seegerer* zeigen zudem auf, dass haptische „Repräsentationen leichter zugänglich sind als rein virtuelle Repräsentationen“¹⁴¹. Der Calliope mini vereint haptische und virtuelle Elemente und beschränkt sich gerade nicht auf letztere. *Röhner* betont zudem, dass informatische Konzepte durch spielerische Informatiksysteme zugänglicher gestaltet werden können¹⁴², welche auf der lernpsychologischen und motivationalen Ebene für Kinder zugänglicher sind¹⁴³. Dadurch, dass durch die Zugänglichkeit auch die Vermittlung auf verschiedenen Abstraktionsebenen voraussetzt wird, ist auch das Vertikalkriterium erfüllt.

3.4 Zukunftsbedeutung

Graube verzeichnet eine neue technische und damit auch digitale Revolution, in welcher sich klassische technische Wirkungsbereiche verschieben¹⁴⁴. „Technik durchdringt und prägt alle Lebensbereiche des Menschen“¹⁴⁵ und verzeichnet eine exponentielle Progression¹⁴⁶. Schon heute ist Technik nicht mehr als einzelne Disziplin zu betrachten. Sie nimmt einen enormen Stellenwert in der Lebens- und Arbeitswelt ein und ist ein unersetzbarer Teil der Wissenschaft und Wissensgenerierung¹⁴⁷. Erkennbar ist dies in der Technikentwicklung: Während früher technische Erfindungen aus Beobachtungen und Erfahrungen entstanden und später durch aufkommende Wissenschaften komplementiert wurden, entspringen technische Erfindungen heutzutage naturwissenschaftlichen Erkenntnissen. Um diesem Umstand gerecht zu werden, bedarf es einer umfassenden und grundlegenden Bildung.¹⁴⁸

141 Vgl. *Romeike & Seegerer* 2022, S. 214.

142 Vgl. *Gibson* 2012, S. 34 zit. n. *Röhner* 2021, S. 368.

143 Vgl. *Röhner* 2021, S. 368.

144 Vgl. *Graube* 2016, S. 84; *Duddeck* 2016, S. 42.

145 *GDSU* 2013, S. 63.

146 Vgl. *Duddeck* 2016, S. 39.

147 Ebd., S. 39, 50.

148 Vgl. ebd., S. 40, 50; *Klafki* 2007, S. 59 f.

Technischer Fortschritt besteht nicht mehr nur aus einer technischen Verarbeitung von Rohstoffen, sondern aus dem „technischen Umgang mit digital verarbeitbaren Informationen“¹⁴⁹. *Graube* führt dabei die Miniaturisierung, die Entwicklung von Prozessoren, die Einbettung von informationsverarbeitende Teilsysteme in Embedded Systems und damit auch die Verknüpfung zwischen Embedded Systems über das Internet an. Das Ergebnis ist die zunehmende Komplexität von technischen Geräten, welche als Grundlage für informationsverarbeitende Prozesse dienen¹⁵⁰. Das Erfordernis einer Multidisziplinarität wird deutlich. Es muss in der frühen schulischen Bildung angesetzt werden, um aufkommende technisch-digitale Innovation verstehen und weiterzuentwickeln zu können. Dies erfordert ein positives Selbstwirksamkeitskonzept, für welches frühe schulische Bildung ausschlaggebend ist.¹⁵¹

Erschwert wird dies jedoch durch den immer schnellen voranschreitenden technischen Fortschritt. Es entstehen *Digital Insiders* und *Outsiders*. *Digital Insiders* sind Menschen mit Interesse für Technik und deren Funktionsweise. Sie weisen darüber hinaus ein intrinsisches Explorationsverhalten auf und beschäftigen sich eigenständig mit Technik und Informatik. *Digital Outsiders* hingegen nutzen digitale Artefakte ausschließlich zur Bedürfnisbefriedigung und um deren Zweckrationalität.

Schulte konkludiert aus dieser Perspektive, dass „Informatik selbst nicht als eine Disziplin gesehen“¹⁵² wird. Informatik wird nur als Werkzeug zur Fehlerbehebung verstanden. Der entwickelnde, gestaltende und erforderische Charakter von Informatik wird nicht deutlich. Auch der technische Bereich wird als gegeben wahrgenommen. Gerade mit Blick auf den Alltags- und Lebensweltbezug fordert *Schulte* eine Fokussierung auf technische Artefakte zum Erschließen technisch-informatischer Inhalte.¹⁵³

149 *Graube* 2016, S. 84.

150 Vgl. ebd., S. 84 f.; *Mammes* 2018, S. 152.

151 Vgl. *Duddeck* 2016, S. 47, 50.

152 *Schulte* 2022, S. 45.

153 Vgl. ebd.

Graube bekräftigt diese Perspektive, indem sie eine Lücke zwischen IT-Wissensträger:innen und Nicht-IT-Wissensträger:innen beschreibt. Auch sie weist Informations- und Kommunikationssystemen eine Schlüsselrolle zu, exkludiert jedoch Steuerungssysteme in ihrer Analyse.¹⁵⁴ Das von Schulte als *Digital Insider* und *Outsider* bezeichnete Phänomen spiegelt das von Mammes & Tuncsoy angeführte Aversionsverhalten gegenüber technisch-digitalen Artefakten wider. Regelmäßig finden sich zwei gegensätzliche Positionen: Entweder besteht eine starke Aversionshaltung gegenüber technisch-digitalen Artefakten oder eine regelrechte Medieneuphorie.¹⁵⁵ Um einem aufkommenden Aversionsverhalten zu begegnen, welches Giest als Überforderung beschreibt, setzen Mammes & Tuncsoy auf ein positives Selbstkonzept gegenüber technisch-digitalen Artefakten. Zur Entwicklung eines solchen bedarf es der frühen unterrichtlichen Thematisierung zentraler Inhalte, wie etwa grundlegender Funktionsprinzipien von Informatiksystemen.¹⁵⁶ Mittels des Einblicks in die informative Welt, ihre Phänomene und Arbeitsweisen kann und soll eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung und ein intrinsisches Interesse ausgeprägt werden. Über die Einnahme einer Gestalter:in-Perspektive wird dies begünstigt. Dies ist Ziel und Aufgabe informatischer Bildung.¹⁵⁷

Um im Hinblick auf die Zukunftsbedeutung bzw. das Zeitkriterium ein positives Selbstkonzept und eine Handlungsfähigkeit im Umgang mit Technik und Informatik hervorzubringen und zu fördern, bedarf es in unserer sich weiter entwickelnden Gesellschaft einer (frühen) Bildung, die explorierendes Verhalten fördert. Diese soll neben dem Selbstkonzept auch den erforderlichen Charakter sowie Grundlagen der Funktionsweise vermitteln.¹⁵⁸ Ein informatischer Zugang zum Verstehen der Welt und eine daraus resultierende Handlungsfähigkeit ist Ziel informatischer Bildung. Zu einer solchen gehören neben den häufig genannten prozessbezogenen Kompetenzen – wie etwa das „infor-

154 Vgl. Graube 2016, S. 73.

155 Vgl. Schulte 2022, S. 45; Mammes & Tuncsoy 2013, S. 10; Klafki 2007, S. 59 f.

156 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 10 f.; Giest 2010, S. 17.

157 Vgl. Best et al. 2021, S. 8.

158 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 10 f.; Giest 2010, S. 17.

matische Problemlösen, Modellieren und Implementieren sowie Computational Thinking¹⁵⁹ – auch Inhaltsbereiche wie der Aufbau und die Arbeitsweise digital-technischer Artefakte. Die vorangegangenen Anforderungen, die aus technischer Sicht als Kenntnisperspektive bezeichnet werden, sind durch die Bedeutungs- und Bewertungsperspektive zu ergänzen. Diese fokussieren die Mensch-Artefakt-Wechselwirkungen.¹⁶⁰ Eine solche kann nur wahrgenommen werden, indem technisch-informatische Artefakte als etwas Erschaffenes begriffen werden. Dies inkludiert die Wahrnehmung der Veränderbarkeit und der Weiterentwicklungsmöglichkeiten. Dabei reicht es nicht, als ahnungslose:r Nutzer:in Informatiksysteme bedienen zu können. Es bedarf vielmehr eines Verständnisses davon, dass der Mensch Technik und Informatik als Werkzeug erschuf und diese auch weiterentwickelt werden können.

Brinda kritisiert den gegenwärtigen Umgang mit dem epochaltypischen Schlüsselproblem und unterstreicht die derzeitige Vernachlässigung von Steuerungsmedien. Im Anschluss begründet er das Erfordernis einer unterrichtlichen Thematisierung damit, dass eine verengte Wahrnehmung der Lebens- und Arbeitswelt zu einer unrealistischen und unkritischen Bewertung der Risiken und Chancen technisch-digitaler Artefakten führt. Er fordert die Ausbildung von Fähigkeiten zur Gestaltung und Bewertung hinsichtlich der Umsetzungsmöglichkeiten und des Aufwands.¹⁶¹ Ähnlich klingt dies bei *Gibson*, wenn er ein über das reine Anwenden hinausgehendes Konzeptionswissen fordert.¹⁶² Diesbezüglich müssen Lehrkräfte ihr nachweisliches Aversionsverhalten gegenüber technischen und technisch-digitalen Themen ablegen, da sie unbewusst ihre Vorstellungen und Aversionen an ihre Schüler:innen weitergeben und deren Technikbildung negativ beeinflusst wird.¹⁶³

159 Best et al. 2021, S. 6.

160 Vgl. ebd.

161 Vgl. Brinda 2017, S. 179.

162 Vgl. Gibson 2012, S. 34 zit. n. Martschinke, Palmer Parreira & Romeike 2021, S. 138.

163 Vgl. Mammes 2018, S. 212; Duddeck 2016, S. 47, 50.

3.5 Struktur des Inhalts

Dass die unterrichtliche Thematisierung der Funktionsweise von technisch-digitalen Artefakten vielfach gefordert wird, ist deutlich geworden. Ausgehend von den klassischen Inhalten – definiert durch die *Gesellschaft für Informatik*¹⁶⁴ – welche sich stark an der Struktur fachwissenschaftlicher Konzepte orientieren, entwickeln *Schulte & Budde* eine didaktische Herangehensweise: Sie stellen, vereinfacht gesagt, das sozio-technische Bezugssystem in den Mittelpunkt der Auseinandersetzung. Der Fokus liegt auf dem Kontext, in welchem das Artefakt genutzt wird. Ausgehend von den in Zukunft erforderlichen Kompetenzen, verfolgt der Ansatz Selbstwirksamkeit und einen verantwortungsvollen Umgang mit technisch-digitalen Artefakten. Diese Kompetenzen werden durch die *Gesellschaft für Informatik* nicht in ihrer Gänze mit dem Inhaltsbereich *Informatik, Mensch & Gesellschaft* abgedeckt.¹⁶⁵ Das hybride Interaktion System von *Schulte & Budde* fokussiert die Interdependenzen zwischen dem Menschen und dem Artefakt. Sie führen die wechselseitige Beeinflussung von Mensch und Computer an. Dies geschieht einerseits vom Menschen auf den Computer etwa durch die Bedienung und Programmierung. Andererseits gehen sie auf den Einfluss des Computers auf den Menschen ein. Dabei wird einem „Bewusstsein über die dynamische Beziehung“¹⁶⁶ zwischen Mensch und digitalem Artefakt nicht nur Bildungsgehalt zugesprochen, sondern auch die Fähigkeit zur Weiterentwicklung.¹⁶⁷

164 Vgl. Gesellschaft für Informatik 2019, S. 9 ff.: Informationen & Daten, Algorithmen, Sprache & Automaten, Informatiksystem und Informatik, Mensch & Gesellschaft.

165 Vgl. Schulte & Budde 2018, S. 1.

166 Ebd., S. 3: Übersetzung von Verfasserin.

167 Vgl. Schulte & Budde 2018, S. 3.

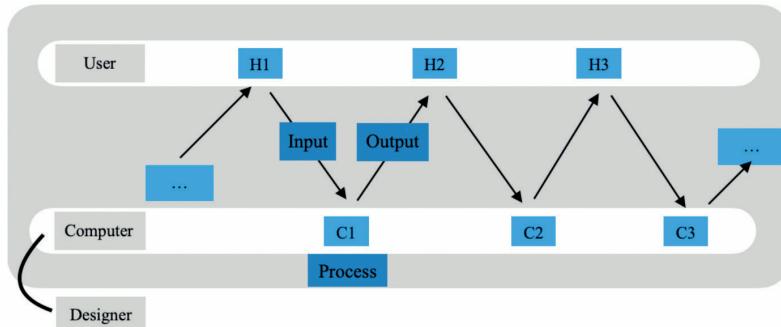


Abbildung 2: Kontext des hybriden Interaktionssystems nach Schulte & Budde 2018

Die Existenz des technischen Artefakts wird dabei vorausgesetzt und nicht in die Gleichung mit einbezogen. Die Wechselwirkung zwischen Nutzer:in und Computer sind in der Abbildung 2 durch In- und Output gekennzeichnet. Die technische Gestaltung wird durch den externen oder die externe Produktdesigner:in vorgegeben und begrenzt.¹⁶⁸

Aus dem Wissen über das Vorhandensein von Interdependenzen und externen Einflüssen fordern Schulte & Budde die Ausprägung einer Handlungsfähigkeit: „[T]he key is the notion that only(!) being able to influence the technical part allows to become and stay a selfdetermined human being in the age of ubiquitous Hybrid Interaction Systems“¹⁶⁹. Schulte führt dazu die Architekturperspektive an: Die Frage nach Bestandteilen und deren gemeinsamen Wirkungsweisen kann durch die klassischen Wer-, Wie- und Was-Fragen abgedeckt werden. Im Falle eines Mikrocontrollers beläuft sich das exemplarisch auf Fragen, wie bspw.: *Was verarbeitet der Mikrocontroller?* Die Architekturperspektive wird durch die Relevanzperspektive ergänzt, indem bei jener Perspektive Zwecke, Wirkungen und Intentionen im Vordergrund stehen. Diese werden durch Wieso-, Weshalb- und Warum-Fragen abgedeckt, wie z. B.: *Wieso wurden die Bestandteile des Mikrocontrollers zunehmend*

168 Vgl. Schulte & Budde 2018, S. 4.

169 Ebd., S. 10: Hervorhebungen im Original.

verkleinert? Entsprechend widmet sich die Architekturperspektive dem Gegebenen, also jenem „was sich objektiv erfassen und messen lässt, sie ist entweder richtig oder falsch dargestellt“¹⁷⁰, und die Relevanzperspektive bewertet die Artefakte im jeweiligen Kontext.¹⁷¹

Alternativ bietet das Konzept des *Physical Computing* eine Zugangsmöglichkeit zu technisch-informatischen Konzepten im Rahmen der Gestaltung eingebetteter Systeme, um diese kennenzulernen und spielerisch-künstlerisch zu erforschen¹⁷². Unter diesem Ansatz verstehen *Przybylla & Romeike* eine „kreative Gestaltung und Entwicklung interaktiver, physischer Objekte und Systeme, die als programmierte, greifbare Medien über Sensoren und Aktoren mit ihrer Umwelt kommunizieren“¹⁷³. Ziel ist die Vereinbarkeit von Kreativität und Zugänglichkeit, welche neben Sensor- und Aktorboards mittels Mikrocontrollerboards an die Schüler:innen herangetragen wird.¹⁷⁴ Informatische Inhalte und Handlungsweisen können kontextualisiert und somit zugänglich gestaltet werden (siehe *Kapitel 3.6*). Die praktische Erprobung des Konzepts erweist sich als gewinnbringend, da nicht nur theoretische Konzepte, sondern auch hardware- und softwarespezifischen Herausforderung mit und durch die Kinder bearbeitet werden können. *Przybylla & Romeike* beschreiben diesen Zugang als überaus konkret und zugänglich.¹⁷⁵ Die Schüler:innen entwickeln „in ihrer Ganzheit zu betrachtende Informatiksysteme bestehend aus Hard- und Software und beurteilen ihre Entwürfe kritisch“¹⁷⁶. Durch eine Betrachtung der eigenen Konstruktionen werden für die Schüler:innen Veränderung und Auswirkung ersichtlich.¹⁷⁷

170 Schulte 2022, S. 46.

171 Vgl. ebd.

172 Vgl. Przybylla & Romeike 2017, S. 263.

173 Ebd.

174 Vgl. Przybylla & Romeike 2013, S. 138 f.

175 Przybylla & Romeike 2017, S. 265.

176 Przybylla & Romeike 2013, S. 141.

177 Vgl. ebd.

3.6 Umsetzungsansätze

Verschiedene Ansätze zur Thematisierung der technischen Funktionsweise von Mikrocontrollern, Informatiksystemen bzw. Computersysteme weisen unterschiedliche Abstraktionsgrade auf. Im Folgenden werden einige vielversprechende Umsetzungsmöglichkeiten sowie Materialien angeführt.

Im Bereich *Informatik unplugged* wird informatische Bildung ohne den Einsatz von Soft- und Hardware gelehrt. *Dickins & Nielson* verbinden in Gestalt eines Bilderbuchs computernahe Illustrationen mit prägnanten Erklärungen, um das technisch-informatische Phänomen um das Funktionieren eines Computers aufzuarbeiten. Themen wie bspw. die binären Zahlen, der Blick in das Innere eines Computers oder auch die Auflistung von Peripherie werden abgebildet und erklärt. Eine Sicht in die Blackbox wird mittels der aufklappbaren Laschen nicht nur thematisiert, sondern auch visualisiert. Dies stellt nicht nur ein Lernmaterial zum Explorieren dar, sondern ermöglicht auch eine Einbindung in einen technisch-informatischen Unterricht. Eine deutsche Übersetzung des Werks ist bislang (leider) noch nicht erfolgt.¹⁷⁸

Batur & Bergner entwickelten das Konzept *Zauberschule Informatik* mit verschiedenen Stationen zu unterschiedlichen technisch-informatische Inhalte¹⁷⁹. Während sich eine Station Binärzahlen widmet, behandeln weitere Stationen Prüfbits und eine Fehlersuche. Das Modul weist weitere Stationen auf.¹⁸⁰ Für den hiesigen Kontext ist die sechste Station, namens *Der Computer*, von Relevanz. Mittels eines siebenminütigen Videos wird den Kindern der Aufbau und die Funktionsweise eines Computers erklärt. Das Gelernte wird mittels einer Zuordnungsaufgabe gesichert. Relevante Komponenten sind haptisch verfügbar.¹⁸¹

Ein anderer Ansatz ist das *Physical Computing* (Kapitel 3.5), in welchem Informatiksysteme als sozio-technische Systeme verstanden werden. Hierbei erfährt nicht nur die Systemumwelt, sondern jegliche

178 Vgl. Dickins & Nielson 2015 zit. n. Röhner 2021, S. 371; Dickins & Nielson 2015.

179 Vgl. Batur & Bergner 2012, S. 87 ff.; Bergner, Leonhardt & Schroeder 2016, S. 36 f.

180 Vgl. Petrut, Bergner & Schroeder 2017, S. 65.

181 Vgl. Batur & Bergner 2012, S. 87 ff.

Herausforderungen im Software-, Hardware- und Anwendungskontext Aufmerksamkeit.

Eine Umsetzungsmöglichkeit wurde von *Przybylla & Romeike* in einer gemischten Lerngruppe der achten und elften Klasse erprobt. Dabei entwickelten die Schüler:innen eine eigene Smart City. Mittels Legos, dem Arduino TinkerKit und dem Snap4Arduino nahmen sich Gruppen von Schüler:innen technisch-informatischen Problemstellungen an. Die Kontextualisierung verdeutlichte den Schüler:innen, dass eingebetteten Systeme eine bedürfnisorientierte Gestaltung zulassen. *Przybylla & Romeike* orientierten sich dabei an Leitfragen, welche von *O'Sullivan & Igoe* entwickelt wurden¹⁸²: Es wurde bei der Planung die jeweilige Perspektive der Nutzer:innen und Entwickler:innen angenommen. Die zuletzt genannte Perspektive erhält durch das Time-to-Market-Konzept einen direkten Realitätsbezug.¹⁸³

Flemming & Strecker setzten Physical Computing auch für Grundschulkinder um. Im kleineren Kontext arbeiteten die Kinder mit dem Arduino in einer Box. Hier wurden nur Anschlüsse für USB und Steckernetzteile freigelegt. Die Kinder konnten mittels Lego-Duplo-Steinen und dem Arduino ihre eigene Miniwelt bauen. Genauso wie bei *Przybylla & Romeike* programmierten die Schüler:innen bspw. Applikationen im Straßenverkehr. Darunter fallen bspw. Lichtschränken und Bewegungsmelder.¹⁸⁴

Weitere (digitale) *Arbeitsmittel*, in Form von Arbeitsheften, lassen neben der Aufbereitung und Vermittlung von Inhalten auch die Arbeit mit Informatiksystemen und Programmierplattformen zu. Die Technische Universität Kaiserslautern und das Pädagogische Landesinstitut Rheinland-Pfalz schafften bspw. eine digitale Lernumgebung für den Informatikunterricht¹⁸⁵. Die Lernplattform thematisiert aufeinander aufbauende informatische Grundlagen, welche mittels verschiedener digitaler Methoden, bspw. Drag-and-Drop, vermittelt werden.

182 Vgl. O'Sullivan & Igoe 2004 zit. n. Przybylla & Romeike Ralf 2017, S. 264.

183 Vgl. Przybylla & Romeike 2017, S. 263 ff.

184 Vgl. Flemming & Strecker 2016, S. 66 ff.

185 Vgl. Gesellschaft für Informatik 2019; Inf-Schule.

Die Website beinhaltet auch Themen zur Rechnerarchitektur, welche neben dem grundlegend zu vermittelndem Aufbau von Rechnersystemen auch die Digitaltechnik aufarbeitet. Dabei wird bspw. auch die Arbeitsweise eines Rechners durch eine Software visualisiert, welche das Blackboxphänomen einsichtig gestaltet. Ebenfalls ist die Einbindung von praktischen Umsetzungsideen wie bspw. am Calliope mini gegeben.¹⁸⁶ Aufgrund der fachlichen Tiefe und der sprachlichen Umsetzung ist die Lernumgebung eher für die unterrichtliche Einbindung in der Sekundarstufe gestaltet. Eine Auswahl an Inhalten, sowie eine sprachliche und didaktische Rekonstruktion für den Primarbereich besteht bisher nicht; eine solche Umsetzung gestaltet sich jedoch nicht als unmöglich.

Speziell für die Grundschule mit Blick auf das Kennenlernen und Nutzen des Calliope mini, stellt die Calliope gGmbH u. a. ein Arbeitsheft zur Verfügung. In diesem soll den Schüler:innen der Calliope mini und dessen Aufbau nähergebracht sowie erste Programmiererfahrungen ermöglicht werden.¹⁸⁷

Zusammenfassend sind Arbeitsmaterialien und Umsetzungsideen zur Thematisierung der technischen Funktionsweise von Informatiksystemen im Primarbereich kaum vorhanden. Umsetzungsbeispiele fokussieren sich oftmals auf das Programmieren. Die technische Funktionsweise von Informatiksystemen wird meist deutlich reduziert behandelt, wobei die Arbeit am konkreten Gegenstand zweitrangig erscheint.

¹⁸⁶ Vgl. Inf-Schule.

¹⁸⁷ Vgl. Calliope gGmbH 2024a: Die Calliope gGmbH stellt darüber hinaus weitere Online-Tools wie bspw. Foren oder Programmieranleitungen zur Verfügung.

