

YOUNG ACADEMICS

Pädagogik
9

Annica Schönfeld

Mikrocontroller im Sachunterricht

Erlebensweisen von Kindern zur technischen
Funktionsweise des Calliope mini

YOUNG ACADEMICS

Pädagogik | 9

Annica Schönfeld

Mikrocontroller im Sachunterricht

**Erlebensweisen von Kindern zur technischen
Funktionsweise des Calliope mini**

Mit einem Vorwort von Prof. Dr. Lydia Murmann

Tectum Verlag

Annica Schönfeld, geboren 2000; Master of Education (Lehramt an Grundschulen) an der Universität Bremen 2024; derzeit Lehramtsanwärterin in Niedersachsen. Die vorliegende Arbeit lag der Universität Bremen 2024 unter dem Titel „Kindervorstellungen zur technischen Funktionsweise von Mikrocontrollern am Beispiel des Calliope Mini“ als Masterarbeit vor. Sie wurde dort im Jahr 2025 mit dem Förderpreis Master of Education ausgezeichnet. Zum Zwecke der Veröffentlichung wurde die Arbeit geringfügig überarbeitet.

Annica Schönfeld
Mikrocontroller im Sachunterricht
Erlebensweisen von Kindern zur technischen Funktionsweise des Calliope mini

Young Academics: Pädagogik; Bd. 9

1. Auflage 2025

© Die Autorin

ISBN 978-3-68900-488-0

ePDF 978-3-68900-489-7

ISSN 2941-6329



Onlineversion

DOI: <https://doi.org/10.5771/9783689004897>

Publiziert von
Tectum – ein Verlag in der Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG
Waldseestraße 3–5 | 76530 Baden-Baden
www.tectum-verlag.de

Gesamtherstellung:
Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG
Waldseestraße 3–5 | 76530 Baden-Baden

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung
4.0 International Lizenz.

Vorwort

Die Auswahl von Unterrichtsinhalten konzeptionell und wissenschaftlich zu fundieren, ist eine wesentliche Aufgabe der Fachdidaktiken. Digitalität, Digitalisierung und die damit verknüpften gesellschaftlichen Entwicklungen verstehbar zu machen, eine wesentliche Aufgabe der Informatikdidaktik und der Sachunterrichtsdidaktik. Informatik ist für Grundschulen ein noch neuer Inhaltsbereich, zugleich können Kinder in ihrer Lebenswelt zahlreichen digitalen Artefakten begegnen und vielfältige Erfahrungen mit Informatiksystemen machen. Diese stellen sich jedoch in der Regel als Blackboxes dar. Sie zeigen sich in ihrer Funktion, aber sie zeigen nicht, dass und inwiefern Programmierung oder Hardwareelemente nötig sind, um diese Funktionen zu realisieren.

Welche Inhalte sind im Sachunterricht geeignet, um Kindern grundlegende Kenntnisse und Fähigkeiten zugänglich zu machen, die es ihnen ermöglichen, Digitalität und Informatiksysteme zu verstehen und mitzugestalten? Welche Inhalte sind grundlegend, interessant, anschlussfähig an Wissensbestände der Informatik und außerdem anschlussfähig an die Erfahrungen, Beobachtungen und Fragen der Schüler:innen, die aus ihrer Lebenswelt entstehen? Während zahlreiche didaktische Ansätze das Programmieren, also Software, als Zugang zur Informatik für die Grundschule ins Zentrum stellen, verfolgt Annica Schönfeld die Frage, ob und inwiefern sich die technischen Funktionsweisen von Informatiksystemen auf der Ebene der Hardware als Unterrichtsinhalte eignen. Hierzu hat sie im theoretischen Teil der Arbeit bildungstheoretische und konzeptionelle Ansätze recherchiert und den internationalen Forschungsstand aufgearbeitet. Darüber hinaus hat sie 2024 mit 14 Dritt- und Viertklässler:innen teilstrukturierte Interviews einschließlich praktischer Handlungssequenzen zur Funktionsweise

des Mikrocontrollers Calliope mini durchgeführt und phänomenographisch ausgewertet. Die Analyse zeigt das Spektrum an Vorstellungen und Wahrnehmungsstrukturen der Kinder zu den Bereichen ‚Prozess der Verarbeitung‘ (EVA-Prinzip), ‚Signalleitungen‘, ‚analoge und digitale Signale‘ und ‚Programmierung‘ auf und lässt erkennen, welche Aspekte der jeweiligen Funktionen und Bauteile den Kindern leicht zugänglich und welche voraussetzungsvoller sind.

Im Ergebnis kommt die Autorin zu der Schlussfolgerung, dass sich verschiedene Aspekte der technischen Funktionsweise von Informatiksystemen sinnvoll und grundlegend mit Grundschüler:innen erarbeiten lassen und dass diese Erarbeitung integriert im Kontext gestalten der Aufgaben erfolgen kann und sollte. Insbesondere für (angehende) Grundschullehrer:innen und diejenigen, die an der Lehrer:innenbildung beteiligt sind, ist die Studie eine Fundgrube an Erkenntnissen zu den Begründungen und Voraussetzungen informatischer Unterrichtsinhalte in der Grundschule.

Prof. Dr. Lydia Murmann
Universität Bremen

Danksagung

An erster Stelle möchte ich meinen beiden Betreuerinnen Prof. Dr. Lydia Murmann und Dr. Iris Bockermann meinen herzlichen Dank aussprechen. Ihre fachliche Begleitung, ihre wertvollen Hinweise und die stets offene Gesprächsbereitschaft haben das Entstehen dieser Masterarbeit in entscheidender Weise geprägt. Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Lydia Murmann, die mir in der Phase der Überarbeitung für diese Veröffentlichung mit Geduld, Rat und konstruktiver Kritik zur Seite stand.

Ich danke der Guth'sche Stiftung – Gemeinnützige Stiftung Dr. Gerhard Guth und Dr. Manuela Guth für die finanzielle Unterstützung zur Publikation dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Begriffsklärung	5
2.1	Was sind Informatiksysteme?	5
2.2	Funktion und Eigenschaften des Calliope mini	6
2.3	Technische oder informatische Bildung?	10
2.3.1	Technik und technische Bildung	10
2.3.2	Informatik und informatische Bildung	16
3	Ansätze zur Begründung des Inhalts als Gegenstand des Sachunterrichts	21
3.1	Gegenwartsbedeutung	24
3.2	Exemplarische Bedeutung	25
3.3	Zugänglichkeit	27
3.4	Zukunftsbedeutung	28
3.5	Struktur des Inhalts	32
3.6	Umsetzungsansätze	35
4	Forschungsstand: Kindervorstellungen zu technisch-digitalen Phänomenen	39
5	Forschungsfrage der empirischen Erhebung	49

6	Darstellung der Untersuchung	53
6.1	Untersuchungsgegenstand – Kindervorstellungen	53
6.2	Forschungsansatz – Phänomenographie	55
6.3	Erhebungsmethode – Qualitative Interviews	57
6.4	Erhebungstool – Interviewleitfaden	59
6.5	Stichprobe, Untersuchungsbedingungen und Dokumentation	68
7	Auswertung der Daten	71
7.1	Der Prozess der Verarbeitung	75
7.1.1	Darlegung des Datensatzes	76
7.1.2	Darlegung des Kategoriensatzes	82
7.1.3	Diskussion des Kategoriensatzes	82
7.2	Signalleitungen	85
7.2.1	Darlegung des Datensatzes	86
7.2.2	Darlegung des Kategoriensatzes	89
7.2.3	Diskussion des Kategoriensatzes	90
7.3	Analoge und digitale Signale	91
7.3.1	Darlegung des Datensatzes	92
7.3.2	Darlegung des Kategoriensatzes	94
7.3.3	Diskussion des Kategoriensatzes	95
7.4	Programmierung	96
7.4.1	Darlegung des Datensatzes	97
7.4.2	Darlegung des Datensatzes	100
7.4.3	Diskussion des Kategoriensatzes	100
7.5	Darstellung der Ergebnisse und Revision anhand von Gütekriterien	102
7.5.1	Darstellung der Ergebnisse	102
7.5.2	Revision anhand von Gütekriterien	108

8 Fazit – Konsequenzen für den Sachunterricht	111
Literaturverzeichnis	117
Abbildungsverzeichnis	127
Anhang 1: Codesystem und Ergebnisräume	129
Anhang 2: Interviewleitfaden	163

1 Einleitung¹

Seit dem Schuljahr 2020/2021 stellt das Land Bremen jeder Schülerin und jedem Schüler ein iPad als schulisches Arbeitsmittel zur Verfügung². Vom Bundesministerium für Bildung und Forschung wird diese Tendenz zur Schaffung einer digitalen Bildungsinfrastruktur vorangetrieben und durch die einzelnen Bundesländer konkretisiert³. Ziel dieser digitalen Bildungsinfrastruktur ist die Anpassung der Curricula an die zunehmend digitalisierte und technisierte Lebenswelt der Schüler:innen⁴.

In Bezug auf die digitalisierte Lebenswelt der Schüler:innen beschränkt sich das Wissen über Informatiksysteme jedoch auf ein schlichtes Bedienungswissen. Grundlegende Wirkprinzipien, wie der Aufbau und die Arbeitsweise von Informatiksystemen, bleiben regelmäßig unerkannt.⁵ Die Forderungen nach einem Mehr an Programmierkenntnissen und prozessbezogenen Kompetenzen in der Grundschule nehmen zu⁶. Das Erklären der fachlichen Funktionsweise von Informatiksystemen durch die Schüler:innen bleibt oftmals außen vor. *Schwill & Schubert* widerlegen die gängige Annahme, „dass Schüler beim Entwerfen kleiner Programme ein tragfähiges kognitives Modell vom Rechner oder von Informatiksystemen im Allgemeinen entwickeln“⁷, womit eine unter-

1 Im Folgenden werden Fußnoten vor dem Satzzeichen gesetzt, wenn sich die Quelle(n) auf den vorigen Satz beziehen. Ist die Fußnote nach dem Satzzeichen, bezieht sich die Quelle auf den vorigen Absatz bzw. den Teil des Absatzes bis zur vorigen Fußnote.

2 Vgl. Die Senatorin für Kinder und Bildung.

3 Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung.

4 Vgl. KMK 2016, S. 8 ff.; GDSU 2013, S. 63.

5 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 9.

6 U. a. Best et al. 2021.

7 Schubert & Schwill 2011, S. 213.

richtliche Thematisierung der zu Grunde liegenden Technik unerlässlich wird. Auch *Gibson* verweist auf den elementaren Gedanken der informatischen Bildung: Lernende erwerben eine angestrebte Handlungsfähigkeit im informatischen und technischen Sinne nur dann, wenn sie neben einer oberflächlichen Bedienungskompetenz erkennen, wie das bediente Informatiksystem funktioniert.⁸ In diese Richtung äußert sich auch die *Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts* (GDSU) und bemängelt die unzureichenden Kompetenzen im Umgang mit Technik hinsichtlich „zugrunde liegende[r] Funktionszusammenhänge“⁹. Dieses Problem wird in der Praxis durch eine Vernachlässigung technikbezogener Inhalte sowie fehlende Professionalität der Lehrenden begünstigt¹⁰. In dieses Bild fügt sich ebenfalls der „mangelnde Konsens über die Gestaltung und Implementierung solcher Bildungsprozesse in der Institution Schule“¹¹ ein.

Um Lernenden einen verantwortungsvollen Umgang mit Informatiksystemen zu vermitteln, benötigen diese konkrete Einsichten in technische Funktionsweisen von Informationssystemen¹². Die GDSU greift dies unter der Perspektive Medien und deren „technische Funktionsweisen“¹³ auf, konkretisiert dies jedoch nicht weitergehend¹⁴. Die *Gesellschaft für Informatik* geht einen Schritt weiter und betont in ihren Kompetenzen für den Primarbereich das altersgerechte Beschreiben des „Aufbau[s] und Funktionsweise von Informatiksystemen“¹⁵.

Ziel dieser Masterarbeit ist es, zu evaluieren, inwieweit sich die technische Funktionsweise von Informatiksystemen eignet, Gegenstand des Sachunterrichts zu sein. Exemplarisch wird dies am Beispiel von Mikrocontrollern erforscht, da diese in der Lebenswelt der Lernenden als Steuerungsmedien für Informatiksysteme agieren (bspw. iPads/Tablets,

8 Vgl. Gibson 2012, S. 34 zit. n. Röhner 2021, S. 368; Röhner 2021, S. 368 f.

9 GDSU 2013, S. 63.

10 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 16.

11 Mammes & Tuncsoy 2013, S. 8.

12 Vgl. Murmann 2021, S. 391.

13 Ebd., S. 85.

14 Es ist zu erwarten, dass im nächsten Perspektivrahmen der GDSU eine umfassende Konkretisierung stattfindet.

15 Gesellschaft für Informatik 2019, S. 11.

Handys etc.). Als Anschauungsbeispiel dient der Calliope mini, da dieser speziell als Arbeitsmittel für die Primarstufe entwickelt und erprobt wurde.

Zu Beginn wird die technische Funktionsweise von Mikrocontrollern am Beispiel des Calliope mini aufgearbeitet¹⁶ und das in ihm verkörperte Phänomen interdisziplinär eingeordnet (*Kapitel 2*)¹⁷. Gestützt auf die Begründungsdimensionen von *Klafki* und die fundamentalen Ideen von *Schwill* wird die Eignung des Themenbereichs (technische Funktionsweise von Mikrocontrollern) als Gegenstand des Sachunterrichts untersucht (*Kapitel 3.1 bis 3.5*)¹⁸. Das Kapitel wird mittels eines kurzen Blickes auf bisherige schulische Umsetzungsmöglichkeiten resümiert (*Kapitel 3.6*). Im Anschluss wird die bisherige empirische Forschung über die Vorstellungen von Kindern zu Informatik und Informatiksystemen aufgezeigt (*Kapitel 4*)¹⁹. Daraus wird die zentrale Forschungsfrage des empirischen Teils dieser Arbeit entwickelt (*Kapitel 5*). Im darauffolgenden Kapitel wird das Forschungssetting dargelegt und begründet (*Kapitel 6*). Die Datenerhebung erfolgte mittels qualitativer Interviews, in welcher die Erlebensweisen zur technischen Funktionsweise von Mikrocontrollern anhand des Calliope mini untersucht wurden. Mittels der Phänomenographie von *Marton & Booth* werden die Aussagen der Kinder reflektiert, interpretiert und ausgewertet (*Kapitel 7*). Die gewonnenen Daten sowie bisherige Forschungsergebnisse dienen als Grundlage, um die technische Funktionsweise von Informatiksystemen – wie hier anhand eines Mikrocontrollers – als künftigen Themenbereich des Sachunterrichts zu begründen oder zu widerlegen.

16 U. a. in Bezug auf Claus & Schwill 2003; Herold et al. 2023; Bergner et al. 2018; Wüst 2003; Brinkschulte & Ungerer 2010.

17 U. a. in Bezug auf Mammes & Tuncsoy 2013; Schmayl 2019; Graube et al. 2015; Mammes 2018; Schulte 2022; Röhner 2021; Best et al. 2021; Gesellschaft für Informatik 2019.

18 U. a. in Bezug auf Klafki 1958/1985/2007; Schwill 1993; Duddeck 2016; Mammes 2018; Graube 2016; Brinda 2017; Schulte & Budde 2018; Petrut, Bergner & Schroeder 2017.

19 U. a. in Bezug auf Petrut, Bergner & Schroeder 2017; Müller & Schulte 2017; Pan-
cratz 2021; Robertson, Manches & Pain 2017.

2 Begriffsklärung

Das folgende Kapitel definiert die Begriffe Informatiksysteme sowie Mikrocontroller und konkretisiert diese Phänomene anhand des Calliope mini. Daran anschließend werden die Grundsätze der technischen und informatischen Bildung herausgearbeitet, in deren Spannungsverhältnis sich der Calliope mini befindet.

2.1 Was sind Informatiksysteme?

Informatiksysteme sind durch deren „spezifische Zusammenstellung von Hardware, Software und Netzverbindungen zur Lösung eines Anwendungsproblems“²⁰ gekennzeichnet. Unter dem Begriff der Hardware werden die technischen Komponenten gefasst. Dazu zählt der Aufbau, die grundlegende Organisation von Computersystemen und deren Bestandteile, wie bspw. Prozessoren, Speicher, Schnittstellen und Peripheriegeräte. Das Pendant ist die Software, welche die Bereiche der Systemsoftware und -technologie umfasst. Ersterer umfasst Algorithmen, Datentypen und -strukturen. Letzterer enthält vor allem den Bereich der Programmierverfahren. Unter dem Oberbegriff Software lassen sich zusätzlich alle Anwendungsprogramme verorten, in welchen sich u. a. mit Datenbank- als auch Informationssystemen beschäftigt wird.²¹

Informatiksysteme sind primär nicht auf die technischen Gegebenheiten reduzierbar, sondern umfassen viel mehr Fragen und Lösun-

20 Claus & Schwill 2003, S. 301.

21 Vgl. Werner 2004, S. 25 ff.

gen, welche mit ihnen zusammenhängen²². Die technische Zusammensetzung von Informatiksystemen ist abhängig von den Bedürfnissen der Nutzer:innen²³. Informatiksysteme werden diesbezüglich auch als sozio-technische Systeme bezeichnet, was wiederum die sozialen Interdependenzen hervorhebt²⁴. Die Schaffung und Entwicklung dieser Systeme durch den Menschen ist daher an deren Bedürfnisbefriedigung und insbesondere an der Interaktion mit den Bedienungsmöglichkeiten orientiert.²⁵ Informatiksysteme erfordern damit eine physische Präsenz und eine Regelmäßigkeit im Aufbau verschiedener Systeme, begründet durch ihre informationsverarbeitende und -übertragende Funktion. Nicht zuletzt ist die Eigenschaft der Programmierbarkeit maßgeblich.²⁶

Klassische Informatiksysteme sind bspw. Drucker, Fahrstühle, Handys oder auch Autoteile²⁷. Diese werden zumeist als solches erkannt. Bei fortschreitender technischer Miniaturisierung, wie bspw. bei Spielpuppen, Babyphonen, Motorsteuerungen, Handys, Kameras und Waschmaschinen, wird das zu Grunde liegende Phänomen oftmals nicht bewusst wahrgenommen²⁸.

2.2 Funktion und Eigenschaften des Calliope mini

Die Steuerung- und Kommunikationsaufgaben der soeben beschriebenen Informatiksysteme übernehmen zumeist Mikrocontroller²⁹. Der Begriff des Mikrocontrollers wird im Rahmen dieser Arbeit anhand des Calliope mini aufgegriffen. Dazu werden ausgewählte technische und informatische Grundlagen vereinfacht erläutert.

22 Vgl. Claus & Schwill 2003, S. 301.

23 Ebd.

24 Vgl. Humbert 2003, S. 64.

25 Vgl. Haus der kleinen Forscher 2017, S. 9.

26 Vgl. Pancratz 2021, S. 49.

27 Vgl. Haus der kleinen Forscher 2017, S. 9.

28 Vgl. Duddeck 2016, S. 43; Bergner et al. 2018, S. 269; Herold et al. 2023, S. 41.

29 Vgl. Brinkschulte & Ungerer 2010, S. 1.

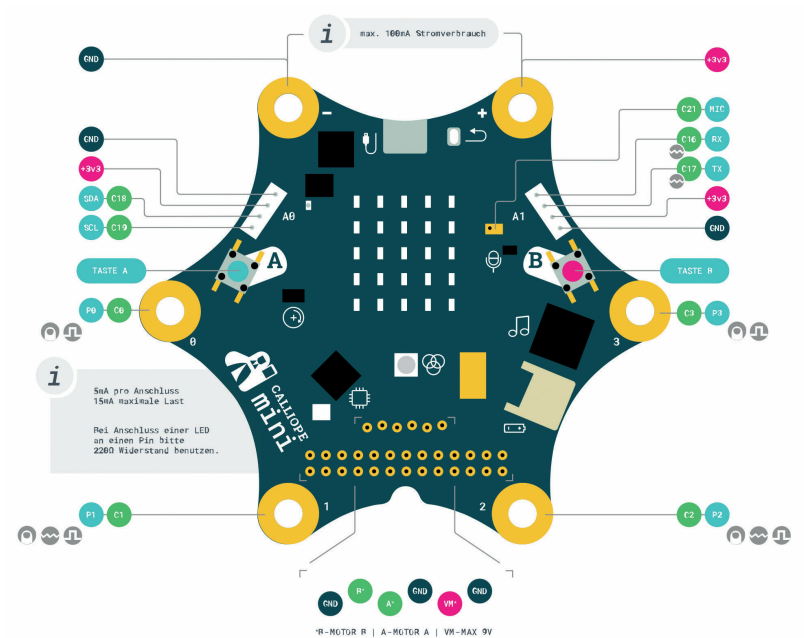


Abbildung 1: Calliope mini v2

Dabei ist zunächst die didaktische Funktion und der Einsatz des Calliope mini für die schulische Bildung hervorzuheben. Der Calliope mini wurde bewusst für Kinder und damit auch für den schulischen Einsatz konzipiert und unterscheidet sich von einem gebrauchsfähigen Mikrocontroller in Größe, Unempfindlichkeit der Hardware und Implementierung gewisser Peripheriegeräte auf derselben Platine mit den Verarbeitungsinstanzen. Durch die offene Gestaltung des Calliope mini werden innenliegende Funktionsprinzipien auf der Hardwareebene (und ggf. auch Softwareebene) freigelegt, wodurch das technisch-informatische Phänomen rund um das Funktionieren von Informatiksystemen zugänglich wird.³⁰

Losgelöst von seiner didaktischen Funktion ist der Calliope mini der Kategorie eines Mikrocontrollers zu zuordnen, welcher sinnbildlich

30 Vgl. Fasel 2016; Noller 2016.

als kleiner Mikrorechner (auch: Computersystem) zu verstehen ist³¹. Mikrorechner werden zur Steuerung oder Kommunikation in *Embedded Systems* entwickelt. Diese Systeme umfassen u. a. Taschenrechner, Mobiltelefone, Haushalts- und Kommunikationsgeräte, bei welchen die Steuerung durch ein Computersystem oberflächlich nicht ersichtlich ist. Für Mikrocontroller ist charakteristisch, dass grundlegende Komponenten auf einem einzelnen Chip verbaut werden.³² Je nach Funktion des Mikrocontrollers werden neben den klassischen Komponenten, wie der Zentraleinheit (CPU) und dem Speicher, auch weitere Ein- und Ausgabeschnittstellen eingesetzt³³. Wesentlicher Vorteil ist nicht nur die geringe Größe des Mikrocontrollers, sondern auch die Integration mehrerer Komponenten auf einem Chip, sodass u. a. durch die Systemkompaktheit Kosten und Fehleranfälligkeiten reduziert werden. Zudem bietet die Programmierfunktion hohe Flexibilität in der Anpassung und Modifikation dieser Steuerungssysteme.³⁴

Das EVA-Prinzip (*Eingabe – Verarbeitung – Ausgabe*) liegt jedem Informatiksystem zu Grunde und beschreibt die Datenverarbeitung. Kernstück des Verarbeitungsschritts ist die Zentraleinheit, welche das Rechen- und Steuerwerk sowie die Arbeits- und Programmspeicher beinhaltet. Hierunter sind auch jene Komponenten inkludiert, welche sich der Steuerung von Ein- und Ausgabekomponenten widmen.³⁵ Die Eingabe- und Ausgabekomponenten „dienen nicht nur der Eingabe von Daten und der Ausgabe von Ergebnissen, sondern außerdem zum Datenaustausch mit Peripheriegeräten wie beispielsweise Tastatur, Maus oder Drucker“³⁶. Der Datenaustausch geschieht über sogenannte BUS-Systeme³⁷.

Die im Kontext dieser Arbeit relevanten Komponenten werden im folgenden Abschnitt anhand des Calliope mini V2.1 aufgezeigt und

31 Vgl. Wüst 2003, S. 190.

32 Vgl. ebd.; Brinkschulte & Ungerer 2010, S. 2; Herold et al. 2023, S. 41.

33 Ebd.

34 Vgl. Wüst 2003, S. 190.

35 Vgl. Ernst, Schmidt & Beneken 2015, S. 13.

36 Ernst et al. 2015, S. 232, 251, 254 zit. n. Pancratz 2021, S. 56.

37 Vgl. Herold et al. 2023, S. 94 f.

grundlegend erklärt. Die nicht angeführten Komponenten sind für das Forschungsvorhaben nicht relevant.³⁸

Der Calliope mini weist einen USB-Anschluss zur Datenübertragung auf, wie auch einen Interface-Prozessor. Der *Raspberry PI RP2040* agiert als Brücke zwischen dem Universal Serial Bus (USB) und dem Anwendungsprozessor, indem Programmcodes über serielle Kommunikationsschnittstellen (bspw. UART) auf diese geladen werden³⁹. Der Calliope mini besitzt in diesem Bereich einen zusätzlichen Flash-Speicher, welcher zur Aufnahme von Daten vorhanden ist und diese auch nach dem Abschalten der Versorgungsspanne erhält⁴⁰.

Der *Nordic nRF51822* ist der Anwendungsprozessor, welcher die Programme ausführt und an alle (Peripherie-)Komponenten angeschlossen ist⁴¹. Dieser Prozessor ist innerhalb der CPU und mit allen Peripheriekomponenten durch sogenannte BUS-Systeme und weitere Schnittstellen verbunden⁴². Der *ARM Cortex-M0 CPU* ist die Zentraleinheit des Calliope Mini, welcher auch als Prozessor oder *Central Processing Unit (CPU)* bezeichnet wird. Hauptfunktion der CPU ist die „Durchführung der eigentlichen Datenverarbeitung [sowie die] Ansteuerung aller notwendigen Funktionseinheiten, wie Speicher, Ein- und Ausgabeeinheiten, Schnittstellen usw.“⁴³ Der *Nordic nRF51822* verfügt zudem über einen Arbeitsspeicher namens *Random-Access-Memory (RAM)* und eine *Flash-Speicher*⁴⁴. Der RAM, auch Arbeitsspeicher genannt, umfasst nicht nur das auszuführende Programm, sondern auch die zu verarbeitenden temporären Daten⁴⁵.

Im Bereich der Peripheriekomponenten werden verschiedene Eingabekomponenten beschrieben. Grundlegende Eingabekomponenten des Calliope mini sind u. a. *Knöpfe A & B* sowie *Pins 0–3*.⁴⁶ Zudem

38 Eine Begründung der Auswahl der Komponenten ist Kapitel 6.4 zu entnehmen.

39 Vgl. Calliope 2024b; Wüst 2003, S. 191.

40 Vgl. Calliope 2024b; Gehrke & Winzker 2022, S. 412.

41 Vgl. Calliope 2024b; Nordic Semiconductor.

42 Vgl. Herold et al. 2023, S. 97.

43 Wüst 2003, S. 4.

44 Vgl. Calliope Dokumentation.

45 Vgl. Herold et al. 2023, S. 97.

46 Vgl. Calliope gGmbH 2024c.

verfügt der Calliope mini über serielle Kommunikationsschnittstellen für analoge und digitale Daten, u. a. namens *UART* und *I²C*⁴⁷. Als Ausgabekomponenten verfügt er u. a. über eine LED Display Matrix und ein Mikrofon⁴⁸.

Der Calliope mini lässt sich mittels verschiedener Programmierumgebungen programmieren. Die frei zugängliche MakeCode-Programmierungsumgebung, bereitgestellt und entwickelt durch Microsoft Research, ist die bewährte und gängige Umgebung. Diese bietet die Möglichkeit, sowohl block- als auch textbasiert zu programmieren.⁴⁹ Anders als bei den anderen kostenlosen Programmierungsumgebungen⁵⁰ kann bei MakeCode mit der niedrigschwelligen Blockprogrammierung gestartet werden, um anschließend auf eine gängige Programmiersprache (*Python/Java*) zu wechseln. Ebenfalls ist MakeCode mit allen Calliope mini Generationen kompatibel und lässt auch die Programmierung von Zusatzkomponenten wie bspw. JadaC-Modulen zu.⁵¹

2.3 Technische oder informatische Bildung?

Im Folgenden wird auf die Bereiche Technik und Informatik und deren Bildungsbezug eingegangen. Im Anschluss wird der Calliope mini entsprechend verortet.

2.3.1 Technik und technische Bildung

Technik beschreibt „die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde“⁵², welche auch als Artefakte oder Sachsysteme beschrieben werden. Artefakte sind grundsätzlich etwas „Erzeug-

47 Vgl. Herold et al. 2023, S. 94; Wüst 2003, S. 191.

48 Vgl. Calliope gGmbH 2024c.

49 Vgl. Calliope gGmbH 2024d.

50 Vgl. Calliope gGmbH 2024e.

51 Vgl. Calliope gGmbH 2024d.

52 Ropohl 2009, S. 31.

tes⁵³, was auf deren Entstehungs- und Verwendungszusammenhang mit menschlichen Handlungen und damit auch auf fortwährende Wandelbarkeit verweist⁵⁴. Technische Artefakte bestehen aus zwei Komponenten: Technische Bauteile weisen Interdependenzen mit sozialen Bedienelementen⁵⁵ auf. Der sogenannte sozio-technische Charakter beschreibt die untrennbare Abhängigkeit beider Komponenten⁵⁶. Diese Charakteristik basiert darauf, dass technische Artefakte keinen Selbstzweck erfahren⁵⁷. Technik zeichnet sich durch die Offenheit der Entscheidungen über die Gestaltung derselben aus, was ebenfalls die Bewertung der „Angemessenheit technischer Lösungen“⁵⁸ und damit auch die kulturprägende Wirkung einbezieht.

Für die menschliche Bedürfnisbefriedigung nehmen technische Artefakte in der heutigen Zeit einen enormen Stellenwert ein. Dies ist auf die technische Durchdringung „sämtlicher Lebens- und Arbeitsbereiche der Menschen“⁵⁹ zurückzuführen, wobei die technischen Artefakte als solche nicht unbedingt ersichtlich sind.⁶⁰ Technik wird daher „als System materieller Mittel und Verfahren begriffen, dass durch menschliches Handeln erzeugt und eingesetzt wird, um gesetzte Ziele zur Befriedigung gesellschaftlicher und individueller Bedürfnisse zu erreichen [...]“⁶¹. *Mammes & Tuncsoy* beschreiben technische Artefakte vor diesem Hintergrund als ein zielorientiertes Ereignis, welches zwischen Natur, Mensch und Gesellschaft besteht⁶². Der vom Menschen intendierte und realisierte Werkzeugcharakter wirkt sich wiederum auf den

53 Banse 2013, S. 26 zit. n. Adenstedt 2021, S. 74.

54 Vgl. ebd.; Ropohl 2009, S. 31; Mammes 2016, S. 155.

55 Soziale Bedienelemente sind technische Bauteile, die in der Interaktion mit Menschen zum Funktionieren eines Artefaktes beitragen. Beispielhaft ist der Knopf des Calliope mini anzuführen. Erst durch das Drücken des Knopfes – die soziale Interaktion – führt der Calliope mini eine Aktion aus.

56 Vgl. Graube 2016, S. 73; Banse 2013, S. 27 zit. n. Mammes 2018, S. 204 f.

57 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 11.

58 Graube et al. 2015, S. 39.

59 Graube 2016, S. 72.

60 Vgl. ebd.

61 Ebd., S. 73.

62 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 11.

vorigen Dreiklang aus⁶³. *Mammes* klassifiziert technische Artefakte und Prozesse als technische Phänomene. Beispielhaft wird das Auto und dessen Bewegungen angeführt⁶⁴. Im weiteren Sinne ist damit auch das nicht Ersichtliche, also ein Computersystem, eingeschlossen.

Nach der Finalorientierung von *Graube* besteht eine technische Handlungskompetenz zum einen aus dem Nutzen von technischen Mitteln und zum anderen aus der Schaffung und Konstruktion derselben⁶⁵. Problematisch ist jedoch, dass jene Konstruktion und Schaffung in heutiger Gesellschaft spezialisierten und arbeitsteiligen Randgruppen vorbehalten ist. Vor dem Hintergrund der gegenwärtigen und sich zuspitzenden Präsenz moderner technisch-digitaler Artefakte im Alltag beschränkt sich die Auseinandersetzung mit diesen regelmäßig auf ein oberflächliches Anwenden.⁶⁶ Dies äußert sich durch das Delegieren von alltäglichen Problemen mit technisch-digitalen Artefakten an Fachpersonal⁶⁷. Das Ziel einer frühen technischen Bildung setzt hier an und strebt ein grundlegendes Verständnis elementarer technischer Vorgänge an, um im Rahmen einer Technikmündigkeit u. a. soziale und wirtschaftliche Folgen, wie auch wissenschaftliche und technische Entwicklungen schaffen, bewerten und einschätzen zu können⁶⁸.

Technische Bildung im Sachunterricht verfolgt nach dem Strukturansatz von *Sachs*⁶⁹ u. a. das Ziel, ein grundlegendes Verständnis von technischen Gegenständen und Verfahrensweisen zu vermitteln⁷⁰. Dieser von *Mammes & Tuncsoy* als „Kenntnisperspektive“ bezeichnete Bereich wird durch die „Handlungs- und Bewertungsperspektive“ ergänzt: Die „Handlungsperspektive“ greift zunächst technikbezogene Fähigkeiten auf, welche sich in der Entwicklung einer technischen Handlungsfähigkeit äußern⁷¹. Die „Bewertungsperspektive“ zielt auf

63 Vgl. Graube 2016, S. 74.

64 Vgl. Mammes 2018, S. 204 f.

65 Vgl. Graube 2016, S. 73 f.

66 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 9.

67 Vgl. ebd.; Graube 2016, S. 73 f.

68 Vgl. Graube et al. 2015, S. 23.

69 Vgl. Sachs 1981, S. 59 f.

70 Vgl. Dölle 2023, S. 188; Mammes & Tuncsoy 2013, S. 12; Schmayl 2019, S. 192 ff.

71 Vgl. Dölle 2023, S. 188; Mammes & Tuncsoy 2013, S. 12.

die umfassende Bewertung von Technik und der Auswirkungen ab⁷². Vollendet werden diese durch die „vorberufliche Orientierungsperspektive“, welche auf die zunehmende Rolle technischer Berufe in unserer Gesellschaft abzielt⁷³.

Demnach soll mittels eines aktiven und konstruierenden Technikunterricht dem abfallenden Interesse (an der Entwicklung und Herstellung von Technik) beim Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe begegnet werden, um so der aufkommenden Aversion entgegenzuwirken⁷⁴. Durch die mangelnde Thematisierung von Technik in der kindlichen Lebenswelt wird diese Vermeidungshaltung begünstigt⁷⁵. Verstärkt wird dieser Umstand durch eine mangelnde technische Kompetenz der Lehrkräfte sowie einer daraus resultierenden fehlenden Umsetzung technischer Inhalte im Sachunterricht⁷⁶. *Mammes & Tuncsoy* sowie *Möller* betonen hier die Relevanz einer frühen Thematisierung von Technik, da sich diese positiv auf das Interesse an technischen Inhalten und das technikbezogene Selbstkonzept auswirkt⁷⁷.

Dies bedeutet nicht, dass Technik durch mangelnde schulische Thematisierung weniger im Leben von Kindern anzutreffen ist, sondern eher, dass Technik vor dem Hintergrund der Digitalisierung, verschweißter Plastikgehäuse, Elektrik und modularen Bauweisen nicht als solche erkennbar ist⁷⁸. Technische Bildung forciert hingegen eine Technikmündigkeit, welche sich nicht ausschließlich einem reinen Nutzen von Technik verschreibt, sondern auf der Basis von technischen Grundlagen auch das Abschätzen und Bewerten von technischen Artefakten und Handlungen gegenüber Individuen und Gesellschaft beschreibt⁷⁹. *Schmayl* führt verschiedene Methoden an, welche ausgehend von einer Problemorientierung im Technikunterrichts kreative

72 Vgl. *Mammes & Tuncsoy* 2013, S. 12.

73 Vgl. ebd., S. 9; *Schmayl* 2019, S. 192.

74 Vgl. *Graube et al.* 2015, S. 22; *Dölle* 2023, S. 188; *Mammes* 2018, S. 204; *Mammes & Tuncsoy* 2013, S. 9 f.; *Möller* 2000, S. 333.

75 Vgl. *Möller* 1998, S. 89; *Mammes & Tuncsoy* 2013, S. 10; *Acatech* 2009.

76 Vgl. *Mammes & Tuncsoy* 2013, S. 16.

77 Vgl. *Mammes & Tuncsoy* 2013, S. 9 f.; *Möller* 2000, S. 332 f.

78 Vgl. *Mammes, Zolg & Dölle* 2022, S. 158.

79 Vgl. *Mammes & Tuncsoy* 2013, S. 9.

Lösungen von den Schüler:innen fordern. Dabei werden neben Konstruktions-, Fertigungs- und Reparaturaufgaben auch Experimente und technische Analysen genannt.⁸⁰ Ausgehend davon ist Technikunterricht als produktiv, konstruierend und problemlösend anzusehen und umfasst im Strukturansatz folgende Problem- und Handlungsfelder:

- Arbeit und Produktion
- Bauen und Wohnen
- Transport und Verkehr
- Versorgung und Entsorgung
- Information und Kommunikation
- Haushalt und Freizeit⁸¹
- Schützen und Sichern⁸²
- Selbstentfaltung und Lebensgestaltung⁸³.

Betont werden muss, dass dieser Ansatz vom Menschen und damit von dem Verwendungsansatz technischer Artefakte ausgeht und nicht von den Sachsystemen selbst. Begründet hat *Sachs* dies durch die Wirkungen der Technik innerhalb der angeführten Problem- und Handlungsfelder.⁸⁴ Nach diesem Ansatz wird Technik unter den Problem- und Handlungsfeldern wie etwa „Bauen und Wohnen“ oder auch „Informationen und Kommunikation“ betrachtet, also hinsichtlich des Verwendungszwecks und nicht des Artefakts selbst. Der Strukturansatz muss daher gesondert betrachtet: Nach *Schmayl* verortet sich dieser Ansatz in einer human-sozialen Dimension von Technik⁸⁵, welche nicht auf

80 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 13; Schmayl 2019, S. 209: Schmayl führt hin-zukommend Lehrgänge an. Diese Aufgabenbereiche umfassen jegliche fachspezifi-schen Methoden.

81 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 13; Graube 2016, S. 73; Sachs 1981, S. 64; GDSU 2013, S. 63.

82 Die Problem- und Handlungsfelder wurden im Laufe der Jahre überarbeitet und ergänzt. Die von Sachs angeführten Felder wurden um „Haushalt und Freizeit“ und „Schützen und Sichern“ von Schlagenhauf 2009 (zit. n. Graube 2016, S. 73) sowie auch durch Schmayl 2019, S. 195 ergänzt.

83 Das Problem- und Handlungsfeld „Selbstentfaltung und Lebensgestaltung“ wurde durch Schmayl 2019, S. 195 ergänzt.

84 Vgl. Sachs 1981/2001 zit. n. Schmayl 2019, S. 193.

85 Vgl. Ropohl 2009, S. 32.

die Technik der Sache selbst, die Artefakte, abzielt. Dieser Ansatz kann nichtsdestotrotz im weiteren Sinne eine Einordnung des Gegenstandes dieser Untersuchung im Bereich der Technik ermöglichen und damit auch das Vorhandensein von komplexen technischen Artefakten in der Lebenswelt von Kindern begründen.⁸⁶ Daraus folgt die Einordnung des Mikrocontrollers im Bereich der Technik. Trotzdem kann nicht außer Acht gelassen werden, dass Mikrocontroller aus „informationsverarbeitende[n] Teilsysteme[n]“⁸⁷ bestehen, weshalb diese Arbeit auch die Informatik sowie die informatische Bildung beleuchtet⁸⁸. *Goecke, Stiller & Schwanewedel* führen dabei an, dass

„ein grundlegendes Verständnis der Funktionsweisen von zunehmend auch auf digitaler Technik basierenden Artefakten [...] eine wichtige Voraussetzung der Entwicklung von Technikmündigkeit [ist], also der Befähigung zur mündigen Teilhabe an von Technik geprägter Gesellschaft.“⁸⁹

Sie begründen damit die Relevanz informatischer Grundbildung und verweisen auf das Abdecken eines lebensweltlich bedeutsamen Bereichs von Kindern⁹⁰. Die informatische Bildung ist dementsprechend unter der technischen Bildung zu subsumieren. *Goecke, Stiller & Schwanewedel* weisen nicht nur dem Algorithmusverständnis enorme Relevanz hinsichtlich der Bewertungs-, Kenntnis- und Handlungsperspektive zu, sondern betonen dies auch bezüglich der Teilsysteme für Computertechnik⁹¹. Schlussfolgern lässt sich, dass informatischer Bildung auch das Verstehen der technischen Funktionsweise von Informationssystemen inkludiert.

86 Vgl. Schmayl 2019, S. 197.

87 Goecke, Stiller & Schwanewedel 2021, S. 121.

88 Vgl. ebd.; Bergner et al. 2018, S. 42.

89 Goecke, Stiller & Schwanewedel 2021, S. 121.

90 Vgl. ebd.

91 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 12; Goecke, Stiller & Schwanewedel 2021, S. 121.

2.3.2 Informatik und informatische Bildung

In der Informatik wird sich mit der technisierten, automatisierten und systematisierten Informationsverarbeitung in Zusammenhang mit Computersystemen auseinandergesetzt⁹². Claus & Schwill definieren die Informatik als „Wissenschaft von der systematischen Darstellung, Speicherung, Verarbeitung und Übertragung von Informationen, besonders der automatischen Verarbeitung mithilfe von Digitalrechnern (Computer)“⁹³. Dies umfasst Prozesse, bei welchen

- „Abläufe automatisiert gesteuert oder geregelt (die Ampelsteuerung, der Fahrplan der Bahn oder die Tour des Müllwagens, das Programm der Waschmaschine),
- Daten digital gespeichert und ausgegeben (Kamera, Hörbuch),
- Daten übertragen (Handy, Fernseher, Radio) oder
- Daten verändert und berechnet [...] (die Wettervorhersage, der Taschenrechner, das Navigationssystem im Auto...)“⁹⁴

werden.

Informatische Bildung ist unter verschiedenen Perspektiven der Grundschulbildung zu verorten. Diese wird zunächst als Teilaspekt der digitalen Bildung begriffen und bezieht jene Inhaltsbereiche mit ein, welche auf das Verstehen grundlegender Informationsverarbeitungskonzepte abzielen und jene Problemlösekompetenzen beinhalten, welche zum konstruktiven Verstehen der Informationsgesellschaft beitragen. Die digitale Bildung umfasst jedoch auch den Bereich des reflektierten Nutzens von Medien in Bezug auf deren Bedeutung und Wirkung.⁹⁵ Die informatische Bildung soll hingegen ermöglichen, das *Blackboxphänomen* rund um das Funktionieren und Gestalten eines Computers für die Kindern offenzulegen, um grundlegende Funktions-

92 Vgl. Werner 2004, S. 25; Herold et al. 2023, S. 28; Haus der kleinen Forscher 2017, S. 7.

93 Claus & Schwill 2003, S. 294.

94 Bergner et al. 2018, S. 20.

95 Vgl. Haus der kleinen Forscher 2017, S. 9.

prinzipien kritisch reflektieren und betrachten zu können⁹⁶. Informatische Bildung setzt an der Offenlegung bisher verborgener Prinzipien und Konzepte an, welche das Verstehen und die Konstruktion digitaler Artefakte maßgeblich bedingen und welche ein Nachvollziehen unabdingbar für das Erschließen dieser Welt machen⁹⁷. Schmid, Weitz & Gärtig-Daugs fassen informatische Bildung wie folgt zusammen:

„Informatikunterricht in der Grundschule soll Schülerinnen und Schüler anregen, sich mit Phänomenen aus der Alltagswelt auseinanderzusetzen, und sie befähigen, die dahinter liegenden informatisch modellierte Prinzipien zu erkennen, sowie Informatiksysteme kompetent, selbstbestimmt und kritisch reflektiert zu nutzen“⁹⁸.

Im Gegensatz zum fächerübergreifenden Konzept der digitalen Bildung kann die informatische Bildung auch punktuell in der technischen Bildung im Sachunterricht verankert werden⁹⁹. Deutlich wird dies an der Überschneidung grundlegender Konzepte von Technik und Informatik, wie etwa am Beispiel des Mikrocontrollers: Dieser ist etwas „Erzeugtes“¹⁰⁰, welches ohne menschlichen Eingriff keinen Selbstzweck erfährt. Erst durch seinen sozio-technischen Charakter wird der Entstehungs- und Verwendungszusammenhang mit dem menschlichen Handeln und damit auch die gestalterische Offenheit und Veränderbarkeit von Technik deutlich.¹⁰¹ Dieses Argument findet ebenfalls Bestätigung in einer weiten Sichtweise der Informatik, in welcher Informatiksysteme mittels Sensoren und Aktoren in ihrer Systemumwelt betrachtet werden. Informatische Probleme erfordern informatisch-technische Lösungen unter Einbezug jeglicher Peripherie sowie der Systemumwelt. Demnach werden solche Systeme als sozio-technisch bezeichnet.¹⁰² Hierbei kann nicht außer Acht gelassen werden, dass die technische Zusammenstellung von Mikrocontrollern – wie die

96 Vgl. Schmid & Gärtig-Daugs 2018, S. 79.

97 Vgl. Bergner et al. 2018, S. 43 f.

98 Schmid, Weitz & Gärtig-Daugs 2018, S. 201.

99 Vgl. Goecke, Stiller & Schwanedel 2021, S. 121.

100 Banse 2013, S. 26 zit. n. Adenstedt 2021, S. 74.

101 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 11.

102 Vgl. Döebli Honegger 2017, S. 69.

informationsverarbeitenden Teilsysteme und die Programmierung auf dem Mikrocontroller – variabel gestaltet werden können und damit im vorigen beschriebenen Prozess mitgedacht werden müssen.

Kinder sollen erfahren, dass digitale Systeme – genauso wie technische Systeme – individuell gestaltbar sind. Hervorgehoben werden soll gerade die Gestaltbarkeit hinsichtlich der zweckbezogenen Beschaffenheit, welche immer wieder kritisch in Bezug auf die Übereinstimmung von Funktion und Bedürfnis hinterfragt werden muss.¹⁰³ Die Kinder sollen erkennen, dass sie die Welt „in der Rolle der Konstrukteurin/des Konstrukteurs erleben und die digitale Welt mitgestalten können“¹⁰⁴, um eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung auszuprägen und somit eine eigenständige Haltung sowie Interesse an diesem Bereich zu entwickeln. Bedingt wird dies durch das Erkunden informatischer Phänomene und das Nutzen fachspezifischer Praktiken.¹⁰⁵ Eine Handlungsfähigkeit setzt Verstehen und Wissen voraus, wie die digitale Welt und ihre Computersysteme funktionieren¹⁰⁶. Der Erwerb erfordert Handlungs- und Konstruktionsaufgaben¹⁰⁷. Intendiert wird, dass sich nicht nur auf das Programmieren und damit verbundene prozessbezogenen Kompetenzen (*Problemlösen, Modellieren, Implementieren, Computational Thinking*) bezogen wird, sondern auch auf das Verständnis zum Aufbau und zur Arbeitsweise von Informatiksystemen. Ähnlich wie bei der technischen Bildung wird auf das soziale Bezugssystem von digitalen Artefakten verwiesen, welches eine kritische Reflexion der Wechselwirkungen der Interaktionen zwischen Menschen und digitalen Artefakte beinhaltet.¹⁰⁸

Auch wenn bei der informatischen und technischen Bildung in grundlegenden Beschaffenheiten ähnliche Schwerpunkte gelegt wer-

103 Vgl. Bergner et al. 2018, S. 62.

104 Ebd.

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

106 Vgl. Röhner 2021, S. 368; Gibson 2012, S. 34 zit. n. Röhner 2021, S. 368.

107 Vgl. Röhner 2021, S. 367 f.

108 Vgl. Best et al. 2021, S. 6; Schubert & Schwill 2011, S. 213; Humbert 2003, S. 64.

den, bestehen bei den Inhaltsbereichen Unterschiede¹⁰⁹. Die technische Perspektive kann nicht vollständig das „eigenständige, verantwortungsvolle Handeln in einer digital geprägten Lebenswirklichkeit“¹¹⁰ abdecken. Dem liegt zu Grunde, dass die Technisierung von Informationen neben technischen Grundlagen auch die informatische Informationsverarbeitung mit einbezieht¹¹¹.

Laut der *Gesellschaft für Informatik* befasst sich die informatische Bildung mit solchen Inhalten, welche ihren Ausgangspunkt in der Fachdisziplin nehmen und einen Bezug zur Lebenswelt der Kinder aufweisen¹¹². In der technischen Bildung werden Inhaltsbereiche ausgehend von der sozialen-humanen Dimension nach *Ropohl* bestimmt. Die Inhaltsbereiche der technischen Bildung sind für die Kinder zugänglicher, da die Inhaltsbereiche der Lebenswelt der Kinder bzw. des Menschen entspringen (z. B. *Arbeit & Produktion* sowie *Transport & Verkehr*).¹¹³ Die festgelegten Inhaltsbereiche der *Gesellschaft für Informatik* lassen sich in der naturalen bzw. untergeordneten ingenieurwissenschaftlichen Dimension nach *Ropohl* einordnen, was eine weitergehende didaktische Aufarbeitung der zu vermittelnden Inhalte erfordert (z. B. *Informationen & Daten* sowie *Algorithmen*)¹¹⁴. Die Inhalte sind nicht auf die Kinder und deren Lebenswelt ausgerichtet, was durch die Entstehung des Leitfadens für die Primarstufe der *Gesellschaft für Informatik* bestärkt wird: Dieser ist in Anlehnung an die Sekundarstufe I entstanden, wodurch die Inhalte und prozessbezogenen Kompetenzen nicht für Kinder der Primarstufe erstellt worden sind¹¹⁵.

Zum Schluss muss noch einmal betont werden, dass den informatischen Inhaltsbereichen der *Gesellschaft für Informatik* der Lebenswelt-

109 Vgl. Sachs 1981/2001 zit. n. Schmayl 2019, S.193: Wie in *Kapitel 2.3.1* angeführt: Grundlegendes Verständnis, Handlungsfähigkeit und Bewertung jedoch mit der Fokussierung auf andere inhaltliche Schwerpunkte als bei der technischen Bildung.

110 Bergner et al. 2018, S. 39.

111 Vgl. ebd.

112 Vgl. Gesellschaft für Informatik 2019, S. 9 ff.

113 Vgl. Sachs 1981/2001 zit. n. Schmayl 2019, S. 193; Ropohl 2009, S. 32.

114 Vgl. Ropohl 2009, S. 32; Gesellschaft für Informatik 2019, S. 9 ff.

115 Vgl. Schmid, Weitz & Gärtig-Daugs 2018, S. 201.

bezug nicht gänzlich abzusprechen ist (siehe bspw. *Mensch & Gesellschaft*)¹¹⁶. Der prägnante Unterschied zur weiterentwickelten Didaktik der Technik besteht darin, dass die dort festgelegten Inhaltsbereiche nicht konkret in der Lebenswelt der Kinder verankert sind. Das sozio-technische Bezugssystem wird nicht deutlich und muss aufgearbeitet werden.

116 Vgl. Gesellschaft für Informatik 2019, S. 9 ff.

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 Steuerung-, 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 Industrierwesen 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 „elementarisiertes 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, Spielekonsolen 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 gestellt¹³³. Hier werden Kinder unmittelbar mit Informatiksys-

129 Vgl. Klafki 1958/1963, S. 135 ff. zit. n. Meyer & Meyer 2007, S. 68; Borowski, Diethelm & Mesaros 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 Zweckrationalität in Form eines Umgangs- und Bedienungswissens, muss sich jedoch darüber hinaus auch mit den technischen Grundlagen beschäftigen, um „Weltzugriffe als solches wahr[zunehmen und *dadurch* hinterfragbar“¹³⁶ hinsichtlich eines kritischen, konstruktiven und gestalterischen 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. Mikrocontroller 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 Hülle 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 fehlerunanfälliger 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 erfinderische 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 informatische 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 erfinderischen 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.

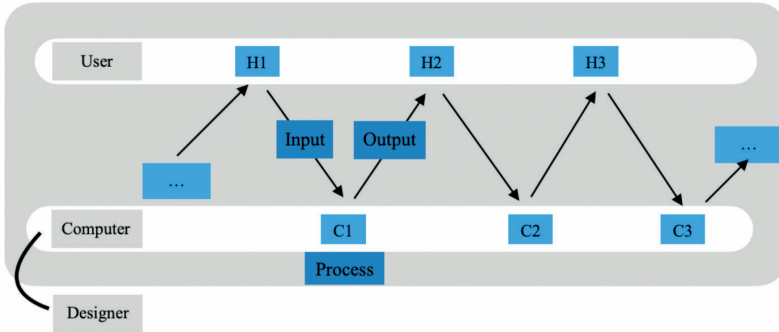


Abbildung 2: Kontext des hybriden Interaktionssystems nach Schulte & Budde 2018

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. Lichtschranken 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.

4 Forschungsstand: Kindervorstellungen zu technisch-digitalen Phänomenen

Dieses Kapitel widmet sich dem derzeitigen Forschungsstand zu den Vorstellungen von Kindern und Jugendlichen über Computer und Informatiksysteme.

In der Studie von *Petrut, Bergner & Schroeder* aus dem Jahr 2017 wurden 198 Schüler:innen im Alter von acht bis elf Jahren über ihre Vorstellungen und Interessen zu Informatik befragt. Im Mittelpunkt standen vier Fragen: „Was verbinden Grundschulkinder mit dem Begriff „Informatik“? Welches Interesse haben Grundschulkinder an Informatik? Was möchten Grundschulkinder über Informatik wissen? Welche Informatiksysteme nutzen Grundschulkinder?“¹⁸⁸. Diese wurden mittels eines Prä-Post-Testdesign, sowie der Methode des Plakaterstellens erhoben. Zur unterrichtlichen Intervention wurde das Lernmodul *Zauberschule Informatik* (siehe *Kapitel 3.6*)¹⁸⁹ genutzt. Es wurden informatische Bereiche wie das Binärsystem, Prüfbits und die Rekursion thematisiert. Der Aufbau eines Computers konnte, wie in *Kapitel 3.6* beschrieben, durch ein Video erklärt und durch eine Zuordnungsaufgabe bearbeitet werden.¹⁹⁰

Im Rahmen der quantitativen und qualitativen Auswertung wurde eine häufige Nutzung von Computern festgestellt. Die Proband:innen assoziierten Informatik oftmals mit Computern. Diese werden jedoch von den Kindern nicht als Werkzeug oder Lernmedium wahrgenommen, sondern stehen häufig im Zusammenhang mit einem spielerischen

188 Petrut, Bergner & Schroeder 2017, S. 64.

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

190 Vgl. Petrut, Bergner & Schroeder 2017, S. 65, 67.

schen Umgang.¹⁹¹ Zur Auswertung bedienten sich die Autorinnen an dem von *Borowski, Diethelm & Wilken* entwickelten Kategoriensatz¹⁹². Dieser greift, ähnlich wie der Strukturansatz, den Zusammenhang zwischen Mensch und Artefakt auf. Die befragten Kinder zeigten Interesse an Themen im Bereich Computer, deren historischen Entstehung, der heutigen Konstruktionsweise sowie am informatischen Berufsfeld. Die Studie belegt ein aufkommendes Interesse an der Informatik bereits in der Primarstufe, dementiert jedoch tragfähiges Vorwissen.¹⁹³

In einem eigens entwickelten Modell zur Analyse von Kindervorstellungen über Roboter und ihre Funktionsweise werten *Müller & Schulte* bisherige Literaturergebnisse aus. Sie führen als zentrales Ergebnis eine Vermenschlichung von Computersystemen an. Es werden diesbezüglich drei Perspektiven identifiziert. Zum einen wird eine psychologische Perspektive (*psychological*) beschrieben. In dieser werden Computersystemen Personalität und Emotionalität zugeschrieben. In der zweiten Perspektive, welche als technologische (*engineering*) bezeichnet wird, werden Computersysteme eher als leblos und als ein aus verschiedenen Peripheriekomponenten bestehender Gegenstand beschrieben. Die dritte und letzte Perspektive (*bridging*) ist eine Verbindung aus der technischen und psychologischen Perspektive.¹⁹⁴ In der Studie von *Levy & Mioduser* nehmen die Proband:innen (Kindergartenkinder) eher eine technologische Perspektive ein, wenn sie zuvor die Programmierung von Robotern übernahmen.¹⁹⁵ *Resnick & Martin* sowie *Bernstein & Crowley* kategorisieren die Äußerungen der Kinder als etwas psychologisches (*lebendig*), etwas mechanisches (*Maschine*) oder als intelligente Technik (*Smart Technology/Informationsfluss*) und erweitern damit die vorherig benannten Kategorien.¹⁹⁶ *Müller & Schul-*

191 Vgl. Petrut, Bergner & Schroeder 2017, S. 67.

192 Vgl. Borowski, Diethelm & Wilken 2011.

193 Vgl. Petrut, Bergner & Schroeder 2017, S. 70.

194 Vgl. Müller & Schulte 2017, S. 110 f.: Es wird sich auf Studien u. a. von Levy & Mioduser 2008, Resnick & Martin und Bernstein & Crowley 2008 bezogen.

195 Vgl. Levy & Mioduser 2008, S. 354.

196 Vgl. Resnick & Martin 1991 zit. n. Müller & Schulte 2017, S. 111; Bernstein & Crowley 2008, S. 240.

te konkludieren, dass „Roboter häufiger als technologische Blackbox betrachtet“¹⁹⁷ werden. Sie kommen zu dem Schluss, dass auch die Betrachtung u. a. von Peripherie zu einem technischen Verständnis von Robotern führen kann.¹⁹⁸ In 2018 pilotierten *Müller & Schulte* ihr Modell. Befragt wurden 79 Grundschüler:innen zwischen sieben und zehn Jahren¹⁹⁹ mittels fünf Fragestellungen:

- „(1) What can a robot do?
- (2) What are robots for?
- (3) Can robots be controlled? If so, how? If not, why not?
- (4) Can you teach a robot anything? If so, how? If not, why not?
- (5) What does a robot look like? (picture)“²⁰⁰.

Es ergaben sich kaum technische bzw. informatische Vorstellungen, welche für diese Arbeit von Relevanz sind. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass durch die offenen Interviewfragen der Erhebung nicht über technische Gegebenheiten gesprochen wurde. Einige wenige Proband:innen brachten jedoch den Roboter mit Programmen bzw. Programmierungen in Verbindung. *Müller & Schulte* kommen zum Schluss, dass Grundschüler:innen die variable Gestaltung und die Steuerungsfunktion von Informatiksystemen erkennen können.²⁰¹ Sie fordern eine Bildung, welche die Schüler:innen in einer „Welt geformt durch digitale Artefakte“²⁰² befähigt und mündig im Umgang macht.

Eine phänomenographische Studie von *Su & Ding* widmet sich einem weiten Begriff von Technik und Informatik, indem sie die Vorstellungen von chinesischen Grundschüler:innen zum Thema Technologie untersucht. 63 Kinder zwischen neun und zwölf Jahren wurden zu ihren Konzepten über Technologie, der Auswirkungen auf das Leben und die Natur sowie zur Verbindung zwischen Technologie und Wis-

197 Müller & Schulte 2017, S. 112.

198 Vgl. ebd.

199 Vgl. Müller & Schulte 2018, S. 3.

200 Ebd., S. 2 f.

201 Vgl. Müller & Schulte 2018, S. 4.

202 Ebd.: Übersetzung durch Verfasserin.

senschaft befragt.²⁰³ Technologie ist ein Bestandteil der schulischen Bildung in China und wird unter den drei Perspektiven „the human-made world, technological invention, and engineering design“²⁰⁴ unterrichtet. Dies lässt auf Vorerfahrungen der Proband:innengruppe schließen. Der Ergebnisraum beinhaltet vier phänomenographische Kategorien: Merkmale, Produktion, Handhabung und Nutzung sowie Funktion von Technologie. Für die vorliegende Arbeit sind folgende Subkategorien von Relevanz: 62 % der Proband:innen führten Strom als erforderlich an²⁰⁵. 21 % der Proband:innen assoziierten Technologie mit Informationstechnologie. Als Merkmalsausprägungen dieser Kategorie beschreiben die Proband:innen u. a. kabellose Netzwerke sowie die Konstruktion von Computerprogrammen.²⁰⁶ Als weitere Subkategorie führen 48 % der Proband:innen verschiedene Funktionen von Technik an. Demnach haben technologische Artefakte immer mehrere Funktionen.²⁰⁷

Brinda & Braun erforschen im Jahr 2017 Schüler:innenvorstellungen zu Smartphones. Die im Rahmen einer Masterarbeit durchgeführte Erhebung wurde im Rahmen der 17. GI-Tagung zur Informatik und Schule veröffentlicht. Die vier deduktiv entwickelten Analyse- und Fragekategorien sind thematisch auf drahtlose Verbindungen, Apps, Steuerung über Touchscreen und die kompakte Bauart von Smartphones ausgerichtet. Es wurde bei der Erhebung ein Vergleich zwischen Smartphones und Desktopcomputern angestrebt. Die Proband:innen waren in der neunten und elften Klasse und erhielten zu Teilen Informatikunterricht. Für diese Arbeit von Relevanz ist die Kategorie der kompakten Bauart von Smartphones. Die Proband:innen wurden bei dieser Kategorie zur kompakten Hardware und zu den technischen Grenzen von Smartphones befragt. Die Proband:innen führten in der ersten Subkategorie die geringe physische Größe von Daten, sowie externe Speichermöglichkeiten (Bsp. *Server, im Himmel fliegende Clouds*)

203 Vgl. Su & Ding 2022, S. 631.

204 Ebd., S. 630.

205 Vgl. ebd., S. 636.

206 Vgl. ebd., S. 637.

207 Vgl. ebd., S. 642.

und eine hohe Aufnahmekapazität der Speicherhardware an. Ein:e weitere:r Proband:in verwies auf Bits und Bytes und negierte damit eine physische Präsenz von Daten. In der zweiten Unterkategorie wurden Smartphones ins Verhältnis zu Computersystemen gesetzt. Smartphones wurden als weniger leistungsfähig (bzgl. *geringer Speicherplatz, langsamere Prozessoren*) und weniger erweiterbar (bzgl. *begrenzte Möglichkeit zum Anschließen von Peripheriegeräten*) beschrieben.²⁰⁸ Die Studie belegt für den Kontext dieser Arbeit, dass Schüler:innen über anschlussfähige informatische Konzepte besitzen, erklärt jedoch nicht, inwieweit Schüler:innen handlungsfähig sind.

In der Studie von Gärtig-Daugs, Weitz & Schmid wurden 47 Grundschüler:innen aus der zweiten, dritten und vierten Klasse zu ihrem Wissen über informatische Fachbegriffe sowie ihren mentalen Modellen zu Funktionsprinzipien digitaler Medien befragt. Thematisiert wurden Begriffe und Konzepte wie Pixel, Digitales, Algorithmen und Sortieren durch Mensch und Computer. In letzterem Themenbereich wurden – wie von Müller & Schulte angeführt – Computern viele psychologische Eigenschaften zugeschrieben. Die Proband:innen identifizierten Merkmale, welche unterrichtlich aufgegriffen werden können. Dies sind bspw. Zuschreibungen, wie ein größeres und unvergängliches Wissen bei Computersystemen. Resümiert wurde, dass Grundschüler:innen mentale Modelle bzgl. der digitalen Welt aufbauen. Die Ausprägung und die Richtigkeit korrelieren jedoch mit dem Interesse der Schüler:innen am Themenbereich. Über die Wirksamkeit der Implementierung informatischer Bildung im Unterricht kann aufgrund dieser Studie keine Aussage getroffen werden.²⁰⁹

In der Studie von Martschinke, Palmer Parreira & Romeike wurden Vorerfahrungen von Grundschüler:innen bzgl. „fundamentale[r] Prinzipien, Konzepte, Problemlösungen sowie Denk- und Arbeitsweisen (Computational Thinking) der Informatik“²¹⁰ untersucht. Mittels eigens entwickelter Unterrichtseinheiten und einem Prä-Post-Testdesign

208 Vgl. Brinda & Braun 2017, S. 120 ff.

209 Vgl. Gärtig-Daugs, Weitz & Schmid 2017, S. 419 f.

210 Martschinke, Palmer Parreira & Romeike 2021, S. 140.

(ohne Kontrollgruppe) wurden informatische Kompetenzen sowie das informatische Selbstkonzept untersucht.²¹¹ Die Lernvoraussetzungen wurden unter den drei Kategorien *Technik & Computer*, *Informationen* und *Programmieren* erfasst. Mit der Kategorie *Technik & Computer* assoziierten die Proband:innen Elektronik und Elektrizität. Bei der Kategorie *Informationen* vermuteten die Proband:innen, dass die Kategorie etwas mit Informationsbeschaffung und -veröffentlichung zu tun hat. Die Forscher:innen verweisen dabei auf häufig anzutreffende fehlerhafte Vorstellungen in beiden Kategorien trotz hoher informatischer Selbstkonzepte. In der letzten Kategorie *Programmieren* benennen die Schüler:innen viele Arbeitsweisen, erkennen jedoch nicht das große Ganze der Informatik als Wissenschaft.²¹² Mittels der unterrichtlichen Intervention ergab sich beim Posttest eine erhebliche Steigerung des Selbstkonzepts, während informatikbezogene Kompetenzen nur geringfügig verbessert wurden. Zuvor angeführte Fehlvorstellungen reduzierten sich jedoch.²¹³

In 2017 veröffentlichten *Robertson, Manches & Pain* ihre schottische Studie, in welcher Schüler:innen zu ihrem Verständnis über die Arbeitsweise von Computern befragt wurden. Zu der Stichprobe gehörten 18 Kinder im Alter zwischen fünf und acht.²¹⁴ Folgende Themenbereiche waren von Interesse: „(1) understanding what computers are, (2) understanding how computers are programmed, (3) beliefs about whether computers have agency“²¹⁵. Unter (1) beschrieben die Proband:innen Aktivitäten, welche mit der Nutzung von Computern oder anderen elektronischen Geräten in Verbindung stehen. Auf die Frage, was innerhalb eines Computers sei, reagierten sie unsicher und oberflächlich. Sie nannten bspw. Kabel (wire) und Anschlüsse. Erst nach einem Foto eines Computerchips konnten die Proband:innen verschiedenen Geräte identifizieren.²¹⁶ Zur zweiten Kategorie (2) wiesen

211 Vgl. Martschinke, Palmer Parreira & Romeike 2021, S. 140, 143, 148.

212 Vgl. ebd., S. 145.

213 Vgl. ebd., S. 146 f.

214 Vgl. Robertson, Manches & Pain 2017, S. 339 ff.

215 Vgl. ebd., S. 340.

216 Vgl. ebd., S. 341.

die Proband:innen unabhängig vom Alter Unsicherheiten auf. Neben der Nennung zuvor thematisierter Komponenten (drives, discs, cables, ...), verglichen Teile der Proband:innen Computer mit „someone inside this“²¹⁷ (welches jedoch zügig verworfen wurde) oder auch mit „a gigantic brain just basically with a keyboard“²¹⁸. Andere Proband:innen beschrieben die Reaktionen der technisch-digitalen Artefakte auf die Eingabe – also das Drücken auf den Bildschirm²¹⁹. Durch jüngere Proband:innen wurde bei (3) dem Computer ein Eigenleben zugesprochen²²⁰. *Robertson, Manches & Pain* resümieren, dass Kinder zwar in der Lage sind, angemessen über ihre Nutzungsverhalten zu sprechen, es ihnen aber schwerfällt, die Funktionsweise von Computersystemen auch nur im Ansatz zu erklären. Die mangelnden Fachkenntnisse der Proband:innen kommen zum Ausdruck.²²¹

Mertala erhob 2018 die Vorstellung von 65 Fünf- bis Siebenjährigen in Nordfinnland zu Computern, Programmierung und dem Internet. Mittels Zeichnungen und einem anschließenden Gespräch wurden deren Vorstellungen erhoben. Im Folgenden wird ausschließlich das Thema Computer betrachtet.²²² Dazugehörige Fragen waren: „What are computers like? How do computers work? What can be done using computers? What have you done using computers? How do you know these things?“²²³ 46 Prozent der Proband:innen assoziierten mit Computern einen Laptop; weitere 40 Prozent einen Desktop-Computer. Ein:e Proband:in erwähnte ein Tablet, während 25 Prozent Tablets als spezielle Technik verstanden. Kein:e Proband:in assoziierte mit Computern andere technisch-digitale Artefakte. Bis auf zwei Proband:innen erwähnte oder zeichnete keine:r das Innenleben eines Computers. Diese beiden zeichneten eine Zentraleinheit (CPU). Die meist gezeichneten und genannten Bestandteile waren Kabel, Monitore

217 Robertson, Manches & Pain 2017, S. 341

218 Ebd.

219 Vgl. ebd., S. 342.

220 Vgl. ebd.

221 Vgl. ebd., S. 343.

222 Vgl. Mertala 2018, S. 56, 59.

223 Ebd., S. 59.

und Tastaturen. Mehr als die Hälfte der Proband:innen nahmen Computer als elektrisch wahr.²²⁴ Mertala stellt fest, dass es auffällig ist, dass die Proband:innen die in der Lebenswelt präsenten Formen von Computern nicht erkennen. Computersysteme als Embedded Systems werden nicht erkannt. Mertalas weist darauf hin, dass wenn Kindern die Programmierbarkeit und die physischen Komponenten gezeigt werden, sie die verschiedenen Ausprägungen von Computersystemen erkennen würden (bspw. Tablets).²²⁵

In der 2021 veröffentlichten Dissertation von Pancratz wurden Vorstellungen von Achtklässler:innen zum Aufbau von Informatiksystemen untersucht. Mittels Concept Mapping und Interviews wurden die Vorstellungen erhoben und mit Hilfe der qualitativen Inhaltsanalyse kategorisiert. Die anschließende Hierarchisierung dient der Aufarbeitung für den Unterricht.²²⁶ Smartphones, Spielekonsole und Staubsaugerroboter waren Gesprächsgrundlage. Pancratz fasst seine Ergebnisse unter drei Perspektiven in Bezug auf bisherige Forschungsergebnisse zusammen: In Bezug auf die erste Kategorie, in welcher Vorstellungen fachliche Richtigkeit und grundlegende Wirkprinzipien widerspiegeln, verweist Pancratz auf die Möglichkeit einer Erweiterung und Festigung der Vorstellung hinsichtlich des *Conceptual-Change-Ansatz*. Die Lernenden benannten wichtige Komponenten und teilweise auch deren Funktionen, wie u. a. Sensoren, Anschlüsse und Laufwerke (Steuerung von Prozessen). Zudem wurde ein Speicher und „gespeicherte Sachen“²²⁷ als Daten von den Proband:innen angeführt. Sie nahmen auch Ein- und Ausgabekomponenten als mögliche Erweiterung zu bestehenden Informatiksystemen (Fernseher und -bedienung) wahr. Sie führten die Programmierbarkeit und die analoge Funktionsweise zu Computern an.²²⁸ Als zweite Kategorie werden solche Perspektiven verstanden, welche unvollständig und teilweise im Gegensatz zu fach-

224 Vgl. Mertala 2018, S. 60.

225 Vgl. ebd., S. 63: Mertala bezieht sich dabei auf die angeführte Studie von Robertson, Manches & Pain 2017.

226 Vgl. Pancratz 2021, S. i.

227 Ebd., S. 182 f.

228 Vgl. ebd.

lich korrekten Perspektiven stehen. *Pancratz* beschreibt, dass eine un-terrichtliche Thematisierung zur Anschlussfähigkeit der Konzepte führen könnte. Relevante Konzepte und Aussagen belaufen sich auf: Mit Sachen programmierte Festplatten bzw. Chips und miteinander verka-belte und verschraubte Komponenten sowie der Umstand, dass die Existenz von Informatiksystemen Programmierung voraussetzt.²²⁹ Abschließend sind solche Schüler:innenvorstellungen angeführt, welche nicht der technologischen Sicht entsprechen. *Pancratz* charakterisiert diese als Fehlvorstellungen. Im Folgenden werden diese nicht aufgelistet, da diese Vorstellung einen starken Gegenstandsbezug haben.²³⁰

Pancratz fasst die Vorstellungen der Achtklässler:innen wie folgt zusammen: Die Proband:innen führten die Notwendigkeit von Strom und die Veränderbarkeit des Informatiksystems durch Programmierung an. Des Weiteren besitzen Informatiksysteme zentrale Komponenten, welche zur „Prozessverarbeitung, Datenspeicherung und teilweise auch der Energiespeicherung“²³¹ zuständig sind. Die Proband:innen benannten diese zentrale Komponente als Laufwerke, Chips oder auch Festplatten. Auf ihnen sind Daten – auch als *alles* benannt – dauerhaft oder auch kurzfristig enthalten. Die zentrale Komponente wird als Analogie zum menschlichen Gehirn betrachtet, welche als essenziell für das Funktionieren angeführt wurde. Eine besondere Relevanz wurde Anschlüssen zugewiesen. Ebenfalls wurde das Innenleben von Informatiksystemen oftmals mit Kabeln und Schrauben assoziiert.²³² *Pancratz* setzt die zentrale Einheit wie folgt in Verbindung mit dem EVA-Prinzip:

„Diese zentrale Komponente nimmt somit in der Vorstellungswelt der befragten Schülerinnen eindeutig die Rolle der Verarbeitungseinheit im Sinne des EVA-Prinzips ein [...] und tritt dementsprechend in Verbindung mit Eingabe- sowie Ausgabeeinheiten, auch wenn den Schülerinnen die Möglichkeit zur Verallgemeinerung der jeweils zuordenbaren [sic!] Komponenten oft nicht bewusst zu werden scheint“²³³.

229 Vgl. *Pancratz* 2021, S. 183 f.

230 Vgl. ebd., S. 184 f.

231 *Pancratz* 2021, S. 188.

232 Vgl. ebd., S. 188 f.

233 Ebd., S. 189.

5 Forschungsfrage der empirischen Erhebung

Der Forschungsstand bestätigt ein aufkommendes Interesse von Kindern an technisch-informatischen Themen. Eine unterrichtliche Thematisierung kann zudem ein positives Selbstkonzept fördern. Belegt wird dies durch die Studien von *Petrut, Bergner & Schroeder* und *Martschinke, Palmer Parreira & Romeike*. Zudem verringert nach *Petrut, Bergner & Schroeder* die unterrichtliche Thematisierung vorhandene Fehlvorstellungen, obwohl die Zunahme an Fachwissen gering ausfällt. Dies kann jedoch auf viele nicht überprüfbare Faktoren zurückzuführen sein, wie etwa auf die Auswahl der Stichprobe, die entwickelte Unterrichtsintervention oder auch deren Durchführungsbedingungen. Im Gegensatz dazu ist nach *Gärtig-Daugs, Weitz & Schmid* jedoch die Korrelation von informatischem Interesse mit dem Aufbau mentaler Vorstellungen und deren Faktizität anzuführen. Die Ergebnisse der Studie weisen darauf hin, dass eine unterrichtliche Thematisierung Interesse, Selbstkonzept sowie fachliche Vorstellungsbilder aufbauen kann.

Relevant für die Formulierung der hiesigen Forschungsfrage ist die Forschungslage zu anschlussfähigem Wissen. Während *Petrut, Bergner & Schroeder* dies im Primarbereich als niedrig beschreiben, bestätigt und begründet *Pancratz* tragfähiges und anschlussfähiges Wissen für die Sekundarstufe I. Auch eine weitere Studie über die Sekundarstufe I von *Brinda & Braun* verweist auf fachlich richtige Vorstellungen, wobei diese stark divergieren und keine Aussage bezüglich einer Handlungsfähigkeit getroffen werden kann. Eine erhebliche fachliche Unsicherheit von Grundschüler:innen im Erklären technisch-digitaler Artefakte wird durch *Robertson, Manches & Pain* bestätigt. Die Ergebnisse der Studie knüpfen an die von *Müller & Schulte* angeführten psychologi-

schen, technologischen und verbundenen Perspektiven an. Dabei ist die Frage, ob sich dies bestätigen lässt.

Zu kritisieren ist der befragende Charakter vieler Erhebungen. Das Fragen nach Begriffen – wie bei *Gärtig-Daugs*, *Weitz & Schmid* – fokussiert nicht unbedingt ein Erklären von Vorstellungen zu technischen Details und Funktionsweisen. *Müller & Schulte* und *Robertson, Manches & Pain* sowie *Mertala* sprechen sich diesbezüglich für die Betrachtung technisch-digitaler Bausteine aus, da diese maßgeblich zur Entwicklung technischer Vorstellungen beitragen soll. Gestützt wird dies durch die Erhebung von *Robertson, Manches & Pain*, in welcher die Proband:innen erst nach dem Zeigen eines Bildes eines Computerchips andere Computersysteme als den gebrauchsblichen Computer erkannten. Vor diesem Hintergrund ist eine Untersuchung am konkreten Gegenstand selbst erforderlich. *Mertala* kritisiert, dass durch den Blick auf Computer und Informatiksysteme kein Blick in die *Blackbox* ermöglicht wird, weshalb im Folgenden Mikrocontroller herangezogen werden. Eine Betrachtung der technischen Gegebenheiten von Mikrocontrollern könnte ein differenziertes Bild von Kindervorstellungen generieren. Daraus resultiert die Forschungsfrage für den empirischen Teil dieser Arbeit: Welche Vorstellungen haben Kinder zur technischen Funktionsweise von Mikrocontrollern?

Aus dem aufgezeigten Forschungsstand wird deutlich, dass die Frage nicht näher beantwortet wurde. Es gibt keine Untersuchung von Kindervorstellungen (in der Primarstufe) dahingehend, wie Kinder das Funktionieren von technisch-digitalen Artefakten verstehen und erklären. Zurückzuführen ist dies auf die Erhebungsmethoden, in welchen die Untersuchung nicht am konkreten Gegenstand erfolgte. Vor diesem Hintergrund wird die folgende Untersuchung am Calliope mini durchgeführt. Die didaktischen Vorzüge des Mikrocontrollers Calliope mini und die gleichkommende Bauweise in vielen grundlegenden Aspekten im Vergleich zu Informatiksystemen begründen die Fokussierung auf den Gegenstand als solchen. Die von *Pancratz* veröffentlichte Dissertation beantwortet die hier im Raum stehende Frage lediglich für die Sekundarstufe I, lässt jedoch erste Rückschlüsse für die Primarstufe

zu. Die Beantwortung der Frage für den Primarbereich ist Ziel dieser Arbeit. Zur Frage aus *Kapitel 3*, ob die technische Funktionsweise sich überhaupt als Unterrichtsgegenstand eignet, kann eine solche Erhebung der Kindervorstellungen genutzt werden. Die Ergebnisse solcher Erhebungen können für oder gegen mögliche unterrichtliche Thematisierungen sprechen.²³⁴

Mithilfe der Phänomenographie von *Marton & Booth* werden die Kindervorstellungen zur technischen Funktionsweise analysiert²³⁵. Der Forschungsansatz wurde aufgrund seines Verständnisses vom Vorstellungsbegriff gewählt. Viele Erhebungsmethoden – wie etwa bei *Müller & Schulte* – bergen das Risiko, dass die innenliegende Funktionsweise von Informatiksystemen nicht durch die Kinder thematisiert wird, weshalb in der vorliegenden Studie qualitative Interviews, der unmittelbare und händische Umgang mit dem Calliope mini sowie die Phänomenographie verwendet werden.

234 Vgl. Murmann 2013, S. 1.

235 Vgl. Marton & Booth 2014.

6 Darstellung der Untersuchung

Im Folgenden werden die Untersuchungsschritte dargestellt. Zuerst bedarf es einer Konkretisierung des Untersuchungsgegenstandes der Kindervorstellungen (*Kapitel 6.1*), welche ausschlaggebend für die Wahl des Auswertungsansatzes der Phänomenographie ist (*Kapitel 6.2*). Anschließend wird die Erhebungsmethode der qualitativen Interviews und deren Vorteil für die Rekonstruktion von Kindervorstellungen beschrieben (*Kapitel 6.3*). Folgend wird der Interviewleitfaden erläutert (*Kapitel 6.4*). Die daran anknüpfenden Untersuchungsbedingungen schließen Stichprobe, Untersuchungsumstände und Dokumentationsart der Daten mit ein (*Kapitel 6.5*).

6.1 Untersuchungsgegenstand – Kindervorstellungen

Das Ziel dieser Arbeit ist es, durch die Erhebung von Kindervorstellungen die technische Funktionsweise von Informatiksystemen (anhand von Mikrocontrollern) als Gegenstand des Sachunterrichts zu begründen oder zu verwerfen. Kinder bringen in jegliche Unterrichtssituationen ihre Erfahrungen mit. Unterricht kann und soll an diesen anknüpfen, weshalb die konkreten Vorstellungen der Kinder als „wesentliche Grundlage didaktischer Strukturierungen“²³⁶ genutzt werden sollten.²³⁷

In verschiedenen Erhebungen zu Kindervorstellungen wird sich verschiedener Begrifflichkeiten bedient, welche augenscheinlich dasselbe bedeuten. *Adamina et al.* führen unterschiedliche Begriffe an und definieren diese wie folgt: Während *Präkonzepte* die Vorstellungen vor

236 Murmann 2013, S. 1.

237 Vgl. ebd.

einer unterrichtlichen Thematisierung beschreiben, sind *Fehlkonzepte* fachlich falsche Konzepte oder Folgerungen. Diese werden teilweise auch als *naive* bzw. *alternative Konzepte* bezeichnet; diese Begriffe werden im Folgenden nicht genutzt. Ähnliches gilt für den Begriff des *Präkonzepts*. Dieser impliziert einen schulischen Bezug und eine einhergehende unterrichtliche Thematisierung. Aufgrund der überschätzten Bedeutung der unterrichtlichen Thematisierung für die Herausbildung von Vorstellungen wird auch dieser Begriff nicht für die hiesige Erhebung genutzt.²³⁸

Mit Blick auf den Auswertungsansatz (*Kapitel 6.2*) wird sich eines Vorstellungsbegriffs bedient, welchem eine Hierarchisierung der verschiedenen Vorstellungen unter dem Aspekt der Komplexität zu Grunde liegt. Das von *Gropengießer* angeführte Verständnis weist Vorstellungen eine Abstufung in der Komplexität zu, in dem „zwei oder mehrere Begriffe durch Relationen verknüpft“²³⁹ werden. Der Zusammenhang verschiedener Begriffe erfährt enorme Bedeutung. Eindimensional betrachtete Begriffe werden als einfache Konzepte verstanden.²⁴⁰ Der Grad an Komplexität von Vorstellungen wird im Zusammenhang mit „der Ausprägung von Begriffen, Denkfiguren und individuellen Theorien“²⁴¹ generiert. Eine ähnliche Strukturierung weist der Forschungsansatz Phänomenographie von *Marton & Booth* auf.²⁴² Dieser Forschungsansatz strebt im Gegensatz zur Vorstellungsforschung die Rekonstruktion von den Erlebensweisen in Bezug auf ein Phänomen an.²⁴³

238 Vgl. Adamina et al. 2018, S. 9.

239 Gropengießer 2005, S. 174 zit. n. Murmann 2013, S. 3.

240 Vgl. ebd.

241 Adamina et al. 2018, S. 9.

242 Zur Abgrenzung gegenüber der Phänomenologie siehe Marton & Booth 2014, S. 180 ff.

243 Adamina et al. 2018, S. 9; Marton & Booth 2014, S. 167 f.: Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht die Hierarchisierung verschiedener Erlebensweisen bzw. Vorstellungen. Dies ist zurückzuführen auf den Grad der Komplexität. Beide Konzepte (Vorstellungsbegriff/Phänomenographie) weisen hinsichtlich der Datenauswertung Parallelen auf. Diesbezüglich wird eine Differenzierung zwischen Vorstellungen und Erlebensweisen auf konzeptioneller Ebene nicht vorgenommen.

6.2 Forschungsansatz – Phänomenographie

In der Phänomenographie soll die Art und Weise, wie ein Mensch ein Phänomen erlebt, rekonstruiert werden. Die subjektive Gesamtheit von Struktur und Bedeutungsgehalt eines Phänomens wird in der Phänomenographie auch als Erlebensweise bezeichnet.²⁴⁴ Im Gegensatz zu einem Vorstellungsbegriff wird in phänomenographischen Untersuchungen von Erlebensweisen gesprochen, welche neben dem Vorstellungsbegriff auch Wahrnehmungen sowie Erfahrungen und das Begreifen eines Phänomens inkludieren.²⁴⁵ *Marton & Booth* beschreiben dies, wie folgt:

„Wie die Welt, die Phänomene und die Situationen erlebt werden, wird von den Erlebenden gewöhnlich als selbstverständlich hingenommen. Sie nehmen sie nicht als solches wahr, sie sind sich ihrer nicht bewusst. In der Phänomenografie, die eine Perspektive zweiter Ordnung einnimmt, ist gerade das zu Grunde liegende Spektrum, d. h. die Variation der Welt – die Vielfalt von Phänomen- und Situationserlebensweisen [sic!] – der Forschungsgegenstand.“²⁴⁶

Als Phänomenograph:in bedarf dies einer Zuwendung zu den Erlebensvarianten anderer Menschen über ein Thema²⁴⁷. Das heißt, dass die Deutungen und Strukturen eines Phänomens von anderen Personen den zentralen Mittelpunkt phänomenographischer Forschung darstellen. Es bedarf keiner fachlich angemessenen universalen Erlebensweise durch die Erlebenden, sondern die Abbildung individueller persönlicher Erlebensweisen. In der Phänomenographie geht es demnach nicht um die objektiv richtige Wiedergabe eines Phänomens, sondern um die subjektive Erlebensweise anderer Individuen.²⁴⁸

Eine Erlebensweise eines Subjekts selbst ist der Perspektive erster Ordnung zu zuordnen²⁴⁹. Um das Erleben eines anderen Menschen zu rekonstruieren, bedarf es einer Perspektive zweiter Ordnung. Das

244 Vgl. Marton & Booth 2014, S. 183 f.

245 Vgl. Murmann 2013, S. 7.

246 Marton & Booth 2014, S. 183.

247 Vgl. ebd., S. 186 ff.

248 Murmann 2013, S. 7.

249 Vgl. Marton & Booth 2014, S. 183 f.

bedeutet, dass der bzw. die Interviewer:in eine Perspektive einnimmt, aus welcher „Aussagen über die Welt als von Menschen erlebte Welt zu formulieren“²⁵⁰ sind. Aus dieser Perspektive heraus wird versucht, möglichst wertfrei die Erlebensweisen anderer Personen zu rekonstruieren.

Marton & Booth beschreiben die Spiegelung des Erlebens und Erfahrens der Welt in den Aussagen über Phänomene als Schlüsselmoment für die Rekonstruktion des Welterlebens. Das heißt, eine Erlebensweise kann über die Aussagen der Person, welche bspw. das Phänomen erlebt, rekonstruiert und zugänglich dargestellt werden, was jedoch einer wertfreien Perspektive zweiter Ordnung bedarf. Eine vollkommen wertfreie Annäherung ist durch vorherige fachwissenschaftliche Auseinandersetzung indes nicht möglich. Diesem wird sich jedoch bestmöglich verschrieben²⁵¹: *Marton & Booth* erachten dabei die Reduktion des Erlebens der Forscher:innen als essenzielle Forderung, um die Erlebensvarianten anderer sowie der Rekonstruktion nicht zu beeinflussen. Die Erlebensvariante soll durch die Augen des bzw. der Betrachter:in wahrgenommen werden, um „deren Erleben stellvertretend nachzuvollziehen“²⁵².

In jeder phänomenographischen Auswertung entstehen neue Kategoriensätze in Abhängigkeit zum jeweiligen Thema, welche die Variationen der Erlebensweisen desselben Phänomens (*variations*) abbilden. Es geht also um die Unterschiede, die zwischen den Erlebensweisen der Proband:innen bestehen. Dabei ist zentrales Merkmal des Forschungsansatzes die Hierarchisierung der in Kategorien zusammengefassten Erlebensweisen nach zunehmender Komplexität. Dies äußert sich in Anlehnung an *Kapitel 6.1* in einer Aspektvielfalt.²⁵³

Aufgrund des hier diskutierten Vorstellungsverständnisses wird sich hier für den Forschungsansatz der Phänomenographie entschieden. Die Einnahme einer Perspektive zweiter Ordnung auf den Erlebensgegenstand der Proband:innen ermöglicht die Rekonstruktion der Kon-

250 Marton & Booth 2014, S. 183 ff.

251 Vgl. ebd., S. 9.

252 Marton & Booth 2014, S. 189.

253 Vgl. Murmann 2013, S. 7.

stitution des Erlebensgegenstands, was hinsichtlich einer möglichen didaktischen Umsetzung und Strukturierung des Inhaltsbereiches ausschlaggebende Argumente hervorbringt.

6.3 Erhebungsmethode – Qualitative Interviews

Qualitative Interviews werden primär zur Erforschung von „sozialpsychologische Themen wie Meinungen, Einstellungen, Selbst- und Fremddeutungen und Alltagstheorien“²⁵⁴ genutzt. Diese ermöglichen – entgegengesetzt zu quantitativen Erhebungsverfahren – eine Rekonstruktion von Argumentations- und Begründungslinien sowie von Überzeugungen und theoretischen Annahmen.²⁵⁵ Eine Repräsentation dieser Aspekte wird angestrebt²⁵⁶. Qualitative Interviews eignen sich insbesondere zur Erforschung von Kindervorstellungen beziehungsweise Erlebensweisen, da mittels halboffener Verfahren auf die Strukturierungen und Interessensschwerpunkte der Kinder eingegangen werden kann. Die „Themensetzungen aus der Sicht des Subjekts“²⁵⁷ werden nachvollziehbar rekonstruiert. In der vorliegenden Erhebung rekonstruieren Kinder den Mikrocontroller Calliope mini aus ihrer Perspektive. Die Kommunikation über die individuellen Wahrnehmungen kann nach *Hunger et al.* zu einer metakognitiven Sicht über das Gesprochene führen²⁵⁸.

Die folgende Erhebung lässt sich als problemzentriertes Interview klassifizieren. Zentral für diese Art von Interview ist eine Problemstellung, welche an den Beginn des Interviews gesetzt wird. Hier geht es darum, wie Mikrocontroller und im weitesten Sinne auch Informationssysteme auf technischer Ebene funktionieren. Dabei wird die Inter-

254 Mey & Ruppel 2018, S. 214.

255 Vgl. ebd.

256 Vgl. Hunger et al. 2019, S. 172: Hunger et al. führte diese Erkenntnis für den Elementarbereich an; es wird angenommen, dass dies auch für den Primarbereich gilt.

257 Mey & Schwentesius 2019, S. 8: Markierungen wurden durch die Verfasserin entfernt.

258 Vgl. Hunger et al. 2019, S. 172.

viewsituation als Dialog gestaltet. Alle Gesprächspartner:innen gestalten das Gespräch und die Themenwahl und -akzentuierung. Die Gesprächsstruktur wird durch den vorab angefertigten Interviewleitfaden (siehe *Kapitel 6.4*) geleitet, zugleich aber auch durch die Interviewten beeinflusst, womit keine starre Gesprächsabfolge vorgegeben ist. Dabei werden seitens der Interviewerin mehrere Fragearten genutzt: Materialgenerierende Nachfragen fördern das genaue Erklären, indem die Interviewten dazu auffordert werden, bisheriges genauer auszuführen. Dazu gehören Fragen, wie z. B. *Hast du eine Idee?* oder *Wie würdest du dir das vorstellen?* Bei den verständnisgenerierenden Nachfragen werden Aussagen der Interviewten validiert, geklärt oder detailliert. Dies sind Fragen, wie z. B. *Kannst du mir das nochmal erklären?* Die Leitfragen des Interviewleitfadens sichern bei der flexiblen Gesprächsstruktur die Thematisierung derselben Themen.²⁵⁹

Mey & Schwentesius identifizieren verschiedene Vorteile, welche für die Erstellung des hiesigen Interviewleitfadens beachtet wurden: Paarinterviews wird eine fördernde Rolle zugesprochen, da die Interviewten durch den dialogischen Charakter neue Perspektiven aber auch Ergänzungen anführen können. Dies kann die Ergebnisse positiv beeinflussen. Zudem ist der händische Umgang mit dem Gegenstand förderlich.²⁶⁰ Die Wahl des Materials wurde in *Kapitel 5* begründet. Die Proband:innen nutzen subjektives Vokabular zum Ausdruck ihrer Vorstellungen²⁶¹. Daher bedarf es bereits während der Interviewdurchführung eines Aufgreifens und gemeinsamen Reflektierens des Gesagten. Die Interviewerin bemühte sich, dass von den Kindern Ausgedrückte zu verstehen und ihnen dies zurückzuspiegeln, um sprachliche Lücken

259 Vgl. Mey & Ruppel 2018, S. 215 f.

260 Mey & Schwentesius 2019, S. 10, 12.

261 Gemeint sind solche Äußerungen oder Handlungen, welche sich durch „Das Ding“, „Das da“ oder auch durch das Zeigen auf etwas äußern. Diese werden von der Interviewerin möglichst für die Transkription und Auswertung nach der Äußerung der Kinder wiederholt, was in den Transkripten sich als Aufbringen neuer Aspekte durch die Interviewerin äußern könnte, jedoch eine Rückspiegelung der Kinderaussagen vermag.

auszugleichen und eine (Nicht-)Bestätigung im Phänomenerleben zu erreichen.

6.4 Erhebungstool – Interviewleitfaden

Der Interviewleitfaden ist mit Blick auf verschiedene technische Spezifikationen und Funktionen von Mikrocontrollern erarbeitet worden. Das Hauptinteresse bei der Rekonstruktion der Erlebensweisen bezieht sich dabei im weitesten Sinne auf das EVA-Prinzip (siehe *Kapitel 2.2*). Im engeren Sinne soll die nicht sichtbare Datenverarbeitung thematisiert werden. Dazu wurde eine Vorauswahl zu Aspekten der Datenverarbeitung getroffen, welche mit Bauteilen des Mikrocontrollers verknüpft sind. Diese Aspekte werden in dieser Untersuchung als Erlebensgegenstände bezeichnet; sie werden im Folgenden kurz erläutert.

Mit Blick auf Prozesse der Datenverarbeitung zwischen Ein- und Ausgabe erschien eine Thematisierung der Verarbeitung, dem Speicher, den BUS-Systemen, den digitalen und analogen Signalen sowie der Veränderbarkeit ergiebig²⁶²: Eine elementare Funktion wurde hierbei wichtigen Bauteilen wie der CPU und dem Speicher zugewiesen, obwohl ihr Aufbau nicht äußerlich erkennbar ist. Auf diese Aspekte soll und wird auch nicht explizit abgezielt. Vielmehr soll ein Nachdenken über die *Verarbeitung* zwischen einer Ein- und Ausgabe anregt werden. Anders ist dies beim *Speicher*. Zwar ist dieser ebenso wenig ersichtlich wie die CPU, jedoch nimmt die Speicherinstanz – konkret die Handlung des Speicherns – bei der Bedienung von technisch-digitalen Artefakten einen zentralen Stellenwert ein. Der Kontext des EVA-Prinzips schließt auch das Weiterleiten von Signalen ein. Thematisiert wird dies zunächst auf der strukturellen Ebene, indem im weitesten Sinne über *BUS-Systeme* gesprochen werden soll. Im gleichen Zug soll über die un-

262 Im Folgenden werden hier fachliche Konzepte angesprochen. Es wird nicht davon ausgegangen, dass die Proband:innen diese kennen (und erklären können). Es sollen bestimmte Inhalte in jedem Interview thematisiert werden, damit diese Themen für die Proband:innen zu Erlebensgegenständen werden (können), um das Verhältnis zwischen den Erlebensweisen und den fachlichen Konzepten zu analysieren. Dieses Verhältnis ist didaktisch nutzbar.

verschiedlichen Eingabekomponenten eine Unterscheidung zwischen *digitalen und analogen Signalen* fokussiert werden. Zu guter Letzt soll der sozio-technische Charakter und die *Veränderbarkeit* von technisch-digitalen Artefakten hinsichtlich der Nutzungskomponenten unter dem Aspekt der Veränderbarkeit und Erweiterbarkeit aufgegriffen und mit den Proband:innen reflektiert werden (siehe *Kapitel 2.3.1*). Eine kurze und fachlich reduzierte Auseinandersetzung mit den benannten Konzepten ist den einleitenden Kapiteln zu den Ergebnisräumen zu entnehmen (siehe *Kapitel 7*).

Nach einer Pilotierung wurde der Interviewleitfaden überarbeitet; die Änderungen sind im Text oder durch Fußnoten gekennzeichnet. Gerahmt werden die Fragen nach verschiedenen technischen Spezifikationen und Funktionsweisen (*Exploration*) durch Fragen nach lebensweltlichen Bezügen (*Einstieg & Abschluss*). Der Ablauf sieht wie folgt aus:

Die Phase des *Einstiegs* beginnt mit einer Instruktion über das Interview. Die Kinder werden zu zweit befragt. Die Einteilung erfolgt durch die Lehrkräfte. Dabei wurde Rücksicht auf die zwischenmenschlichen Beziehungen der Kinder genommen. Den Kindern wird der Ablauf sowie die Relevanz jeglicher Aussagen – unabhängig von ihrem vermeintlichen Wissensstand – erklärt und eine Distanzierung zum schulischen Lernumfeld vorgenommen. Zunächst wird den Kindern das Thema und der problemzentrierte Einstieg präsentiert. In einem zweiten Schritt werden die Kinder gefragt, ob sie den Calliope mini kennen. Ein Bezug zur Lebenswelt wird durch ein auseinander geschraubtes Smartphone geschaffen, indem den Kindern deren Mainboard präsentiert wird. Das Smartphone wird vor den Augen der Kinder geöffnet. Die Interviewerin verweist auf die Ähnlichkeit trotz technischer Reduktion des Calliope mini im Vergleich zum Smartphone, um den Lebensweltbezug herzustellen.



Abbildung 3: Mainboard eines Smartphones

In der *Explorationsphase* werden den Kindern sukzessiv zwei Calliope mini mit unterschiedlichen Funktionen ausgehändigt. Die Kinder explorieren die unterschiedlich programmierten Calliope mini. Im ersten Schritt bedarf es der Funktionsklärung des jeweiligen Programmteils²⁶³. Die einzelnen Programmteile sind dem Anhang 3 zu entnehmen. Dies wird durch die Fragen *Was erkennst du?*, *Was siehst du?* und weitergehend *Was macht der?* gestützt²⁶⁴. Die Programmteile sind simpel gestaltet bzw. programmiert, sodass die Interpretationsleistungen über die Funktion des Programms möglichst niedrigschwellig sind²⁶⁵. Die Kinder werden bei der Interpretation der Ausgabewerte durch die

263 Verschiedene Teile der Programmierung des Calliope mini, im Folgenden als Programmteile bezeichnet, werden als Erlebensgegenstände analysiert. Im Folgenden wird der Begriff genutzt, um einen spezifischen Interviewabschnitt, in welchem der zugehörige Erlebensgegenstand von den Proband:innen erlebt wird, zu zeichnen.

264 Diese Differenzierung wurde nach der Pilotierung vorgenommen. Die Frage nach dem Beschreiben des Calliope mini (*Was siehst du?*) ist als niedrigschwellig zu bewerten. Dies soll den Proband:innen den Einstieg in das Interview und den Zugang zum Gegenstand Calliope mini erleichtern.

265 Die beiden Calliope mini haben dabei jeweils nicht mehr als drei Funktionen bzw. Programmteile. Die Programmteile sind so konzipiert, dass bspw. auf eine Eingabe maximal zwei Ausgaben folgen. Bspw. wird beim Programmteil B durch das Drücken eines Knopfes ein Bild auf der LED-Matrix angezeigt, während

Interviewerin unterstützt. Anschließend wird versucht, die Kinder dazu anzuregen, einen Lebensweltbezug herzustellen²⁶⁶. Dies geschieht, indem die Kinder gefragt werden, ob sie die Funktion aus ihrem Alltag kennen. Diese Fragen werden vor jeder Explorationsphase eines neuen Programnteils gestellt. Die Programnteile A-D sind in der folgenden Tabelle abgebildet. Jeder Programnteil entspricht einem der folgenden möglichen Erlebensgegenstände (z. B. *Speicher, Verarbeitung (EVA-Prinzip), analoge & digitale Signale, BUS-Systeme, Veränderbarkeit bzw. Erweiterbarkeit*). Die Programnteile sind durch die Verfasserin dieser Arbeit explizit in Abhängigkeit zu den Erlebensgegenständen programmiert worden. Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass dies nur Möglichkeiten sind, die Erlebensgegenstände durch eine Programmierung darzustellen. Diese Möglichkeiten der Phänomendarstellungen (bzw. der Repräsentation möglicher Erlebensgegenstände) sind möglichst simpel gehalten. Anschließend werden den Kindern Fragen zur technischen Funktionsweise gestellt. Zuerst wurde den Kindern der erste Calliope mini ausgehändigt. Dieser hatte die Programnteile A, B und D aufgespielt. Anschließend wurde der zweite Calliope mini ausgehändigt, welcher die Programnteile A und C geladen hatte.

Beim Programnteil A *Begrüßung* läuft beim Anschalten des Calliope mini auf der LED-Matrix der Text *Hallo*. Hauptziel dieses Schrittes ist das Aufmerksam machen auf den Speicher, welcher nach Wegnahme (und erneuerter Aktivierung) der Stromzufuhr weiterhin auf denselben Datensatz zugreifen kann.

bei Programnteil D auf das Berühren zweier Pins sowohl einen Ton über den Lautsprecher als auch ein Buchstabe auf der LED-Matrix ausgegeben wird.

266 Der Lebensweltbezug dient nicht nur der Verbindung vom Calliope mini zum Vorwissen bzw. Bekanntem, sondern ermöglicht es, dass die Proband:innen die lebensweltliche technische Durchdringung wahrnehmen.

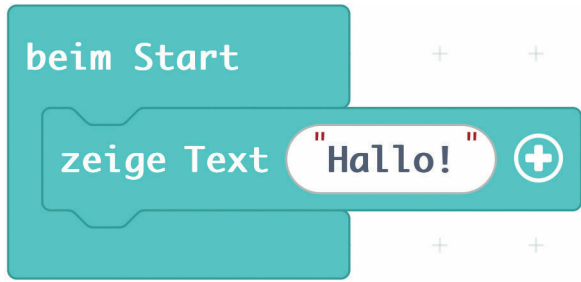


Abbildung 4: Programmteil A – Erlebensgegenstand Speicher

Das Programmteil B *Bilder-Auswahl* bietet über die Eingabe (*Knopf A & B*) und Ausgabe (*LED-Matrix*) die Möglichkeit eine Imagination über die Verarbeitung anzuregen. Auf fachlicher Ebene zielt dies auf Speicherinstanzen und die CPU ab.

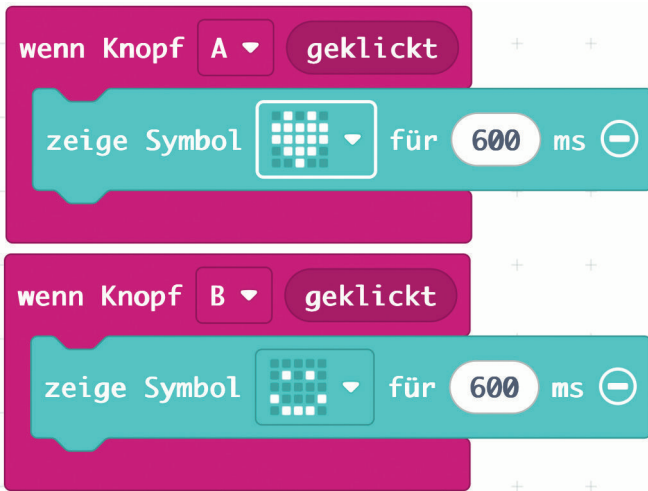


Abbildung 5: Programmteil B – Erlebensgegenstand Verarbeitung

Programmteil C *Bewegungssensor* dient der Darstellung der variablen Gestaltung und Veränderbarkeit von Mikrocontrollern, was elementaren Eigenschaften von Mikrocontrollern in der Anpassung auf Bedürf-

nisse entspricht. Ein Bewegungssensor misst den Abstand vom Sensor zu einem Gegenstand vor dem Sensor und gibt diesen in Zentimetern über die LED-Matrix aus. Obwohl der Calliope mini ein didaktisiertes Arbeitsmittel darstellt, muss die Charakteristik eines Mikrocontrollers bezüglich der Veränderbarkeit deutlich werden. Dies geschieht durch den eigens anzuschließenden Bewegungssensor. Die neue Verkabelung kann als Gesprächsanlass genutzt werden, um über BUS-Systeme und Signalleitungen zu sprechen, da der Bewegungssensor über Kabel angeschlossen wird.

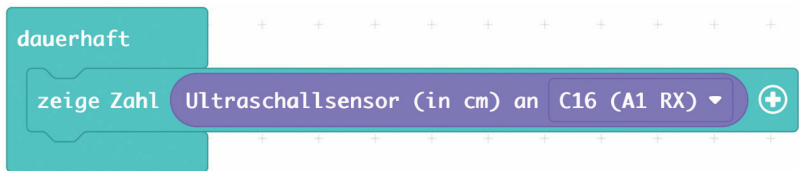


Abbildung 6: Programmteil C – Erlebensgegenstand analoge/digitale Signale und Veränderbarkeit

Das Programmteil D *Klavier* widmet sich ähnlichen Zielsetzungen wie der Programmteil C hinsichtlich der BUS-Systeme und Signalleitungen. An die Pins des Calliope mini werden Krokodilklemmen und Knete angebracht. Jeder genutzte Pin ergab beim Berühren der Knete und des Auslöse-Pins eine Tonleiter und einen Buchstaben auf der LED-Matrix. Über das Tauschen der andersfarbigen Krokodilklemmen kann über die Programmierung des Calliope mini gesprochen werden.

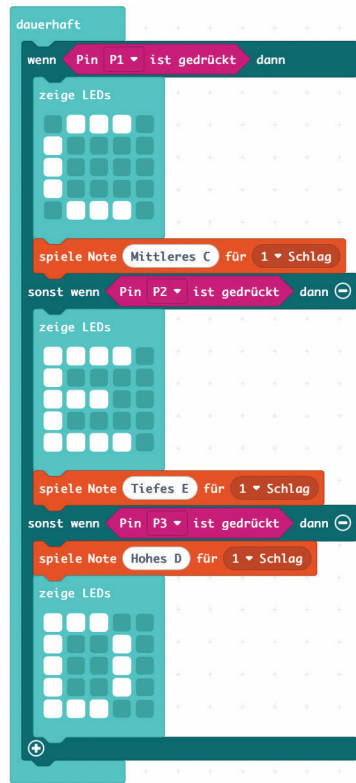


Abbildung 7: Programnteil D – Erlebensgegenstand BUS-Systeme und Signalleitungen

Der Leitfaden hat sich jedoch innerhalb der Frageblöcke – bedingt durch die Pilotierung – verändert: Ein Programnteil widmet sich übergeordnet einem inhaltlichen Aspekt. Um zu rekonstruieren über welche Denkmöglichkeiten die Proband:innen bzgl. der Prozesse zwischen Ein- und Ausgabe verfügen, wird die Frage nach dem EVA-Prinzip zu den Programnteilen B bis D wiederholt: Dazu wurde die Frage „Was passiert denn im Calliope drinne, wenn ich den Knopf A drücke und mir ein Bild angezeigt wird?“ für jeden Programnteil formuliert, sodass eine Redundanz der Fragestellung auch in Hinblick auf den Übertrag auf andere Situationen eine (Nicht-)Bestätigung der Erlebensweise des

Kindes erfährt²⁶⁷. Nachdem die Kinder mit einem Programmteil konfrontiert wurden und dessen Funktion erschlossen haben, werden die Fragen aus folgender Tabelle gestellt:

Programmteil	Interviewfragen (Komponente bzw. Prozess des Erkenntnisinteresses)
A Begrüßung Der Calliope wird angeschaltet und auf der LED-Matrix wird ein Text angezeigt („HALLO“).	1. Warum kann der Calliope mir immer wieder zu Beginn „Hallo“ sagen, obwohl ich den Strom immer wieder wegnehme und der Calliope dann aus sein sollte? (<i>Speicher: Interviewerin trennt Batterie vom Calliope</i>) 2. Schau dir den Calliope an, sehen wir, dass da was passiert? Was passiert in dem Calliope zwischen dem „Ich schalte ihn an“ und er sagt „Hallo“? (<i>EVA</i>) 3. Wie kann der Calliope denn mit einem „Hallo“ auf das Anschalten reagieren? Wie kann der darauf reagieren? (<i>Speicher</i>)
B Bilder-Auswahl Beim Drücken des Knopf A wird ein Herz angezeigt. Beim Drücken des Knopf B wird ein Smiley angezeigt.	1. Wie kommt es, dass wenn ich auf den Knopf drücke, die LEDs angehen, obwohl ich gar nicht auf die LEDs gedrückt habe? (<i>EVA</i>) 2. Sind denn die Lämpchen dasselbe, wie die Knöpfe? (<i>Vergleich Ein- und Ausgabe: I drückt auf Knopf und Lämpchen</i>) 3. Wie könnte das denn funktionieren? Was passiert im Calliope mini, sodass er bei Knopf A ein Herz zeigt und bei Knopf B einen Smiley? (<i>Speicher, Prozessor: EVA</i>) 4. Was passiert zwischen dem „Ich drücke einen Knopf“ und „Es leuchtet ein Muster“ in dem Calliope selber? Passiert bei dem Herz etwas anderes als beim Smiley? (<i>Verarbeitung</i>) 5. Wo könnte die Information, welches Bild gezeigt werden soll, denn auf dem Calliope vorhanden sein? (<i>Speicher</i>)

267 In der Auswertung der Pilotierung wurde deutlich, dass durch einzelne Aussagen zu einem Phänomen das Erleben des bzw. der Proband:in vom konkreten Erlebensgegenstand nicht rekonstruiert werden kann. Das Phänomenerleben konnte nicht bestätigt werden, da keine wiederkehrenden Aussagen zu denselben Themen verglichen werden konnten; so würde die Rekonstruktion des Erlebens des bzw. der Proband:in spekulativ bleiben. Deshalb wurden manche Fragen, wie im Beispiel angeführt, mehrmals in dem Interview zu verschiedenen Programmteilen gestellt. Dies ermöglicht die Erlebensweisen der Proband:innen auch im Transfer auf andere Situationen (nicht) zu bestätigen.

C Bewegungssensor An den Calliope ist ein Bewegungssensor angeschlossen. Auf der LED-Matrix des Calliope mini wird eine Zahl angezeigt, die den Abstand des Gegenstandes von dem Bewegungssensor in Zentimetern angibt.	1. Was passiert denn im Calliope drinne, wenn ich die Hand vor das Ding (Bewegungssensor) halte und Zahlen auf dem Lampenfeld erscheinen? (<i>Verarbeitung</i>) 2. Du hast hier dieses Kabel. Was könnte das Kabel damit zu tun haben? Was passiert da in dem Kabel? (<i>Signale</i>) 3. Gibt es sowas ähnliches wie das Kabel auch auf dem Calliope selbst? (<i>BUS-Systeme</i>) 4. Warum konnte ich da einfach was anschließen? Warum und wie kann der Calliope auf die Bewegung reagieren? (<i>Veränderbarkeit & Programmierung</i>) <i>Dieser Abschnitt setzt voraus, dass die Kinder bereits Programmteil B ausprobiert haben.</i> 5. Warum reagiert der Calliope auf das davor Halten, obwohl ich den Calliope gar nicht anfasse? (<i>Analoge Signale</i>) 6. Wo liegt der Unterschied oder die Gemeinsamkeit zwischen den Knöpfen und diesem Bauteil, was den Abstand zu einem Gegenstand misst? (<i>Digitale & analoge Eingabegeräte & Signalverarbeitung: EVA</i>)
D Klavier An die Pins werden Knete & Krokodilklemmen angeschlossen. Durch das Drücken der Knete können Töne gespielt werden & es wird der Tonleiter auf der LED-Matrix angezeigt.	1. Was passiert denn im Calliope drinne, wenn ich die Knete drücke und ein Ton und ein Buchstabe kommt? (<i>Verarbeitung</i>) 2. Ist das für dich das dasselbe, wie wenn ich einen Knopf drücke? (<i>Vergleich Eingabekomponenten</i>) 3. Was könnte das Kabel damit zu tun haben? Was passiert da in dem Kabel? Gibt es sowas wie die Kabel auch auf dem Calliope selbst? (<i>BUS-Systeme</i>) 4. Warum konnte ich da einfach was anschließen? Warum und wie kann der Calliope auf das Drücken reagieren? Warum spielt der auch beim Tauschen der Kabel immer denselben Ton? (<i>Erweiterbarkeit & Programmierung: Interviewerin tauscht die andersfarbigen Klemmen</i>)

Tabelle 1: Interviewleitfaden

Die Phase des Abschlusses dient dem Rückblick auf bereits Gesagtes. Es wird über die Programmteile und den Verwendungszusammenhang gesprochen. Die Pilotierung ergab, dass Schwierigkeiten hinsichtlich der technisierten und zu verarbeitenden Substanz (Informationen) auftauchen können. Dies kann über einen Vergleich zu anderen technischen Geräten angestoßen werden. Die Frage *Was verarbeitet der Calliope mini überhaupt?* wird mit den folgenden Abschlussfragen eingeleitet:

- Wie kann es sein, dass das Stück Metall/Kunststoff überhaupt etwas macht?
- Was braucht der Calliope noch, um wirklich etwas zu machen? Ist es nur Strom oder auch etwas anderes?

- Wofür brauchen wir denn überhaupt sowas wie den Calliope?
- Was wird da denn verarbeitet?

Es wird darauf geachtet, dass ein Zusammenhang zwischen bekannten Artefakten (bspw. Smartphones, Tablets, ...) und dem Calliope mini geschaffen wird.

6.5 Stichprobe, Untersuchungsbedingungen und Dokumentation

Die Gruppe der Proband:innen umfasst 14 Kinder, sieben männlich und sieben weiblich. Sechs Kinder waren zum Erhebungszeitpunkt in der dritten Klasse und acht Kindern in der vierten Klasse einer Schule in Norddeutschland. Der Stadtteil wird als gut situiert beschrieben.²⁶⁸ Die Kinder wurden wie angeführt zu zweit interviewt. Die Gruppen waren bis auf eine Ausnahme geschlechtshomogen. Die angesprochenen Themen wurden zuvor weder zuhause noch explizit in der Schule behandelt. Nur drei Kinder wiesen auf Vorerfahrungen durch die Tätigkeit der Eltern, technisch-digitale Spielzeuge oder technische Baukästen hin. Die Interviews fanden in einem den Kindern bekannten Schulraum während der Schulzeit statt. Auf einen Tisch wurden jegliche Materialien zur Untersuchung gelegt. Die Proband:innen saßen seitlich zur Interviewerin. Den Proband:innen aus der vierten Klasse war die Interviewerin durch einen halbjährigen Praxiseinsatz in der Klasse bekannt. Für die Proband:innen aus der dritten Klasse war die Interviewerin unbekannt. Die Interviews wurden an zwei Tagen durchgeführt: An einem Vormittag alle Viertklässler:innen und am folgenden Tag alle Drittklässler:innen.

268 Um keine Rückschlüsse auf die Proband:innen zuzulassen, werden keine näheren Informationen genannt.

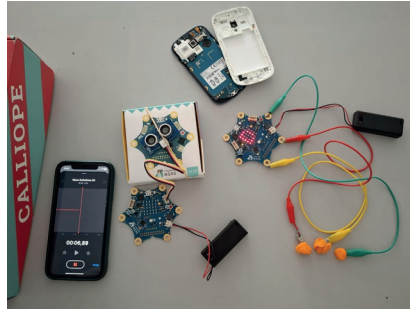


Abbildung 8: Untersuchungssetting

Die Interviews dauerten zwischen 25 und 35 Minuten und wurden mittels Audioaufzeichnungen dokumentiert. Diese wurden anschließend nach der Methode eines semantisch-inhaltlichen Transkriptionssystems transkribiert, welches den Fokus auf den Inhalt des Gesagten setzt: Wortwiederholungen werden aufgrund der Verständlichkeit geglättet. Es wurde lautsprachlich transkribiert. Wörter, wie *Ähm*, *Mhm* oder *Hm* wurden auf das Nötigste reduziert. Sätze, die nicht vollendet werden, werden mittels eines Slashes (/) markiert. Rezeptionssignale werden auf das Minimum gekürzt. Größere Pausen, die drei Sekunden überschreiten oder zu anonymisierende Inhalte sowie nicht Relevantes werden durch (...) gekennzeichnet.²⁶⁹ Zur Hilfe wurde das Transkriptions- und Auswertungsprogramm f4 genutzt²⁷⁰. Die vollständigen Transkripte sind im Besitz der Verfasserin. Das Codesystem und die Ergebnisräume sind dem Anhang zu entnehmen.

269 Vgl. Dresing & Pehl 2018, S. 20 ff.

270 Vgl. audiotranskription.

7 Auswertung der Daten

Die Auswertung der Daten auf deskriptiver und interpretativer Ebene erfolgt mittels der Phänomenographie. Der Datensatz wurde mehrfach untersucht: Im ersten Schritt wurde der Datensatz gesichtet und in Hinsicht auf die intendierten Erlebensgegenstände (später: Kategoriensätze) untersucht (siehe *Kapitel 6.2*). Neue Kategorien wurden gebildet, sobald eine eindeutige Zuordnung zu vorhandenen nicht möglich erschien²⁷¹, um verschiedene Variationen vom Phänomenerleben (später: Kategorien innerhalb eines Kategoriensatzes) ausreichend voneinander abzugrenzen und die „Binnenstrukturen der Vorstellungswelten verschiedener Interviewpartner zu einem Phänomen“²⁷² zu erfassen. In einem zweiten Schritt wird sich einer Komprimierung der Variationen gewidmet, was in Abhängigkeit zu Bedeutungsvariationen innerhalb einzelner oder mehrerer Interviews geschieht²⁷³. Eine Hierarchisierung der Erlebensvariationen erfolgt durch die Betrachtung der Komplexität der Erlebensweisen²⁷⁴. Identifiziert werden relevante Strukturen, welche in Abhängigkeit bzw. im Kontrast zu fachlichen Aspekten stehen. Diese strukturierten „[h]ierarchisch geordnete[n] Beschreibungskategorien zu Einzelphänomenen“²⁷⁵ werden als Ergebnisraum bezeichnet. Das Ziel ist es, die Merkmalsausprägungen von Erlebensweisen zu identifizieren und zu untersuchen, in welchem Verhältnis sie zu informatischen (Teil-)Konzepten stehen, d. h. womöglich anschlussfähig und damit für das Informatiklernen von Relevanz sind. Die Auswahl der informatischen

271 Marton & Booth 2014, S. 195.

272 Murmann 2013, S. 8.

273 Vgl. ebd., S. 10.

274 Vgl. Marton & Booth 2014, S. 196.

275 Murmann 2013, S. 10.

(Teil-)Konzepte wurde durch das EVA-Prinzip gerahmt (siehe *Kapitel 6.4*). Diese sollen durch die Erhebung der (außerschulisch) erworbenen Wissensbestände erschlossen werden.²⁷⁶

Dabei dürfen das Erhebungssetting und die thematische Segmentierung nicht als didaktisches Lernarrangement begriffen werden²⁷⁷. Das Erhebungssetting soll das Phänomenerleben der Proband:innen rekonstruierbar gestalten und weder ein didaktisches Setting auf inhaltlicher noch auf methodischer Ebene darstellen. Vielmehr ergeben sich aus den Ergebnissen der Erhebung didaktisch nutzbare Aspekte, welche entweder in didaktische Konzepte integriert werden können oder als eigene didaktische Konzepte alleine stehen. In dieser Arbeit wird ersteres angestrebt.

Die intendierten Erlebensgegenstände sind im Interviewleitfaden stark mit den Programmteilen A-D verknüpft²⁷⁸. Die vorab eingegrenzten Themenbereiche zur Erfassung des Phänomens Mikrocontroller wurden durch die Datenanalyse reduziert, komprimiert und ergänzt: Dazu wurden zunächst Aussagen von Proband:innen zu den intendierten Erlebensgegenständen zugeordnet, welche vorläufig als Benennung der Kategorien(-sätze) genutzt wurden. Diese sind der *Speicher*, die *Verarbeitung* (EVA-Prinzip), *analoge und digitale Signale*, *BUS-Systeme* und die *Veränderbarkeit bzw. Erweiterbarkeit*.

Im Zuge der Auswertung wurden die oben genannten Bezeichnungen der Kategoriensätze angepasst: Die Kategorie *Speicher* wurde revidiert. Auch bei mehrfacher Durchsicht des Datensatzes konnte kein Kategoriensatz entstehen, da nicht genügend Aussagen zur Kategorisierung vorhanden waren. Zurückzuführen ist dies darauf, dass das Erhebungssetting – konkret der Programmteil und die zugehörigen Fragen – kein Erleben von *Speicher* evozierte. Die vorläufige Kategorie *BUS-Systeme*

276 Vgl. GDSU 2013, S. 10.

277 Es ist nicht förderlich einzelne Themenaspekte der technischen Funktionsweisen von Mikrocontrollern losgelöst vom Gesamtkontext im Unterricht zu thematisieren.

278 Vgl. Marton & Booth 2014, S. 131 ff.; vgl. Murmann 2013, S. 9: Die Kategorienbildung bezieht sich auf einen bestimmten situativen Inhaltsausschnitt. Dies ist nur eine mögliche methodische Herangehensweise, welche durch das Erhebungsdesign begründet wird.

wurde inhaltlich weitgehend verändert. Schon während der Erhebung ist deutlich geworden, dass vor der Thematisierung von BUS-Systemen zunächst das Weiterleiten von Signalen erkannt werden muss, worüber daher im Interview auch gesprochen wurde²⁷⁹. Demnach wurde diese Kategorie bzw. dieser Erlebensgegenstand in *Signalleitungen* umbenannt. Eine entsprechende Veränderung durchlief auch die Kategorisierung zum Erlebensgegenstand der *analogen und digitalen Signale*: Obwohl der Erlebensgegenstand sehr abstrakt ist, weisen die Eingabekomponenten im weiteren Sinne auf eine mögliche Unterscheidung hin (siehe Sensoren und mechanische Bauteile). So wurde sich anstelle eines Signalbegriffs der Unterscheidung von Sensoren und mechanischen Bauteilen (und deren Ausgaben) angenähert, welche Unterscheidung jedoch auch für die analogen und digitalen Signale genutzt werden können. Revidiert wurde auch die Bezeichnung des vorläufigen Kategoriensatzes *Veränderbarkeit/Erweiterbarkeit*. Letztlich trugen die entsprechenden Interviewabschnitte zu dem induktiv gebildeten Kategoriensatz *Programmierung* bei. Die Proband:innen führten die Programmierung regelmäßig und ohne Bezug zum Interviewleitfaden an. Die reichhaltigen Aussagen der Proband:innen wurden kategorisiert, um deren Erleben zu rekonstruieren. Die Kategorie *Verarbeitung (EVA-Prinzip)* wurde nicht verändert. Die endgültigen Kategoriensätze beziehen sich auf die Erlebensgegenstände *Verarbeitung (EVA-Prinzip)*, *Signalleitungen*, *analoge und digitale Signale* und *Programmierung*. Jeder einzelne Kategoriensatz wird als Ergebnisraum bezeichnet.

Innerhalb dieser Kategoriensätze werden die Variationen der Erlebensweisen beschrieben. Sie werden induktiv generiert, indem das Erleben aus einer Perspektive zweiter Ordnung rekonstruiert und sie hierarchisch in ihrer Komplexität differenziert werden. Das Erleben aus der Perspektive zweiter Ordnung ist zentraler Gegenstand dieser Untersuchung.²⁸⁰

279 BUS-Systeme sind ein fachlich abstraktes Konzept, welches nicht von Proband:innen der Primarstufe erkannt werden kann, da es äußerlich keineswegs erkennbar ist.

280 Vgl. Marton & Booth 2014, S. 193 f.

Die Auswertung der Interviews setzt an jenen Interviewstellen an, in welchen die Funktionen der Programmteile erschlossen wurden, da dort das Erleben des Gegenstandes anfängt. Darüber hinaus sind solche Fragen von Relevanz, welche in der Phase des Einstiegs und des Abschlusses (siehe *Kapitel 6.4*) gestellt werden. Die Phase des Vergleichs zwischen Smartphone und Calliope mini sowie die Phase der Erschließung wurde allerdings aufgrund der zeitlichen Begrenztheit durch die Interviewerin unterstützt und dementsprechend nicht mit ausgewertet.

Die Transkriptausschnitte werden im Folgenden durch den Transkriptnamen und den Absatz innerhalb des Transkripts benannt. Die Aussagen sind in nummerierte Absätze unterteilt, sodass diese zügig gefunden werden können. Die Zahl hinter dem Interviewnamen gibt die Klassenstufe der Proband:innen wieder (bspw. „K2K3 3, Absatz 4“). Die Proband:innen sind in den Transkripten durch K gekennzeichnet und durchnummeriert. K1 ist der:die Proband:in der Pilotierung, weshalb der folgende Datensatz nur die Proband:innen K2 bis K15 beinhaltet. Das Pilotierungsinterview wurde aufgrund der Veränderung des Interviewleitfadens sowie der Erhebungsumstände nicht mit einbezogen. Die Codierung der Interviewausschnitte zu den einzelnen Kategorien sind dem Anhang zu entnehmen (siehe *Anhang 1*). Für die Darstellung der Erlebensweisen werden in der Auswertung nur exemplarische Textstellen angeführt. Es folgen den vier Darstellungen der Ergebnisräume jeweils drei Unterkapitel. Im jeweilig ersten Unterkapitel werden verschiedene Interviewstellen in Gestalt von Tabellen angeführt. K(+Zahl) ist das interviewte Kind und I die Interviewerin. In der linken Spalte ist eine Textstelle und in der rechten Spalte die Zuordnung zu einer Kategorie mittels eines Kürzels angeführt. Die jeweiligen Kürzel zu den Kategorien werden im zweiten Unterkapitel ausgeführt und im dritten konkretisiert und voneinander abgegrenzt.²⁸¹ In manchen Interviewausschnitten sind Begriffe zum Verständnis durch Klammern ergänzt, welche Handlungen und Bezüge verdeutlichen.

281 Die Datenauswertung wird in Anlehnung an die Studie von Murmann 2002 strukturiert.

7.1 Der Prozess der Verarbeitung

Der innenliegende Prozess der Verarbeitung ist konzeptuell durch das EVA-Prinzip gerahmt und in der CPU zu verorten. Zwischen der Eingabe in Form von Bedienhandlungen und der Ausgabe – u. a. in Gestalt von Tönen und LEDs – findet in der CPU die Verarbeitung statt. Eine solche CPU beinhaltet verschiedene Komponenten: Während das Rechenwerk „die in einzelne Schritte aufgebrochenen Befehle des Programms aus[führt]“²⁸² und die benötigten Daten im Arbeitsspeicher als Bitmuster speichert, kontrolliert das Steuerwerk diesen Prozess.²⁸³

Die Proband:innen können ausschließlich die Ein- und Ausgabe wahrnehmen, weshalb über ihr Erleben des intendierten Gegenstandes erstmal nur spekuliert werden kann. Die Proband:innen beschäftigen sich jedoch mit der Verarbeitung durch die verschiedenen Programmteile. Dabei ist die Aktivität mit dem Calliope mini selbst genauso relevant wie die Interviewfragen, welche die Aufmerksamkeit der Proband:innen auf den Erlebensgegenstand lenken sollen. Darunter fallen im Interviewleitfaden die Fragen A.2, B.1, B.3, B.4, C.1 und D.1 (siehe *Kapitel 6.4*)²⁸⁴. Beim Programmteil B (Frage A.4) werden die Proband:innen bspw. danach gefragt, was zwischen „Ich drücke einen Knopf“ und „Es leuchtet ein Muster“ in dem Calliope mini geschieht. Beim Programmteil C wird bspw. danach gefragt, was in dem Calliope mini innen drinnen geschieht, wenn die Hand vor den Bewegungssensor gehalten wird und Zahlen auf der LED-Matrix erscheinen. Die Proband:innen sind somit über das ganze Interview mit verschiedenen Phänomenausprägungen des Erlebensgegenstandes – in Form unterschiedlicher Programmteile – konfrontiert.

Da die Proband:innen innenliegende Strukturen nicht ohne fachlichen Eingriff oder Vorwissen erkennen können, ist das Erkennen des EVA-Prinzips, d. h., dass zwischen der Ein- und Ausgabe ein (Verarbei-

282 Ernst et al. 2015, S. 12 f.

283 Vgl. Ebd.

284 Die Abkürzungen (*Buchstabe.Zahl*) stehen jeweils für das Programmteil (A-D) und die dort nummerierte Frage zu dem Programmteil. Diese sind dem Interviewleitfaden zu entnehmen.

tungs-)Schritt durch ein informationsverarbeitendes Teilsystem geschieht, als höchstmögliche Kategorie des Verstehens zu begreifen. Das vollständige Codesystem ist dem *Anhang 1* zu entnehmen.

7.1.1 Darlegung des Datensatzes

In den sieben Interviews nahmen die Proband:innen Phänomene rund um die Verarbeitung von Informationen unterschiedlich differenziert wahr. Die Daten wurden mittels der Programmierung und den intendierten Erlebensgegenständen erhoben. Die Aussagen der Proband:innen beziehen sich immer auf das, was zwischen einer Ein- und einer Ausgabe geschieht.

Während manche Proband:innen wie bspw. K2 oder K10 auf Fragen, welche thematisch auf die Verarbeitung abzielen, mit der Beschreibung von äußeren Bedien- und Ausgabeelementen antworteten, beschrieben weitere Proband:innen, wie sie sich eine innenliegende Informationsverarbeitung vorstellen. K2 und K10 erklärten – auch wenn explizit nach innenliegenden Funktionsprinzipien gefragt wurde – wie die Ausgaben aussahen. Exemplarisch dazu K2:

Aussage von K2	Kategorie
„I: Ungefähr auch so. Das heißt, ich drücke den Knopf. Und was passiert dann? #00:03:52# K2: Blinkt ein anderes Licht halt. #00:03:57#“ (K2K3 3, Absatz 30-31)	HZ

Ähnlich äußert sich K10. Die Art und Weise, wie K10 den Erlebensgegenstand wahrgenommen hat, wird dadurch bestätigt, dass der:die Gesprächspartner:in von K10 (K11) vorher sehr differenziert seine Ansicht kundgetan hat. Auf die Frage, ob K10 das ähnlichsehe, beschrieb er:sie den Handlungszusammenhang von Ein- und Ausgabe. Anders als bei den anderen Proband:innen dieser Kategorie, welche nur die Ausgabe beschreiben, beschreibt K10 auch die Eingabe.

Aussage von K10	Kategorie
„I: Ist das für dich genauso? #00:06:32# K10: Ja, aber/ Hier, wenn/ Wenn man das so ausschaltet, dann draufdrückt, dann ist es keine Lichter mehr da. #00:06:33#“ (K10K11 3, Absatz 58-59)	HZ

Die innenliegende Verarbeitung wird von zehn der 14 Proband:innen unterschiedlich differenziert. K9 vermutet bspw. eine direkte Verbindung zwischen Ein- und Ausgabekomponente.

Aussage von K9	Kategorie
„I: (...) Wie kommt es denn, dass, wenn ich auf die Knöpfe drücke? Dass der mir hier was anzeigt, weil ich drücke ja nicht hier drauf (Lämpchen), weil wenn ich hier draufdrücke, passiert ja nix. #00:03:59# K9: Das ist wahrscheinlich irgendwie verbunden. #00:04:11#“ (K8K9 4, Absatz 34-35)	RR

K4 ist besonders hervorzuheben. Die direkte Verbindung zwischen Knopf und Lämpchen wird sich mittels eines physischen Hebels erklärt.

Aussage von K4	Kategorie
„K4: Also vielleicht. Weil also man hat eine/ Also man hat da so eine kleine Glühbirne und dann kommt da vielleicht so ein Hebel und der drückt das dann um und dann werden die passenden Lampen angemacht für den. Also hier hat man einen Hebel und der macht dann das Herz. Und der hier macht zum Beispiel dann die passenden Lampen an, damit es ein Smiley wird. #00:07:30#“ (K4K5 4, Absatz 56)	RR

Eine solche direkte Verbindung wird ebenfalls von K2, K5, K8, K11, K12, K13 und K15 beschrieben. Meistens wird diese Verbindung Kabeln zugeordnet. Die Probanden:innen differenzieren innerhalb der Interviews zwischen ihren Aussagen. Die angeführten Proband:innen wechseln in ihren Ausführungen zwischen einer direkten Verbindung zwischen Ein- und Ausgabe und solchen Aussagen, die noch einen dritten Schritt zwischen der Ein- und Ausgabe vermuten lassen. Diese wird in der folgenden Auswertung als dritte Instanz²⁸⁵ benannt.

Beispielsweise verweist K4 auf eine Speicherinstanz in Gestalt einer Speicherkarte. K9, K12 und K13 verweisen auf Ähnliches. Dabei wird immer der Bezug zur Speicherung oder einer physischen Speicherkarte hergestellt.

285 Die „dritte Instanz“ beschreibt in der folgenden Auswertung die verarbeitende Einheit zwischen der Ein- und Ausgabe. Dieser Begriff wurde gewählt, da die Proband:innen nicht direkt die CPU bzw. die Verarbeitung der Informationen benannten. Unter dem Begriff ist die Erkenntnis eines Schrittes zwischen Ein- und Ausgabe zusammengefasst.

Aussage von K4	Kategorie
„K4: Dass das so gespeichert ist. Also, dass es in dem drin ist, dass da also/ Die haben ja immer eine kleine Speicherkarte und dann ist die da drin und dann sagt/ Also quasi so, wie Steuerung und die sagt, wenn jetzt irgendjemand diesen Knopf drückt, dann sollen diese Lämpchen angehen. #00:09:43# I: Okay, also ist da/ Also irgendwas passiert da denn noch mit/ Du meinstest gerade irgendwas mit Steuerung. Was meinst du? #00:10:04# K4: Quasi so eine. Hier geht der Knopf an, hier geht es lang und dann sagt/ Dann berührt man den Knopf und drückt den. Und dann sagt die Kleine, also der Speicher, der das eingespeichert hat, was das machen soll. Sagt dann das und das soll gedrückt werden. #00:10:10#“ (K4K5 4, Absatz 65-67)	RR 315

Deutlich wird bei dem Ausschnitt, dass immer wieder eine direkte Verbindung bzw. ein Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgabekomponente aufgezeigt wird. Die aufgeführten Proband:innen wechseln dementsprechend immer zwischen Erlebensweisen, bei welchen zum einen eine direkte Verbindung zwischen Eingabe, einer dritten Instanz und einer Ausgabe beschrieben wird und bei welchen zum anderen ein direkter Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgabe besteht. Dabei ist die *direkte* Verbindung als eine sinnbildliche interpretative Signalleitung zwischen entweder zwei oder drei Komponenten (Ein-, Ausgabe, dritte Instanz) zu verstehen.

Dabei wird jedoch als dritte Instanz nicht nur die Speicherfunktion angesprochen. Manche Proband:innen, wie K5, K8, K9, K12 und K13, verweisen auf Sichtbares²⁸⁶. Die Proband:innen leiten sich über die Beschäftigung mit dem Calliope mini her, dass die so bezeichneten *Chips* auch eine Funktion hätten und damit das Signal ggf. durch diese *Chips* durchlaufen müsste.²⁸⁷ K5 bezeichnet die verarbeitenden Instanzen (auch: *Chips*) auf dem Calliope mini ebenfalls mit dem Begriff *Knöpfe*. Bei dem Programmteil D beschreibt K5 eine Signalleitung unter den aufgesetzten *Chips*, damit ein Ton abgespielt werden kann.

286 Die Proband:innen beziehen sich auf sichtbare Bestandteile des Calliope mini. Die sichtbaren Bestandteile des Calliope mini werden als dritte Instanz wahrgenommen, welche am Prozess zwischen Ein- und Ausgabe teilnehmen.

287 Die Proband:innen benannten die Komponenten des Calliope mini unterschiedlich. Zumeist zeigten sie jedoch auch nur auf die Bestandteile. Die Interviewerin hat dies verbalisiert. Auch das, was weitergeleitet wurde, benannten die Proband:innen unterschiedlich. Die Bezeichnungen können dem Codesystem im Anhang entnommen werden.

Aussage von K5	Kategorie
„K5: Also ich glaub, das wird dann weitergeleitet, der Strom und dann wird das da so über unter den ganzen Knöpfen lang geleitet und dann werden da so zum Beispiel wie jetzt das C. #00:13:36#“ (K4K5 4, Absatz 88)	RR 3IÄ

Interessant ist, dass Signale anstelle von Daten bzw. Informationen oftmals als elektrischer Strom bezeichnet werden; nicht gleichzusetzen mit dem Versorgungsstrom. Eine Differenzierung der Begriffe Signal und Strom findet nur in Ausnahmefällen wie bei K12 statt.

Aussage von K12	Kategorie
„K12: Unter/ Also mit dem Strom kann man auch Signale geben. #00:09:04#“ (K12K13 4, Absatz 77)	RR 3IÄ

Eine richtige Zuordnung der verarbeitenden Instanz kann nicht vorausgesetzt werden. So ordnen bspw. K8 und K9 den Motoranschlüssen eine verarbeitende Funktion zu. Dabei wissen beide nicht, was genau mit den Daten bzw. Signalen geschieht.

Aussagen von K8 und K9	Kategorie
„I: Und wird das dann direkt von dem Knopf weitergeleitet oder geht das noch irgendwo anders lang? #00:07:01# K8: Das geht irgendwo anders. Ich meine, hier unten. #00:07:35# K9: Vielleicht wird das da unten noch mal irgendwie so, aber das passiert ja alles blitzschnell. #00:07:38# I: Und warum glaubt ihr, dass das hier unten zu dieser doppelten Reihe (Motoranschlüsse) dann kommt? #00:07:01# K9: Vielleicht wird da noch mal irgendwie was aufgefrischt oder so was. Okay, ich weiß jetzt nicht genau, wie ich das ausdrücken soll, aber ich glaube, da wird unten noch was gemacht. Das ist jetzt irgendwie so, jetzt muss vielleicht ist jetzt die dieses Funktion, also zum Beispiel der Smiley kommt und jetzt nicht das Herz. Und wenn wir jetzt hier drücken, geht das hier runter und sagt Smiley und dann geht es wieder hoch und macht den Smiley. Und da weiß er dann halt auch welche Schalter einnehmen muss, also. #00:07:44#“ (K8K9 4, Absatz 63-68)	RR 3IÄ

Obwohl sich die Proband:innen über Sichtbares eine dritte Instanz herleiten, die etwas mit der Verarbeitung zu tun hat, äußern die Proband:innen immer wieder eine innenliegende direkte Verbindung zwischen Ein- und Ausgabekomponenten. Ähnlich ist dies bei K11, welche:r sich die Verarbeitung mittels einer Analogie erklärt. Für K11 fährt etwas los, dass Passagiere bei den so genannten Platten aussteigen lässt. Durch die Aussagen wird ein Transport von bspw. Lichtern

beschrieben, wobei nicht deutlich wird, ob eine dritte Instanz involviert ist oder ob eine innenliegende direkte Verbindung zwischen Ein- und Ausgabekomponente beschrieben wird. Eine genaue Differenzierung der beiden folgenden Abgrenzungen ist nicht möglich.

Aussagen von K11	Kategorie
„K11: Weil das Ding was durchgeführt wurde, auf jeden Fall. Mhm. Das sind zum Beispiel/ Irgendwie bei einer wie bei einer irgendwie von einem zu/ Wenn es hier losgeht, dann hier hingehet. Hier können Leute aussteigen, dann ist der Weg dann. Und dann fährt man weiter und man ist am Ziel. #00:03:42# I: Okay, und Also dann. Du sagst jetzt, ich drücke den Knopf, dann fährt der Zug los. Hält er denn hier an diesen kleinen Platten oder nicht? Nee, ok. Der fährt weiter und hält dann hier bei denen bei den Lämpchen. (...) #00:04:03#“ (K10K11 3, Absatz 39-40)	RR
„K11: Vielleicht das hier mit diesen Platten, das irgendwie zu tun hat. Müsste ja eigentlich, weil sonst wären sie ja einfach nur da. Das / Kann das sein, dass da von da irgendwie Strom raufgeleitet wird und dann hat das irgendwie einen Befehl/ das Ding/ einen Knopf anzeigt oder so was anzeigt. #00:04:38# I: Das musst du mir noch mal erklären. #00:05:00# K11: Also wenn von da, vom Knopf irgendwie hierauf es geleitet wird. #00:05:02# I: Was? Was meinst du hier genau? #00:05:10# K11: Halt wieder, dass da irgendwie Strom quasi losfährt. Auf eine Platte. #00:05:12# I: Auf eine Platte. Der geht dann auf eine Platte. Okay, wie so ein kleiner Zug, der dann anhält. Ja, ja. #00:05:17# K11: Und dann geht man da raus. Ja, da hat man irgendwie ein Befehl. Dass quasi die Lichter die Passagiere sind. Dann haben die irgendwie ein Befehl, dass die an irgendeine Stelle müssen, dann wird das halt so angezeigt. Dann gibt es ein Muster. #00:05:22#“ (K10K11 3, Absatz 44-50)	RR 3I

Die Proband:innen K6 und K7 stechen hervor. In deren Äußerungen wird deutlich, dass zwischen Ein- und Ausgabe etwas geschieht. Dabei leitet sich K6 dies auch über eine Beschreibung von Äußerem her. Der:die Proband:in wechselt jedoch nicht zwischen den oben benannten Erlebensweisen.

Aussagen von K6	Kategorie
„I: (...) Ja, wie kommt denn das, dass hier dann was angezeigt wird? Weil ich drücke auf den Knopf hier. Müsste dann nicht was irgendwie beim Knopf funktionieren? Und weil wenn ich hier drauf drücke/ #00:02:41# K6: Durch Strom und dass da irgendwie Befehle an vielleicht die Dinger gibt. #00:02:54# I: Du meinst an diese kleinen aufgesetzten Plättchen neben dem Knopf. #00:03:00# K6: Dass er irgendwie Strom rein leitet und dann werden die/ Da geht der Strom in die Lampen und dann gehen mit die Lampen an. #00:03:03#“ (K6K7 4, Absatz 17-20)	3IÄ
„K6: Ist irgendwie Strom, durch den fließt und der wird irgendwie programmiert. Und dann fließt der Strom durch Leitungen in dem und in die Lämpchen rein. #00:05:06# I: Okay, geht es dann direkt in die Lämpchen rein? Ja. #00:05:15# K6: Nee, das muss auch irgendwie noch durch. #00:05:19#“ (K6K7 4, Absatz 40-42)	3IÄ
„I: Und was passiert denn hier, wenn ich den Knopf drücke? #00:20:35# K6: Das wird vielleicht Strom in irgendeiner dieser Generatoren und die senden dann diesen Befehl weiter. #00:20:39#“ (K6K7 4, Absatz 163-164)	3I

K6 weist der dritten Instanz damit eine konkrete Funktion zu. Das bestätigt sich in den Aussagen des:der Interviewpartner:in K7. Diese:er leitete sich dies ebenfalls her, wobei durch die detaillierte Erklärung darüber, was in der verarbeiteten Instanz geschieht, ein Verständnis deutlich wird.

Aussagen von K7	Kategorie
„K7: Ja, wahrscheinlich. Das ist so ein Minicomputer, der das Ganze berechnen kann. Und dann kommt das da halt rein, fließt da über diese Leitbahnen, die wir schon hatten. Und dann kommt es da rein und der das alles in Sekundenschnelle und der berechnet das ganz, ganz schnell, wie das der gibt es dann schon irgendwie so eine Formel und die hat den eingespeichert und dann guckt er, wie passt das zu dieser Formel? Und dann kann er halt da, dann geht von da weiter. Wenn das gefunden hat, kommt da wieder was über die Leiterbahnen bis dahin und dann zeigt er da die, dann kommt es vielleicht dahin zu einem von denen und die sagen dann, je nachdem wo/ Wie die Zahl ist, kommt es zu dem und dann sagt der okay, das ist die, dann schickt er die Signale wieder dazu. #00:16:05# I: Okay, also das heißt theoretisch sagt er mir/ Also das Ding nimmt wahr, wie weit es weg ist, der muss dann irgendwas hier berechnen, irgendwo in irgendsoeinem Chip. Der leitet das dann an irgendeinen anderen Chip weiter und dann geht er zur zu dem LED-Feld und sagt da, was da angezeigt werden soll. #00:16:50# K7: Genau. #00:17:06#“ (K6K7 4, Absatz 130-132)	3I

7.1.2 Darlegung des Kategoriensatzes

Die Erlebensweisen des Verarbeitungsschrittes werden im Rahmen eines phänomenographischen Kategoriensatzes dargelegt. Der Kategoriensatz ist der folgenden Tabelle zu entnehmen. In der rechten Spalte sind die Kategorien benannt, während in der linken Spalte beispielhafte Aussagen aus der Perspektive zweiter Ordnung zur jeweiligen Kategorie formuliert sind, welche die Kategorie repräsentieren sollen. Es ist zu beachten, dass der Begriff der Verarbeitung der Theorie entspringt. Die Proband:innen nutzen diesen nicht. Das betrifft ebenso Begriffe einer verarbeitenden und weiterleitenden Instanz. Die Erlebensweisen sind nach zunehmender Komplexität kategorisiert und hierarchisiert worden. Je konkreter die Proband:innen eine dritte Instanz wahrgenommen haben, desto höher wurden die Erlebensweise eingeordnet. Obwohl der Ergebnisraum am Programmteil B formuliert worden ist, erfährt er auch Gültigkeit in den anderen Programmteilen, da dort auch das Erleben der Verarbeitungsinstanz sichtbar wurde.

Beispielformulierung für Ergebnisraum	Ergebnisraum
1. Ich drücke auf den Knopf und mir wird ein Herz angezeigt. 2. Ich drücke auf einen Knopf und dann wird da ein Signal weitergeleitet, welches die Lämpchen aktiviert.	1. Handlungszusammenhang (HZ) 2. Reiz-Reaktion (RR)
1. Vielleicht läuft das Signal noch über eine dieser Platten. 3. Zwischen dem Drücken eines Knopfes und dem Anschalten der Lämpchen berechnet ein Mini-Computer mittels einer Speicherinstanz, welche Lämpchen angehen sollen.	1. Herleiten dritter äußerer Instanz (3IÄ) 3. Wahrnehmen einer dritten Verarbeitungsinstanz (3I)

Tabelle 2: Ergebnisraum zum Prozess der Verarbeitung

7.1.3 Diskussion des Kategoriensatzes

Die erste phänomenographische Kategorie *Handlungszusammenhang von Ein- und Ausgabe* (HZ) unterscheidet sich von der zweiten Kategorie *Reiz-Reaktion* (RR) durch ein Beschreiben innenliegender Abläufe. Während in der ersten Kategorie ausschließlich der Zusammenhang von Ein- und Ausgabeprozessen beschrieben wurde, grenzt sich die

Kategorie *Reiz-Reaktion* davon ab, indem das Leiten eines Signals innerhalb des Calliope mini beschrieben wird.

Deutlich undifferenzierter wird die Abgrenzung der Kategorie *Reiz-Reaktion* zu der Kategorie *Wahrnehmung einer dritten verarbeitenden Instanz* (3I). Der Datensatz weist Abstufungen auf. Dabei wird die Kategorie *Reiz-Reaktion* mit dem Ansatz der Wahrnehmung einer dritten Verarbeitungsinstanz ergänzt. Dies kann als Übergang zur dritten Kategorie eingeordnet werden.

Es ist zu beobachten, dass innerhalb der Erlebensweisen der Reiz-Reaktion-Kategorie immer wieder Aussagen durch die Proband:innen getroffen werden, die auf die Wahrnehmung einer dritten Instanz deuten lassen. Im Verlauf der Interviews beziehen sie sich aber immer wieder auf das Reiz-Reaktion-Schema zurück. Exemplarisch ist K4 anzuführen, welche:r trotz des Ansprechens einer Speicherkarte diese nicht in die Abfolge des Reiz-Reaktion-Schemas integriert. Im Gegensatz dazu verweisen Proband:innen wie K8 und K9 auf eine lineare Entwicklung in ihrer Erlebensweise vom Reiz-Reaktion-Schemas zu einer Implementierung einer dritten Instanz. Diese Proband:innen wechseln während des Interviewverlaufs nicht zwischen dem Reiz-Reaktion-Schema und einer dritten Instanz, sondern integrieren die dritte Instanz in ihre Vorstellungen des Reiz-Reaktion-Schemas. Zudem deutet die Entwicklung im Interviewverlauf vom Reiz-Reaktions-Schema zur Wahrnehmung einer dritten Instanz auf eine Vertiefung des Verständnisses durch konkretes Handeln hin, womit eine didaktische Anschlussfähigkeit anzunehmen ist. Dies weist Bezug zu *Kahlert* auf, nach welchem Lernen durch die Irritation von Bewusstem durch neues nicht Erwartbares geschieht; die neuen Erkenntnisse werden in bisherige Vorstellungen integriert²⁸⁸. Das eigenständige Erkunden und Erforschen jener Komponenten und Prozesse kann einen Ansatz zur Wahrnehmung der dritten Instanz bieten und stellt induktiv einen unterrichtlichen Ansatz dar.

288 Vgl. Kahlert 2016, S. 102 f.

Eine Zuordnung zur dritten und höchsten phänomenographischen Kategorie kann nur mittels konkreter Vorstellungen wie bei K7 geschehen, indem grob erklärt wird, was in dem Verarbeitungsschritt geschieht. Dabei ist eine fachlich richtige Darlegung des Phänomens durch die Proband:innen nicht das Ziel, sondern nur eine Annäherung an diese. Die Erlebensweisen der Schüler:innen weisen aufgreifbare Vorstellungen und Teilvorstellungen zu der Kategorie auf. Beispielsweise werden nach K6 über die dritte Instanz Signale mittels Stroms weitergeleitet, welche in Verbindung mit der Programmierung stehen. K7 beschreibt z. B. einen Rechenvorgang innerhalb des Calliope mini, wobei der dritten Instanz eine relevante Funktion zugeschrieben wird. Zu beachten ist jedoch, dass diese Erlebensweisen keinen Bezug zur konkreten Architektur der CPU aufweisen. Die Imagination wurde nicht mit Haptischem in Verbindung gesetzt.

Aus den Daten wird deutlich, dass die Proband:innen durch eine explorierende Untersuchung des Calliope mini sich im Ansatz das EVA-Prinzip eigenständig herleiten können. Sie verknüpfen ihre bisherigen Vorkenntnisse bspw. über den Speicher, das Gesehene über die aufgesetzten Chips und die Aktivität, um sich die Funktionsweise zu erklären. Der Ergebnisraum lässt darauf schließen, dass die Beschäftigung mit dem Calliope mini zu einem wachsenden Verständnis führen kann. Exemplarisch ist K4 anzuführen, indem seine:ihre Erlebensweise eines Reiz-Reaktion-Schemas immer wieder durch eine dritte verarbeitende Instanz, wie bspw. einen Speicher oder die physisch sichtbare Architektur, irritiert wird. Dies ist so zu verstehen, dass sich das Erleben des Phänomens verändert. Während zunächst die Proband:innen zu Untersuchungsbeginn den Prozess der Verarbeitung als Reiz-Reaktion-Schema wahrnehmen, führt die Handlung mit dem Gegenstand zum Hinterfragen dieser bisherigen Erlebensweisen. Die Proband:innen integrieren das Erlebte ungleich in ihre bisherige Erlebensstruktur (siehe bspw. K8, K9 und K4).

Zusätzlich denken die Proband:innen darüber nach, was weitergeleitet wird und stellen erste Überlegungen an, was mit den Daten, Signalen o.ä. in der verarbeitenden Instanz geschieht (siehe bspw. K6

und K7). Jene Erlebensweisen zeigen anschlussfähige Merkmale auf, welche sich dem EVA-Prinzip annähern²⁸⁹.

7.2 Signalleitungen

Die im Interviewleitfaden als BUS-Systeme betitelte Kategorie befasst sich überwiegend mit der Weiterleitung von Signalen. Eine mögliche Differenzierung innerhalb der BUS-Systeme ist ausschließlich zurückzuführen auf explizites Fachwissen²⁹⁰ und kann nicht ohne Vorwissen erschlossen werden, weshalb sich im Rahmen der Auswertung für ein grundlegendere Konzept entschieden wurde: Das Weiterleiten von Signalen wird demnach als phänomenographischer Ergebnisraum angestrebt. Diese Weiterleitung wird durch elektrische Signale realisiert. Die Daten werden durch eine Binarität von „0“ und „1“ repräsentiert. Die „1“ steht für das Vorhandensein einer Spannung, während die „0“ für das Gegenseitliche steht.²⁹¹ Dabei ist zunächst nur wichtig, dass erkannt wird, dass ein Signal von der Eingabe, gegebenenfalls über eine informationsverarbeitende Instanz hin zu einer Ausgabe weitergeleitet wird. Wie dieses Signal konkret aussieht oder benannt wird, ist zweitrangig.

Eine Imagination über diesen Erlebensgegenstand wird über die Programmteile C und D angestrebt. In beiden Interviewabschnitten werden an beide Calliope mini externe Eingabetools angeschlossen. Bei dem Programmteil C ist dies ein Bewegungssensor, welcher an den Anschluss A1 des einen Calliope mini angeschlossen wird. Beim Programmteil D werden Krokodilklemmen an die Pins P1-P3 des anderen Calliope mini angeschlossen. In beiden Fällen wird die Aufmerksamkeit der Proband:innen auf die Kabel gelenkt, indem sie gefragt werden, was in diesem Kabel passiert oder was könnte das Kabel damit zu tun haben. Anschließend wird ein Vergleich zwischen dem Weiterleiten von Signalen über das Kabel hin zu dem Weiterleiten der Signale über den Calliope mini angestrebt. Dies wird über die Fragen C.3 und D.3

289 Vgl. Ernst, Schmidt & Beneken 2015, S. 13.

290 Vgl. Bernstein 2022, S. 9 ff.: Daten-, Adress- und Steuerbus.

291 Vgl. Ernst, Schmidt & Beneken 2015, S. 12.

realisiert. Es wird gefragt, ob es solche Kabel (siehe Krokodilklemmen bzw. Verbindungskabel des Bewegungssensors) auch auf dem Calliope mini selbst gibt. Die Sichtung der Kabel soll für die Proband:innen eine gedankliche Analogie zu möglichen Signalleitungen schaffen. Die Proband:innen betrachten nur die Ein- und Ausgabe sowie äußerliche Bauteile des Calliope mini. Wichtig ist dabei, dass die Proband:innen nicht direkt zu Beginn mit dem Erlebensgegenstand konfrontiert werden, sondern dass sie sich schon im weitesten Sinne mit Signalen und dem EVA-Prinzip beschäftigt haben. Sie müssen die Ein- und Ausgabe miteinander in Verbindung setzen, um überhaupt logisch herzuleiten, dass eine Verbindung (über ein informationsverarbeitendes Teilsystem) zwischen den beiden sichtbaren Komponenten besteht. Das vollständige Codesystem ist dem *Anhang 1* zu entnehmen.

7.2.1 Darlegung des Datensatzes

Wie beim Kategoriensatz zur Verarbeitung angesprochen, beschreiben die Proband:innen durch die Verarbeitung auch das Weiterleiten von Signalen. Insgesamt äußerten sich elf von 14 Proband:innen über das Weiterleiten von Signalen. Ausgeschlossen sind K2, K3 und K10, da diese Proband:innen kaum Aussagen zur Rekonstruktion einer Erlebensweise zu Signalleitungen tätigten.

Das Weiterleiten von Signalen wird ohne weiteres nicht als solches erkannt. Das Weitergeleitete wird entweder nicht benannt oder als Strom bezeichnet. Dies ist auf den Interviewleitfaden und den dort vorgegebenen Vergleich zu Kabeln zurückzuführen. Neben den Äußerungen zur Weiterleitung von „etwas“ (z. B. Strom oder Signale) identifizieren die Proband:innen „Fräsungen“ auf dem Calliope mini. Diese sind laut den Proband:innen zur Weiterleitung von Signalen verantwortlich. Diese Signale wurden von den Proband:innen auch als das Weiterleiten von Berührungen oder Strom bezeichnet.

Aussage von K5	Kategorie
„K5: Also ich glaub, das wird dann weitergeleitet, der Strom und dann wird das da so über unter den ganzen Knöpfen lang geleitet und dann werden da so zum Beispiel wie jetzt das C. #00:13:36#“ (K4K5 4, Absatz 87-88)	SL

K5 beschreibt demnach, dass Strom weitergeleitet und wie der Ton und der Buchstabe C ausgegeben wird. Ähnliche Vorstellungen hatten auch K4, K6, K7, K9, K11, K13, K14 und K15. Diese sind jedoch nicht alle von gleicher Komplexität. Das Wahrnehmen des physisch Sichtbaren sowie die Verknüpfung mit Strom wird von vielen Proband:innen durch zusätzliche Aspekte ergänzt. Keine Ergänzungen nahmen K5 und K14 vor.

Auf einer höheren Ebene benennen die Proband:innen das Weiterleiten von Signalen, so etwa K4, K7, K12 und K13. Als weitere Merkmalsausprägung definieren manche Proband:innen wie K7, K9, K11 und K12 Signale. Proband:in K4 etwa setzt das Geben von Signalen mit dem Geben von Befehlen gleich. Die erste Aussage lässt mutmaßen, dass K4 mit Signal nur eine kurze Aktivierung meint.

Aussagen von K4 und K5	Kategorie
„K4: (...) Es werden wieder verschiedene Lämpchen angemacht und dann entstehen die Buchstaben. #00:12:51# I: Und wie passiert das? #00:12:59# K4: Ich glaube, die Knete leitet. Vielleicht leitet die Knete ja unsere Berührungen hier lang und dann drückt sie jemand. Und das ist ja auch so ein Ding. Und dann wird hier einfach das Signal gegeben, dass das gemacht, also dass die Lampen angehen sollen. #00:13:01#“ (K4K5 4, Absatz 83-85)	WS
„K5: Da wahrscheinlich. Da sind ja wahrscheinlich so Knöpfe da drunter. Und dann drückst du einfach die Knöpfe. Und dann wird das da so an und hier wird richtig. Und hier wird das hier oder da rein. #00:14:11# K4: Und hier muss das Signal erstmal hier lang und dann da rein. #00:14:17#“ (K4K5 4, Absatz 94-95)	WS

Mittels des zweiten Interviewausschnitts wird jedoch deutlich, dass er:sie ein Weiterleiten zum Ausdruck bringt. Ähnliche Äußerungen tätigt K12. Er:sie verweist zunächst auch nur durch das Drücken der Knöpfe auf die Aktivierung eines Signals. An späterer Stelle verknüpft er:sie das Geben von Signalen mit dem Weiterleiten von Strom.

Aussagen von K12	Kategorie
„K12: Also die Knöpfe geben das Signal, was die Lämpchen machen sollen. #00:07:26#“ (K12K13 4, Absatz 63)	WS
„K12: Unter/ Also mit dem Strom kann man auch Signale geben. #00:09:04#“ (K12K13 4, Absatz 77)	WS
„K12: Es muss ja gar nicht durch die Platten sein. Man sieht hier ja ganz dünne Striche auf dem Ding. Und ich schätze, dadurch leitet auch der Strom genau durch diese kleinen Rillen. #00:15:24# I: Ist es denn nur der Strom, der da geleitet wird, oder was wird da noch geleitet? #00:15:36# K12: Vielleicht insgesamt auch andere Signale oder so gleich oder Lichter oder so? Da gibt es vieles. Ja. #00:15:41#“ (K12K13 4, Absatz 11-120)	WS

Im dritten Interviewausschnitt kristallisiert sich heraus, dass der:die Proband:in eine Vorstellung von Signalen nicht nur auf technischer Ebene hat. Zwar wird das Weiterleiten von Signalen als Aufgabe des Stroms angesehen, jedoch wird der Begriff Signal – im weitesten Sinne – auch mit einer Information (bzw. Daten) assoziiert. Ähnliche Erklärungen und Definitionen führen K7, K9, K11 und K12 an. Dabei beschreiben K7, K9 und 12 eher das Geben eines Befehls.

Aussage von K9	Kategorie
„K9: Ein Signal oder so was wie. Also, dass das Licht angeht, ein Signal Du musst jetzt diese Lampen anmachen und du hast das ja auch programmiert, dass du jetzt hier zum Beispiel dein Herz ist. Dann ist da so ein Smiley, also hast du das nicht ohne Grund gemacht. #00:05:31#“ (K8K9 4, Absatz 52)	WSB

K11 nutzt für sich durch das Interview hinweg die Analogie eines Zuges bzw. einer U-Bahn. Festzustellen ist, dass diese Bezeichnung durch die Interviewerin zuerst aufgegriffen wurde. Der:die Proband:in beschrieb jedoch zuvor bereits das Ein- und Aussteigen von Passagieren bzw. Lichtern.

Aussage von K11	Kategorie
„K11: Weil das Ding was durchgeführt wurde, auf jeden Fall. Mhm. Das sind zum Beispiel/ Irgendwie bei einer wie bei einer irgendwie von einem zu/ Wenn es hier losgeht, dann hier hingehet. Hier können Leute aussteigen, dann ist der Weg dann. Und dann fährt man weiter und man ist am Ziel. #00:03:42# I: Okay, und Also dann. Du sagst jetzt, ich drücke den Knopf, dann fährt der Zug los. Hält er denn hier an diesen kleinen Platten oder nicht? Nee, ok. Der fährt weiter und hält dann hier bei denen bei den Lämpchen. Ja, okay. Ist das für dich auch so? #00:04:03#“ (K10K11 3, Absatz 39-40)	WSB

Noch differenzierter werden die Aussagen der Proband:innen, wenn sie beschreiben, wie die Weiterleitung der Signale erfolgt. Es werden zwei Begriffe genannt: Während Proband:innen wie K6, K7 und K12 ein Weiterleiten von Signalen mittels Stromimpulsen beschreiben, benennt K8 dies als Stromschläge.

Aussagen von K6 und K7	Kategorie
„I: Und was wird da denn irgendwie? Also irgendwas passiert ja auch in diesem Kabel drin. Was kann denn in diesem Kabel drin passieren? #00:10:32# K6: Ich glaub, da ist Strom. Also ich lass dich mal kurz reden. #00:10:40# K7: Da ist wahrscheinlich. Da fließt Strom durch. Und das sind dann wieder diese elektrischen Impulse, die auch da waren und überall. #00:10:44#“ (K6K7 4, Absatz 77-79)	WSS

Auf der anderen Seite verweisen K6 und K12 – wenn auch zunächst unsicher – auf erste Vorstellungen, wie solche Stromimpulse aussehen. Die Proband:innen beschreiben eine Dualität innerhalb einer Computersprache. K12 beschreibt diese zwischen Kreisen und Strichen bzw. I und O. K6 hingegen verweist auf Plus und Minus.

Aussagen von K12 und K6	Kategorie
„K12: Dann kommt das Signal. Hey, Lampe, du sollst jetzt angehen, oder du sollst ausgehen. Ich glaube, es ist nicht/ Ja, er kommt jetzt/ Es ist nicht der Befehl Smiley, sondern es ist der Befehl für jede einzelne Lampe an oder aus. In der Computersprache oder so als I oder O oder was weiß ich was das für Zeichen sein. Kreis oder Strich oder so, an oder aus. #00:07:37# (K12K13 4, Absatz 67)	WSD
„K6: Vielleicht haben die irgendwie unterschiedlichen Strom und der merkt, welcher Strom ankommt. Vielleicht irgendwie plus minus. Und dann gibt es da verschiedene Programmierungen und das zu den verschiedenen fließt und dann jeweils was anderes da rein fließt. #00:05:50#“ (K6K7 4, Absatz 46)	WSD

7.2.2 Darlegung des Kategoriensatzes

Während der Erhebung wurde versucht, mittels der Analogie der Kabel beim Programmteil C und D Äußerungen zu den BUS-Systemen anzuregen. Die Analogie wird von den meisten Proband:innen in der ersten Kategorie des Ergebnisraums übernommen, weshalb dieser kritisch betrachtet werden muss. Die alleinige Auseinandersetzung mit dem Gegenstand führte nicht unmittelbar zu einem Erleben von kleinen

Kabeln, kleinen Drähten oder auch als Fräsungen bezeichneten Stromleitungen innerhalb des Mikrocontrollers. Der Kategoriensatz bildet damit nicht die tatsächlichen (und unbeeinflussten) Erlebenswelten ab. Der gewonnene Ergebnisraum muss im Rahmen weiterführender Untersuchungen mittels neuer und überarbeiteter Fragestellungen bestätigt oder widerlegt werden.

Beispielformulierungen für Ergebnisraum	Ergebnisraum
- Über so kleine Drähte wird über Strom etwas weitergeleitet. / Da sind so kleine Rillen, über die etwas weitergeleitet wird. - Nachdem ich ein Knopf gedrückt habe, wird mit Hilfe von Strom ein Signal weitergeleitet.	- Sichtbares verweist auf Leitungen (SL) - Weiterleiten von Signalen (WS)
- Signale sind sowas wie Befehle oder Daten. - Das Signal wird über Stromimpulse weitergeleitet.	- Erklären von Signalen als Befehle bzw. Daten (WSB) - Weiterleiten von Signalen mittels Stromimpulsen (WSS)
Die Signale sehen aus wie I und Os.	Stromimpulse werden mittels einer Dualität beschrieben (WSD)

Tabelle 3: Ergebnisraum zu Signalleitungen

7.2.3 Diskussion des Kategoriensatzes

Die Datenlage lässt keine genaue Abgrenzung der angeführten Kategorien zu. Diese sind vielmehr kumulativ zu betrachten. Die Erlebensweisen aus der ersten phänomenographischen Kategorie sind auch bei Proband:innen vorhanden, welche der *Kategorie 3.1 WSD* zuzuordnen sind. Exemplarisch kann dafür K6 angeführt werden.

Bei der ersten Kategorie *Sichtbares verweist auf Leitungen* (SL) sind Merkmalsausprägungen aufgekommen, die sich zumeist auf das Beschreiben von äußeren Gegebenheiten, wie Drähte und kleine Rillen, im Zusammenhang mit dem Vorhandensein von Strom bezogen haben. Ein signifikanter Unterschied zur zweiten Kategorie *Weiterleitung von Signalen* besteht in der konkreten Benennung von Signalen (WS) und der Definition dieser (WSB). Der entscheidende Unterschied zwischen diesen beiden Kategorien liegt darin, dass die Proband:innen aus der zweiten Kategorie ein weniger bis stärker ausgeprägtes Verständnis von Signalen haben. Die erste Subkategorie lässt interpretativ darauf schließen, das Strom zwischen der Ein- und Ausgabekomponente wirkt. Die

zweite Subkategorie differenziert dies aus, indem bewusst über ein Signal gesprochen wird. Dabei ist die Art und Weise, ob das Signal – wie von K11 geäußert – wieder zurückläuft, zweitrangig.

Die dritte phänomenographische Kategorie beschreibt im Gegensatz zur zweiten Kategorie nicht nur das Vorhandensein eines Signals, sondern auch erste Ansätze, wie dieser Signaltransfer funktionieren könnte. Während manche Proband:innen von Stromimpulsen sprachen, verwiesen andere Proband:innen auf eine Computersprache, die durch eine Dualität geprägt ist. Die Äußerungen der Proband:innen könnten jedoch vor dem Hintergrund vorheriger Erfahrungen getätigt worden sein. Bei K12 wird deutlich, dass er:sie zuvor in Berührung mit einem binären System²⁹² gekommen ist. Diese Erlebensweise wurde nicht durch das Interviewsetting und das gegebene Material angeregt. Anders ist dies bei K6. Im Rahmen des Interviewausschnitts dieser:er Proband:in wird der spekulative Charakter der Aussage deutlich. Der Aussage ist jedoch anzurechnen, dass sie eine außerordentlich anschlussfähige Idee hinsichtlich der Dualität eines binären Codes darstellt, welcher mittels elektrischer Impulse zur Signalweiterleitung genutzt wird²⁹³. Wie oben angeführt (*Kapitel 7.2*) ist unter jenen BUS-Systemen eine Differenzierung nicht möglich. Zurückzuführen ist dies auf die innenliegende Konstruktion, welche anders als beim EVA-Prinzip nicht unmittelbar von außen ersichtlich ist²⁹⁴.

7.3 Analoge und digitale Signale

Bei Signalen ist zwischen analogen und digitalen zu differenzieren. Während ein analoges Signal dauerhaft und stufenlos verläuft, ist ein digitales Signal abgestuft und beschreibt einen binären Zustand (siehe *Kapitel 7.2*)²⁹⁵.

292 Vgl. Ernst, Schmidt & Beneken 2015, S. 17 f.

293 Vgl. ebd., S. 12

294 Vgl. ebd., S. 13 f.

295 Vgl. Calliope gGmbH 2024b.

Wie beim Ergebnisraum zu den Signalleitungen wird dieser Erlebensgegenstand mithilfe der Programmteile C und D erschlossen. Dafür wird bei beiden Programmteilen der jeweilige Sensor mit einem mechanischen Bauteil (Programmteil B) verglichen. Bei Programmteil C wird der Bewegungssensor mit dem Knopf verglichen, währenddessen bei Programmteil D die Pins – welche als Touchsensoren genutzt werden – mit einem Knopf verglichen werden. Dazu dienen die Fragen C.5 und C.6 sowie D.1 und D.2. Die Proband:innen vergleichen hier erstmal nur die Eingabekomponenten, indem sie ihr Einwirken auf den Calliope mini beschreiben. Neben der Wahrnehmung der Unterschiede des Eingabekomponenten können sie zusätzlich auch die Ausgaben vergleichen. Hierbei muss erwähnt werden, dass die Ausgabe beim Programmteil D statisch ist, indem ein Ton gespielt und ein Buchstabe auf der LED-Matrix angezeigt wird. Beim Programmteil C ist jedoch nur die Ausgabe stufenweise. Der Sensor ist nicht analog, jedoch nähert sich die Ausgabe einer solchen Darstellung analoger Signale durch kleine Abstufungen an. Auch hier können die Proband:innen nur die Ein- und Ausgaben wahrnehmen, weshalb nur der jeweilige Vergleich der Ein- und Ausgaben erfahrbar gemacht werden kann²⁹⁶. Das Differenzieren zwischen einer dauerhaften Verarbeitung, sowie einem binären Zustand zwischen An und Aus wird als höchste Erlebensweise gewertet. Das vollständige Codesystem ist dem *Anhang 1* zu entnehmen.

7.3.1 Darlegung des Datensatzes

Insgesamt äußern sich 13 von 14 Proband:innen zu den vergleichenden Fragen. Zehn dieser 13 Proband:innen reagierten auf die Fragen mittels der Beschreibung von Ein-, Ausgabe und Peripherie. Die Eingabe wurde bspw. von K4 und K5 aufgegriffen. Diese Proband:innen beschrieben im Vergleich des Programmteils B (Bilder-Auswahl) mit

296 Hier muss darauf hingewiesen werden, dass der genutzte Bewegungssensor *Grove – Ultrasonic Ranger* ein digitaler Sensor ist. Ein Vergleich von analogen und digitalen Signalen wurde hier über die entsprechende Ausgabe angestrebt.

Programmteil D (Klavier), dass beim Knopf nur ein einziges Drücken erforderlich ist und bei den Pins (bzw. den Krokodilklemmen) zwei Berührungen erforderlich sind.

Aussagen von K4 und K5	Kategorie
„I: Ist denn das dasselbe für euch, wie wenn ich einen Knopf drücke? Also ist das hier (Ton) dasselbe wie das (Knopf)? #00:13:53# K4: Nein, hier musst du ja zwei Sachen gleichzeitig drücken. #00:14:01# I: Okay. Und hier nicht. #00:14:03# K4 & K5: Nein. #00:14:07#“ (K4K5 4, Absatz 89-92)	EAZ

Ähnlich äußerten sich K8 und K9, welche darauf hinwiesen, dass das „Drücken“ der Eingabekomponenten unterschiedlich sei. Sie differenzierten zwischen einem Drücken und einem Berühren.

Andere Proband:innen sahen Unterschiede in der Ausgabe. K4 etwa benennt, dass bei beiden Programmteilen zur Bilder-Auswahl und dem Klavier die Lämpchen in der LED-Matrix leuchten. Zusätzlich unterscheidet K4 genauso wie K14 und K15 in der Strecke und Zeit, die zwischen der Ein- und Ausgabe bestehen. Das Signal benötigt über das Kabel – so die Vorstellung dieser Proband:innen – viel länger zur LED-Matrix, da es mehr Strecke zurücklegt. K4 beschreibt nur, wo das Signal langläuft, während K14 zwischen den Strecken differenziert. Mit Seilen bzw. Schnüren meint K14 die Kabel mit den Krokodilklemmen.

Aussagen von K14 und K15	Kategorie
„I: Warum? #00:14:43# K14: Weil da drückst du ja auf zwei verschiedene, da nur auf den Knopf und der Knopf ist näher da dran. Und bei den Seilen ist ja auch noch. Also bei diesen Schnüren ist ja noch so, bei diesen Kabeln ist ja das dazwischen und das ist ja länger. Ja, aber das ist nicht das Gleiche, würd ich sagen. #00:14:43# I: Okay, das ist also für euch ist das nicht das gleiche. Okay, weil ja hier so ein bisschen einen längeren Weg zurücklegt. Ja, okay. Ist das für dich auch so? #00:14:59# K15: Also wenn man hier drauf drückt und dann hier, dann kommt das, dann kommt das Geräusch ja sofort. Ja, und deshalb auch wenn man hier drauf drückt, deshalb kommt dann das Geräusch auf und dann ist viel näher dran. Dann kommt das richtig schnell und dann erscheint dieser Buchstabe. #00:15:08#“ (K14K15 3, Absatz 82-85)	EAZS

Eine weitere Merkmalsausprägung wird durch K8 und K9 sowie K12 und K13 deutlich. Diese Proband:innen unterscheiden die Häufigkeit der Ausgaben.

Anders als bei K12 und K13 führen K8 und K9 eine Metapher an, in welcher eine Person die Lampe permanent an- und ausdrücken muss. K12 und K13 beschreiben, dass beim Sensor die Ausgabe im Vergleich zum Knopf variiert. K13 meint mit „wenn du hier bist“ das Bewegen der Hand zum Sensor.

Aussagen von K12 und K13	Kategorie
„I: Was unterschiedliches und warum? Also wo liegt der Unterschied? Kannst du das vielleicht/ Oder hast du eine Idee? #00:28:21# K12: Für mich ist es so, wenn man hier einen Knopf drückt, dann ist schon komplett fest. Dann musst du das und das machen, während man hier ist, das/ #00:28:28# K13: Während du da halt variieren kannst, wenn du hier bist, bist du ja/ Wenn du hier bist, macht der das auch oder wenn du hier bist, auch unterschiedlich. Halt. #00:28:40#“ (K12K13 4, Absatz 236-238)	DA

Eine Differenzierung zwischen den Eingabekomponenten Sensor und Knopf wird von K7 vorgenommen. Dabei beschreibt der:die Proband:innen, dass der Sensor etwas wahrnehmen kann und ein Knopf etwas wie eine Aktivierung ist, bei welcher ein Kontakt hergestellt wird.

Aussagen von K7	Kategorie
„K7: Ne, weil das ist ja eine Aktivierung. Sag ich jetzt mal und das ist ein Sensor. Das sind verschiedene Sachen. Der Sensor nimmt das wahr und eine Aktivierung führt nur ein Befehl aus. Oder er aktiviert einen Befehl. #00:17:19#“ (K6K7 4, Absatz 134)	DF
„I: Okay, das klingt auf jeden Fall ziemlich cool. Also ist für euch ein Unterschied. Und der Unterschied liegt darin, ich wiederhole das einmal kurz, dass der hier die ganze Zeit was messen muss und wir hier irgendwie nur so eine kleine Aktivierung haben. Genau. Also wie beispielsweise Aktivierung im Sinne von ich drücke den Knopf oder/ #00:17:51# K7: Stellst einen Kontakt her. #00:18:12#“ (K6K7 4, Absatz 137-138)	DF

7.3.2 Darlegung des Kategoriensatzes

In diesem Kategoriensatz überwiegt das Beschreiben von Äußerlichkeiten. Die Kinder wurden vergleichend zu den Programmteilen C und D gegenüber B befragt. Beim Vergleich der Pins vom Programmteil D mit den Knöpfen von Programmteil B hat die Eingabetätigkeit die Antworten der Proband:innen beeinflusst. Die Bedienung bei Programmteil D erforderte das Berühren zweier Pins, was den Fokus der Proband:innen

verschob. Die Proband:innen wurden ebenfalls von den Krokodilklemmen irritiert.

Beispielformulierungen für Ergebnisraum	Ergebnisraum
1. (Zwischen dem Knopf und den Pins liegt der Unterschied, dass bei Pins zwei Knöpfe gedrückt werden. +Strecke: Bei dem einen muss mehr Strecke zurückgelegt werden.) 2. Zwischen dem Bewegungssensor und dem Knopf liegt der Unterschied, dass bei dem Sensor die Zahlen auf der LED-Matrix variieren. 3. Der Sensor nimmt etwas wahr, während der Knopf einen Kontakt herstellt.	1. Ein- und Ausgabezusammenhang + Strecke (EAZ+S) 2. Differenzierung der Ausgabe (DA) 3. Differenzierung der Funktion (DF)

Tabelle 4: Ergebnisraum zu analogen und digitalen Signalen

7.3.3 Diskussion des Kategoriensatzes

Die erste phänomenographische Kategorie, der *Ein- und Ausgabe-Zusammenhang* (EAZ+S), in welcher die Proband:innen zumeist Unterschiede in der Bedienung beschrieben, unterteilt sich in zwei Ausprägungen. Die erste Teilgruppe beschrieb, dass der Kraftaufwand für die bedienende Person unterschiedlich war. Das Drücken eines Knopfs bedarf mehr Kraft als das Berühren eines Pins. Die zweite Teilgruppe beschrieb angeschlossene Komponenten. Dabei wurde die verzögert wahrgenommene Ausgabe auf die Kabellänge (siehe +*Strecke*) der Krokodilklemmen zurückgeführt. An dieser Stelle bedarf es Kritik an der Interviewgestaltung: Aspekte wie das Drücken beider Pins oder die Kabellänge der Krokodilklemmen sind unpassend für das eigentliche Erkenntnisinteresse.

Als zweite phänomenographische Kategorie *Differenzierung der Ausgabe* (DA) ist die Wahrnehmung der unterschiedlichen Ausgaben anzuführen. Manche Proband:innen nehmen die ständige Veränderung der Ausgabe beim Sensor wahr, während sich beim Knopf die Ausgabe nur durch das Drücken ändert. Dies ist auf das Programm zurückzuführen. Die Werte des Sensors werden stufenweise in Zentimetern ausgegeben. Die Proband:innen nahmen die Ausgabe als dauerhafte Veränderung wahr. In Hinblick auf die dritte Kategorie ist diese Erle-

bensweise anschlussfähig, da über die Differenzierung zwischen den unterschiedlichen Ausgaben die unterschiedlichen Eingabekomponenten betrachtet werden könnten.

In der dritten Kategorie werden Sensoren und Knöpfe als Eingabekomponenten unterschieden. Dabei wird zum Teil auf eine innenliegende Differenzierung eingegangen. Diese Erlebensweise ist bei Proband:in K7 anzutreffen. Diese:r beschreibt, wie bei Knöpfen innenliegend ein Kontakt hergestellt wird, erläutert jedoch nicht die Arbeitsweise eines Sensors. Der Ergebnisraum legt eine Anschlussfähigkeit nahe. Die letzten beiden Erlebensweisen lassen eine Integration der Konzepte zu analogen und digitalen Signalen zu. Die Unterscheidung zwischen Sensoren und einem mechanischen Bauteil kann für eine Thematisierung analoger und digitaler Signale genutzt werden. Im Hinblick darauf, dass die Proband:innen eine Vorstellung von Signalen haben und durch K7 deutlich wird, dass der Unterschied wahrgenommen werden kann, sind analoge und digitale Signale möglicherweise unterrichtlich thematisierbar. Diese Unsicherheit ist nicht zuletzt durch die (unpassende) Wahl der Sensoren und mechanischen Bauteile zu begründen (s.o.). Eine Differenzierung zwischen den Signalarten wurde jedoch durch die Proband:innen nicht vorgenommen.

7.4 Programmierung

Bei der Durchsicht des gesamten Datensatzes fällt auf, dass viele Proband:innen unterschiedlich ausgeprägt den Calliope mini mit einer Programmierung in Verbindung setzten. Dies geschah zu sämtlichen Erlebensgegenständen, weshalb Programmierung als einzelner phänomenographischer Ergebnisraum erfasst wurde.

Beim Programmieren muss „ein Lösungsverfahren [in Form von Algorithmen und Datenstrukturen] für eine Aufgabe“²⁹⁷ in einer Sprache formuliert werden, welche Maschinen verarbeiten und umsetzen können. Dabei wird aus einem Algorithmus erst ein Programm, wenn

297 Vgl. Theilig, Rechenberg & Mössenböck 2021, S. 1 ff.

die Übersetzung des Algorithmus in Maschinensprache durch die Maschine umgesetzt werden kann.²⁹⁸

Anders als bei den anderen Ergebnisräumen gab es keine Interviewfragen, die konkret auf diesen Erlebensgegenstand abzielen. Jedoch konnten einige Strukturen in den Interviews identifiziert werden, in welchen der Erlebensgegenstand von den Proband:innen wahrgenommen wurde. Einerseits wurde eine Programmierung bei Fragen wie A.1 und A.3 wahrgenommen, bei welchen nach der Reaktionsfähigkeit des Calliope mini auf eine Eingabe gefragt wurde (d. h., beispielsweise A.3. „Wie kann der Calliope denn mit einem „Hallo“ auf das Anschalten reagieren?“). Andererseits haben auch Fragen wie C.4, welche das Anschließen von externen Sensoren hinterfragen („Warum konnte ich da einfach was anschließen?“), das Erleben des Gegenstands Programmierung angeregt. Darüber hinaus haben die Proband:innen den Erlebensgegenstand auch oftmals selbst angesprochen oder auch in ihren Wahrnehmungen zur Begründung von Phänomenen genutzt. Das Erleben des Gegenstandes wurde durch Fragen der Interviewerin gestützt und vorangetrieben durch Nachfragen wie „Was ist denn eigentlich eine Programmierung?“. Auch die einführenden bzw. abschließenden Fragen, etwa „Wie kann es sein, dass das Stück Metall/Kunststoff überhaupt etwas macht?“ ermöglichten den Proband:innen ihr Wissen und Erleben des Gegenstandes zu verbalisieren. Auch der Vergleich beider Calliope mini und die Wahrnehmung der Unterschiede gestattete ein differenziertes Nachdenken über den Erlebensgegenstand. Das vollständige Codesystem ist dem *Anhang 1* zu entnehmen.

7.4.1 Darlegung des Datensatzes

Insgesamt äußerten sich 13 von 14 Proband:innen zum Thema Programmierung. Drei von 14 Proband:innen nahmen die Programmierung als solche nicht wahr. Während K10 gar nicht darauf einging, äußerte K2 neben obiger Aussage beim Vergleich beider Calliope mini,

298 Vgl. Theilig, Rechenberg & Mössenböck 2021, S. 1 ff.

dass diese so etwas einfach können. Verschärft wird seine:ihre Aussage dadurch, dass ein Vergleich zu selbst fahrenden Autos hergestellt wurde. Ähnliches geschah bei K11 und K14. K2 und K11 weisen dem Calliope mini ein Eigenleben zu, wohingegen K14 die Informationen im Calliope mini als gegeben ansah.

Aussage von K2	Kategorie
„K2: Und bei den selbstfahrenden Autos soll das ja auch so sein, dass die selbst wissen, was die machen sollen. #00:22:10#“ (K2K3 3, Absatz 162)	PG

Fünf von 14 Proband:innen wiesen der Programmierung etwas Physisches zu. Neben K9, K13 und K14 sind exemplarisch K2 und K3 anzuführen, welche eine Unterscheidung beider Calliope mini mittels unterschiedlicher Bauweisen begründen. Unklar ist jedoch, inwieweit K3 von K2 beeinflusst wurde, da K3 im Allgemeinen wenige Aussagen getätigt hat. Eine Programmierung wurde nicht explizit von den Proband:innen genannt.

Aussage von K2 und K3	Kategorie
„I: Könnt ihr euch vielleicht vorstellen, woran das gelegen hat, dass der hier nicht dasselbe kann wie der da? Habt ihr da eine Idee. #00:18:24# K2: Weil der ein bisschen anders gebaut ist. #00:18:33# I: Das ein bisschen anders gebaut? Wo meinst du das denn? Wo ist der anders gebaut? Seht ihr da irgendwie was? #00:18:35# K3: Ich glaube, da ist mehr innen drin. #00:18:44#“ (K2K3 3, Absatz 130-134)	PK

Interessant gestaltet sich ein Gespräch zwischen K12 und K13. Diese Proband:innen diskutierten darüber, warum beide Calliope mini andere Funktionen hätten und warfen die Idee in den Raum, dass sich die Calliope mini aufgrund aufgesetzter Chips unterscheiden würden. K12 erlebte den Calliope mini jedoch im weiteren Verlauf differenzierter, obwohl er:sie bei der Unterscheidung beider Calliope mini die Programmierung am Ende des Interviews immer noch zu Teilen als etwas Physisches erlebte.

In Abgrenzung dazu nahmen vier der 14 Proband:innen die Programmierung als etwas Erzeugtes wahr. Dazu führen sie den Prozess des Programmierens an. Die Proband:innen beschreiben, dass eine Person über einen Computer etwas eintippt und der Calliope mini

dadurch weiß, was er machen soll. Neben K6, K12 und K15 benennt K9 ebenfalls ein Programmierprozess, wobei sich Letztere:r sehr unsicher äußert. Exemplarisch ist K12 anzuführen, welcher beschreibt, wo diese Programmierung auf dem Mikrocontroller zu finden ist.

Aussage von K12	Kategorie
„K12: Weil er hat das. Du hast das so programmiert, oder irgendwer hat so programmiert, dass, wenn man den Knopf drückt. Also, man hat nicht das Gerät programmiert, sondern ich glaube den Speicher oder so hat man programmiert. Und wenn man auch einen anderen Speicher kauft, wo der anders programmiert ist und den da rein tut, dann kommt da auch was anderes. Aber es ist der Speicher wurde so programmiert werden, dass das Gerät darauf reagiert, wenn hier der Knopf gedrückt wird, dann soll dieses Lämpchen da leuchten und das nicht. #00:30:51#“ (K12K13 4, Absatz 252)	PE

Im Vergleich zu den anderen Proband:innen betont K12, dass eine Veränderung auch durch eine neu gekaufte Programmierung im Rahmen eines neuen Speichers vorgenommen werden kann.

Sechs von 14 Proband:innen definierten Programmierung als Befehle, die sich zumeist in Wenn-Dann-Bedingungen äußern. K6, K7, K8, K9 und K15 beschrieben eine Programmierung ähnlich wie K12:

Aussage von K12	Kategorie
„K12: Nein. Ich meine, dass ein Knopf an jedes einzelnes Lämpchen ein Signal gibt, ob es an oder aus sein soll. Das ist dann halt vorprogrammiert. Wann/ Wenn wenn der Knopf gedrückt wird, dass dann an das Lämpchen an und aus gesagt wird. #00:08:08#“ (K12K13 4, Absatz 67)	PB

Zudem äußerten sich fünf von 14 Proband:innen dazu, dass eine Programmierung der Auslöser für die unterschiedlichen Funktionen beider Calliope mini sein. K6, K7, K9, K12 und K13 teilen diese Erlebensweise.

Aussage von K9	Kategorie
„K9: Geht dagegen. Dann merkt der das und gibt das hier durch den weiter und hier ist jetzt/ Sind ja auch diese Kleinen, wenn wir das vielleicht wieder hier unten irgendwie in den in die in den Speicherplatz befördert und dann wird auch geguckt, weil der ist ja anders programmiert als zum Beispiel der und dann wird halt auch geguckt, wie weit entfernt er ist, weil der hat es ja schon gesagt, es ist ungefähr jetzt hier ist es ja jetzt zum Beispiel zwei Zentimeter oder zehn Zentimeter. Ja, das merkt er jetzt glaube ich nicht, oder? Ich glaube vier ist das Höchste. #00:22:21#“ (K8K9 4, Absatz 174)	PV

7.4.2 Darlegung des Datensatzes

Der entwickelte phänomenographische Kategoriensatz basiert auf sämtlichen Programmteilen und damit verknüpften Erlebensgegenständen, die im gesamten Interview angeführt wurden. Besonders häufig thematisierten die Proband:innen Programmierung im Rahmen des Vergleiches beider Calliope mini. Besonders interessant ist, dass Programmierung als solches nicht durch den Interviewleitfaden vorgegeben wurde. Lediglich eine Frage zielte auf die Programme des Calliope mini ab (C.4), wobei viele Proband:innen von Anfang an Programmierung von sich aus ansprachen.

Beispielformulierung für Ergebnisraum	Ergebnisraum
1. Der kann das einfach. 2. Der ist halt so gebaut. 3. Der Calliope mini wurde mit Befehlen programmiert, welche der Calliope mini ausführt.	Programmierung als 1. etwas Psychologisches bzw. Gegebenes (PG). 2. physische Komponente (PK). 3. etwas Erzeugtes (PE), Befehle (PB), etwas Veränderbares (PV).

Tabelle 5: Ergebnisraum zur Programmierung

7.4.3 Diskussion des Kategoriensatzes

In der ersten phänomenographischen Kategorie wird *Programmierung als etwas Psychologisches bzw. Gegebenes* (PG) wahrgenommen. Dabei wird eine Programmierung nicht unbedingt erwähnt. In manchen Äußerungen der Proband:innen spiegelt sich eine psychologische Per-

spektive wider, in welcher dem Calliope mini ein Bewusstsein zugeschrieben wird. Diese Perspektive wird auch in anderen Untersuchungen erwähnt²⁹⁹. Diese Merkmalsausprägung ist jedoch nicht bei allen Proband:innen dieser Kategorie anzutreffen. Eine Abstufung innerhalb dieser Kategorie stellt auch ein Nichtwissen über Programmierung dar. Exemplarisch kann dafür K10 angeführt werden, welche:r sich nicht zur Programmierung äußerte.

Die zweite phänomenographische Kategorie, in welcher *Programmierung als eine physische Komponente* (PK) wahrgenommen wurde, ist an Sichtbares und damit Haptisches gebunden. Diese wird durch zweierlei Perspektiven von den Proband:innen hergeleitet. Zum einen wird Äußeres betrachtet und auch ein Austausch der Funktion mit einem Austausch von physischen Bestandteilen erklärt. Zum anderen beziehen sich die Proband:innen auf die unterschiedliche Bauweise, gekoppelt mit einem Herstellungsprozess. Beide Calliope mini – so die Vorstellung mancher Proband:innen – sind unterschiedlich hergestellt worden, weshalb sich ihre Funktionen unterscheiden.

Die dritte Kategorie ist geprägt von drei Merkmalsausprägungen, welche miteinander korrelieren. Zum einen sahen die Proband:innen Programmierung als etwas Erzeugtes an. Dies äußerte sich meist in der Vorstellung, dass irgendjemand den Calliope mini programmiert hat. Auf der anderen Seite definierten sie Programmieren als das Geben von Befehlen in Gestalt von Wenn-Dann-Formulierungen, die mit Programmierbefehlen Ähnlichkeiten aufwiesen. Als dritter Aspekt gaben die Proband:innen an, dass Programmierung austauschbar sei und dass eine Funktion eines Mikrocontrollers von der Programmierung abhängig sei. Die variable Gestaltung und die Veränderbarkeit von Mikrocontrollern wurden wahrgenommen.

Zunächst wurden diese Kategorien getrennt voneinander betrachtet, jedoch wiesen vier von den sieben Proband:innen alle drei Merkmale auf, weshalb diese zusammen als eine Kategorie aufgegriffen werden. Dafür spricht auch die kaum vorzunehmende Hierarchisierung

299 Siehe z. B. Müller & Schulte 2017, S. 110 f.

der Merkmalsausprägungen, da diese nicht strukturell aufeinander aufbauen. Die Merkmalsausprägungen lassen auf ein enormes Vorwissen der Proband:innen schließen, welches im Zusammenhang mit der Funktionsweise eines Mikrocontrollers steht. Eine Programmierung scheint nach den Erlebensweisen der Proband:innen unerlässlich für das Funktionieren eines Mikrocontrollers zu sein. Viele Proband:innen beschrieben, dass sie eine Programmierung als das Geben von Befehlen erleben. Die Untersuchungsergebnisse erlauben den Schluss, dass der Umgang mit einem Mikrocontroller einer Programmieraktivität Bedeutung verleiht, indem die Ausführung der programmierten Befehle am konkreten Gegenstand sichtbar und nachvollziehbar werden. Zudem kann die Steuerungsfunktion verdeutlicht werden. Hier bedarf es weiterer Untersuchungen.

7.5 Darstellung der Ergebnisse und Revision anhand von Gütekriterien

Nachfolgend werden die Ergebnisse der empirischen Untersuchung zusammengefasst und in Beziehung zu bisherigen Forschungsergebnissen (siehe *Kapitel 4* und *5*) betrachtet. Anschließend werden die Ergebnisse hinsichtlich der Gütekriterien Objektivität, Validität und Reliabilität reflektiert. Kritisch beleuchtet wird der Interviewleitfaden, die -durchführung, die Umsetzung des Auswertungsansatzes und die Datenauswertung selbst.

7.5.1 Darstellung der Ergebnisse

Zunächst ist positiv zu vermerken, dass die Proband:innen viel differenzierter ihre Vorstellungen und Erlebensweisen zur innenliegenden Funktionsweise als in anderen Studien äußerten (siehe *Kapitel 4 & 5*). Im Folgenden werden die Kategoriensätze übersichtshalber abgebildet, um die Ergebnisse darzustellen und zu erläutern.

Ergebnisraum	Kategoriensätze
Verarbeitung	1. Handlungszusammenhang (HZ) 2. Reiz-Reaktion (RR) 1. Herleiten dritter äußerer Instanz (3IÄ) 3. Wahrnehmen einer dritten Verarbeitungsinstanz (3I)
Signalleitung	1. Sichtbares verweist auf Leitungen (SL) 2. Weiterleiten von Signalen (WS) 1. Erklären von Signalen als Befehle bzw. Daten (WSB) 3. Weiterleiten von Signalen mittels Stromimpulsen (WSS) 1. Stromimpulse werden mittels einer Dualität beschrieben (WSD)
Analoge & digitale Signale	1. Ein- und Ausgabezusammenhang + Strecke (EAS+S) 2. Differenzierung der Ausgabe (DA) 3. Differenzierung der Funktion (DF)
Programmierung als	1. etwas Psychologisches bzw. Gegebenes (PG). 2. physische Komponente (PK). 3. etwas Erzeugtes (PE), Befehle (PB), etwas Veränderbares (PV).

Tabelle 6: Übersicht Ergebnisräume

Im direkten Vergleich wird deutlich, dass alle Kategoriensätze mit einer Subkategorie beginnen, in welcher die Erlebensweisen durch einen physisch sichtbaren Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgabe charakterisiert sind. Eine Ausnahme stellt hier der Ergebnisraum zur Programmierung dar. Während der physisch sichtbare Zusammenhang in diesem Ergebnisraum erst in der zweiten Kategorie vorkommt, ist die erste Kategorie der zweiten Kategorie aufgrund der Komplexität vorangestellt. Schon *Robertson, Manches & Pain* stellten in ihrer Erhebung fest, dass Proband:innen oftmals den sichtbaren Ein- und Ausgabeprozess beschreiben. Begründet wird dies u. a. durch fachliche Unsicherheiten: Den Proband:innen fällt es schwer, Prozesse oder Abläufe im technischen Artefakt selbst zu imaginieren und auch zu beschreiben, da diese zumeist nicht physisch für sie erfahrbar sind bzw. nicht erfahrbar gemacht werden können. Die Feststellung von *Robertson, Manches & Pain* findet daher Bestätigung.³⁰⁰

Zudem ist auffällig, dass wenn ein:e Proband:in in einem Kategoriensatz einer Subkategorie zugeordnet ist, diese:r sich meist in anderen

300 Vgl. Robertson, Manches & Pain 2017, S. 341.

Kategoriensätzen auf demselben Abstraktionsniveau bewegt. Als Beispiel ist K10 anzuführen, welche:r überwiegend in den ersten Kategorien zu verorten ist. Für die dritte Kategorie kann bspw. K7 angeführt werden. Diese:r ist in jeglichen Kategorien auf dem höchsten Abstraktionsniveau. Nur in Ausnahmefällen sind Teiläußerungen dieser Proband:innen auch anderen Abstraktionsgraden zuzuordnen. Die Proband:innen, die sich zwischen den niedrigsten und höchsten Abstraktionsniveau bewegen, weisen manchmal sowohl niedrigere als auch höhere Abstraktionen in ihren Erlebensweisen auf. Exemplarisch ist K4 anzuführen. Zu betonen ist, dass die höchsten Kategorien oftmals durch Viertklässler:innen und die niedrigeren von Drittklässler:innen abgedeckt wurden.

Aus den Daten wird deutlich, dass sich die Proband:innen durch eine explorative Thematisierung das EVA-Prinzip eigenständig herleiten können. Bisherige Erlebensweisen werden durch die Aktivität mit dem Gegenstand erweitert. Der Ergebnisraum lässt darauf schließen, dass eine eigenständige Thematisierung ein zunehmendes Verständnis nahelegt. Im Rückblick auf K4 wird deutlich, dass durch die Handlung mit dem Calliope mini bisherige Erlebensweisen durchaus ergänzt werden. Bisherige Vorstellungen werden aufgebrochen und erweitert. Dem entgegengesetzt ist eine lineare Entwicklung vom Reiz-Reaktion-Schema zum Wahrnehmen einer dritten Instanz durch die Arbeit am konkreten Gegenstand wie etwa bei K8 und K9. Zusätzlich dazu wissen die Proband:innen, was weitergeleitet wird und stellen erste Überlegungen an, was mit den Informationen – in Form von Berührungen oder Strom – und Signalen o.ä. in der verarbeitenden Instanz geschieht (siehe bspw. K6 und K7). Diese Erlebensweisen deuten auf anschlussfähige Merkmale hin, welche sich dem EVA-Prinzip annähern³⁰¹.

Der erste Ergebnisraum führt die Vorstellungen zum EVA-Prinzip bzw. der Verarbeitung von Daten an. Bei der Betrachtung des Datensatzes ist hervorzuheben, dass die explorative Auseinandersetzung und das Handeln mit dem Calliope mini, die Art und Weise, wie die Kinder das Phänomen erlebten, positiv beeinflussten. Unweigerlich nimmt auch das

301 Vgl. Ernst, Schmidt & Beneken 2015, S. 13.

Vorwissen der Kinder eine wichtige Rolle ein, indem Bekanntes zu Neuem in Verbindung gesetzt wird (siehe K4). K10 stellt diese Verknüpfungen nicht her, wobei auch nicht gesagt werden kann, inwieweit er: sie mit dem Bereich in Kontakt gekommen ist. Die eigene Erschließung durch Exploration ist limitiert, ermöglicht jedoch, dass die Proband:innen am direkten Gegenstand ihre Vorstellungen beschreiben und/oder erläutern. Die Proband:innen konnten über eine Aktivität und den Blick auf das Phänomen zunehmend Vorstellungen entwickeln. Ähnliche Schlüsse zogen Müller & Schulte, indem sie durch die Betrachtung von Peripherie eine Entwicklung von Verständnis prognostizieren³⁰². Wie die Proband:innen jedoch den expliziten Aufbau von bspw. verarbeitenden Instanzen wie der CPU verstehen, kann im Kontext dieser Arbeit nicht beantwortet werden, da solche expliziten Inhalte von außen nicht zugänglich sind und das Erhebungsdesign somit ein Lernsetting voraussetzen würde.

Der zweite Ergebnisraum befasst sich mit Signalleitungen. Auch hier sind die meisten Proband:innen der mittleren Kategorie zuzuordnen. Trotzdem können die meisten Proband:innen Signalen eine Funktion zuweisen. Dies erklären sie sich so, dass beim Weiterleiten von Signalen Befehle weitergegeben werden. Diese Befehle werden zumeist von den Proband:innen durch Wenn-Dann-Formulierungen erklärt. Es ist anzumerken, dass das Abstraktionsniveau unabhängig von der Kenntnis zu betrachten ist, ob Strom bzw. Elektrizität vorhanden ist. Dieses Merkmal ist in jeglichen Interviews prägnant vertreten. In Hinblick auf den Forschungsstand bestätigt sich, dass viele Kinder in dem Alter Informatiksysteme mit Elektrizität assoziieren.³⁰³ Zur expliziten Signalleitung durch Stromimpulse weisen nur wenige Proband:innen differenziertere Sichtweisen auf. Diese sind jedoch ausschlaggebend für die Einschätzung, dass Kinder dieses Alters die Funktionsweise eines Mikrocontrollers verstehen und wiedergeben können. Dies bedeutet nicht, dass Kinder BUS-Systeme – so wie diese Kategorie eigentlich intendiert war – verstehen und

302 Vgl. Müller & Schulte 2017, S. 112.

303 Siehe Su & Ding 2022, S. 636; Mertala 2018, S. 60; Martschinke, Palmer Parreira & Romeike 2021, S. 140 f.

nachvollziehen können. Dies muss in einem anderen Lern- und Erhebungssetting überprüft werden.

Der Ergebnisraum über die Erlebensweisen zu analogen und digitalen Signalen ist kritisch zu bewerten. Die Vorstellungen wurden über Programmteile hervorgerufen, welche – mit Blick auf den Bewegungssensor – nicht konkret auf das Erkenntnisinteresse abzielen (siehe *Kapitel 7.3*). So ist die erste Kategorie des Kategoriensatzes auf die Schwächen des Interviewleitfadens zurückzuführen. Die zweite Kategorie lässt sich ebenfalls unter der Beschreibung des Äußeren jedoch mit dem Fokus auf die Unterscheidung der Ausgabe zusammenfassen. Die zweite Kategorie dominiert – die erste Kategorie außer Acht gelassen – in diesem Ergebnisraum. In dieser Erlebensweise nehmen die Proband:innen anschlussfähige Differenzen wahr, indem die beim Sensor wechselnden Ausgaben erfasst wurden. Die Möglichkeit, dass überhaupt die Ausgaben verglichen werden konnten, ist abhängig von der Programmierung. Hervorzuheben ist, dass ein derartiges Programmteil, welches die analoge Ausgabe simuliert, zur unterrichtlichen Thematisierung beisteuern kann. Dies muss nachträglich im Zusammenhang mit der Programmierung beleuchtet werden. Die Erlebensweise hinsichtlich der dritten Kategorie scheint fachlich anschlussfähig zu sein. Die Differenzierung der Eingabetools kann – auch wenn noch nicht fachlich ausdifferenziert – das Nachdenken über innenliegende Prozesse anregen. Exemplarisch ist K7 anzuführen, welcher mechanische Bauteile von Sensoren differenziert; diese Erlebensweise ist anschlussfähig.

Der vierte Ergebnisraum unterscheidet sich von den bisherigen Ergebnisräumen, da hier nicht von einem Stufenmodell ausgegangen werden kann. Der Kategoriensatz weist teilweise anschlussfähige Konzepte auf, wie bspw. die Merkmalsausprägungen der dritten Kategorie. Exemplarisch kann dazu die Wahrnehmung von Programmierung als etwas Erzeugtes (PE) und etwas Veränderbares (PV) herangezogen werden. Erstere Merkmalsausprägung ist als elementarer Bestandteil der Technik anzuführen³⁰⁴. Etwas differenzierter nehmen die hiesigen Proband:in-

304 Vgl. Graube 2016, S. 73.

nen Informatiksysteme im Vergleich zur Studie von *Su & Ding* wahr. Deren Proband:innen wiesen Informatiksystemen verschiedene Funktionen zu.³⁰⁵ Die Proband:innen der hiesigen Erhebung führten diesbezüglich die Veränderbarkeit an. Bei der zweiten Kategorie bedarf es für eine Anschlussfähigkeit der unterrichtlichen Thematisierung, um zunächst den gestalteten und gestaltenden Charakter von Informatiksystemen wahrzunehmen.

Manche Proband:innen wie bspw. K14 weisen dem Calliope mini ein Eigenleben zu. Diese Äußerungen sind der Kategorie *psychological*, ausdifferenziert bei *Müller & Schulte*, zuzuordnen. Solche Aussagen kamen in dieser Erhebung kaum vor. Derartige Aussagen nahmen mit Steigerung der Abstraktion der Erlebensweisen ab. Im Vergleich zum Forschungsstand ist es naheliegend, dass dies auf das Erhebungssetting am konkreten Gegenstand zurückzuführen ist. Eine didaktische Aufarbeitung könnte durch (De-)Konstruktionsaufgaben realisiert werden³⁰⁶. Eine Programmieraktivität im Zusammenhang mit einem Informatiksystem könnte in der Lage sein, den gestalteten und gestaltenden Charakter sowie auch die Ausrichtung an menschlichen Bedürfnissen zu verdeutlichen³⁰⁷. Der gestaltende und erfinderische Charakter von Technik bzw. Informatik wurde nur zu Teilen deutlich. Während der Gestaltungsprozesse über ein Ausprobieren bspw. von K14 und K15 beschrieben wurde, nahmen diese und weitere jedoch ihre mögliche individuelle Selbstwirksamkeit nicht wahr. K2 benannte diesbezüglich eine Anpassung durch die Bedienungsanleitung. Der technische Bereich bzw. technische Artefakte, wie bei *Schulte* angeführt, wurden als gegeben und nicht als erzeugt wahrgenommen.³⁰⁸

Ähnlich gestaltet sich dies bei der ersten Kategorie. Dadurch, dass die Proband:innen Programmierung als etwas Physisches wahrnehmen, bedarf es einer soft- und hardwarebasierten Aufarbeitung. Aus dem Ergebnisraum zum Weiterleiten von Signalen kann die von den Pro-

305 Vgl. Su & Ding 2022, S. 642.

306 Vgl. Mammes & Tuncsoy 2013, S. 9 f.

307 Vgl. Graube 2016, S. 73

308 Siehe Schulte 2022; Martschinke, Palmer Parreira & Romeike 2021.

band:innen angeführte Signal- bzw. Befehls-Definition in Form einer Wenn-Dann-Formulierung aufgegriffen werden. Durch diese Erkenntnis kann didaktisch einem Programmierprozess Bedeutung verliehen werden, indem diese Programmierungen am Sachgegenstand (Calliope mini) physisch erfahrbar gemacht werden und somit als Realbegegnung zu werten sind³⁰⁹. Dies kann im Vergleich zu anderen Programmieraktivitäten ohne Informatiksysteme ein Vorteil sein. Dies lässt Rückschlüsse auf eine ganzheitliche Thematisierung zu. Dabei ist anzumerken, dass ein reines Betrachten der technischen Funktionsweise von Mikrocontrollern nicht umsetzbar ist. Das Programm ist unerlässlich für das Beschreiben und Erklären der technischen Funktionsweise von Mikrocontrollern.

Zusammenfassend weisen diese Kategoriensätze ein enormes Vorwissen der Proband:innen zur Funktionsweise von Mikrocontrollern auf. Sie identifizieren diesbezüglich zu Teilen Komponenten, wie bspw. Kabel oder auch die Ein- und Ausgabekomponenten, eine verarbeitende Instanz und auch die Programmierbarkeit. In einem ausführlicheren Rahmen finden sich diese Aspekte auch bei *Pancratz* wieder.³¹⁰

7.5.2 Revision anhand von Gütekriterien

Hinsichtlich des Gütekriteriums *Objektivität* ist die Untersuchung kritisch zu betrachten: Der Auswertungsansatz erfordert das Einnehmen einer Perspektive zweiter Ordnung, welche auch bei der Datenerhebung von Bedeutung ist. Dies ist durch die fachliche Vorstrukturierung des Interviewleitfadens und die möglichen deduktiven Themenbereiche (wie z. B. Speicher) nicht gänzlich umsetzbar gewesen. Der Interviewleitfaden wurde mit Blick auf die im Voraus eingegrenzten Themenbereiche (siehe Erlebensgegenstände) entwickelt, sodass die Interviews angeleitet waren. Somit wurde der Fokus der Proband:innen auf die spezifischen Erlebensgegenstände gelenkt, wodurch andere induktive Erlebensgegenstände in dem Interview möglicherweise keinen Raum fanden. Auch ist denkbar, dass ohne den spezifischen Interviewleitfaden die Proband:in-

309 Siehe zur Bedeutsamkeit der Sachbegegnung Nießler 2022, S. 663 f.

310 Siehe Pancratz 2021.

nen keine bzw. wenige Erlebensweisen vom Calliope mini eingebracht hätten. In der Durchführung wurde sich demnach an die fachliche Vorstrukturierung gehalten, was in der Auswertung zu Lasten der Rekonstruktion der Erlebensweisen führte. Diese Rekonstruktion wies damit Bezug zum fachlichen Hintergrund auf, da der Interviewleitfaden die fachlichen Aspekte vorgab. D. h., dass sich überwiegend nur über die Erlebensgegenstände (Prozess der Verarbeitung, Signalleitungen, digitale und analoge Signale) unterhalten wurde, da diese durch den Interviewleitfaden vorgegeben wurden. Zudem ist zu anmerken, dass sich nicht stringent an den Interviewleitfaden gehalten wurde. Dies kam der Wahrnehmung der Erlebensweisen der Proband:innen zugute, legte jedoch unterschiedliche Schwerpunkte bei einzelnen Interviews und beeinflusste die Auswertung.

Hinsichtlich der Genauigkeit, der Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit ist auch die *Reliabilität* zu betrachten: Das Messinstrument ist positiv zu bewerten, da der Interviewleitfaden die Interviews reproduzierbar gestaltet. Zu kritisieren ist hier jedoch die Proband:innengruppe. Für Manche – insbesondere für die Drittklässler:innen – gestaltete sich das Interviewsetting einschüchternd (siehe bspw. K2 und K3). Zusätzlich ist unklar, inwieweit das Kennen bzw. Nicht-Kennen der Interviewerin die Antworten und das Auftreten der Proband:innen beeinflusst hat. Zu beobachten war, dass die Proband:innen der vierten Klasse, welche die Interviewerin gut kannten, sehr ausführlich und freier über ihre Erlebensweisen gesprochen haben. Die Proband:innen der dritten Klasse konnten das zur Hälfte auch (siehe K10, K11, K14 und K15). K2 und K3 waren jedoch sehr vom Interviewsetting eingeschüchtert, was zu Lasten der Rekonstruktion ihrer Erlebensweisen geschah. Zudem ist das Angebot – im Rahmen des Explorierens des Calliope mini – in Kombination mit dem Interview sehr sprachlastig. Dies ist notwendigerweise bei der Betrachtung der Datensätze mitzudenken. Dies schränkt auch die Reproduzierbarkeit ein.

Hinsichtlich der *Validität* ist die Fachlichkeit zu bemängeln. Wie bei der Auswertung des Datensatzes analoger und digitaler Signale angeführt, sind die Programmteile und die Sensoren teilweise nicht thema-

tisch passend gewesen und haben den Fokus der Proband:innen auf die falschen Merkmale gelenkt. Dies hatte – an dieser Stelle der Erhebung – eine mangelnde Kohärenz zwischen Forschungssetting und -desiderat zur Folge, begründet durch ein unzureichendes informatisches Wissen der Verfasserin. Auch an anderer Stelle (siehe bspw. Auswahl der Erlebensgegenstände, Entwicklung der Programmteile, Auswertung hinsichtlich informatisch anschlussfähiger Erlebensweisen, etc.) wäre ein vertieftes fachliches Verständnis seitens der Verfasserin sinnvoll. Das Interviewsetting ist hinsichtlich zweier Aspekte zu beleuchten: Zum einen haben die Doppelinterviews (K10/K11 und K2/K3) teilweise dazu geführt, dass ein:e Gesprächspartner:in dominanter war. So hatte K3 einen viel geringeren Sprechanteil als K2, was zu Lasten der Rekonstruktion der Erlebensweisen von K3 führte. In anderen Interviews hingegen, wie bei K12 und K13 oder K6 und K7 ergänzten sich die Proband:innen, was sich positiv auswirkte.

Des Weiteren ist im Allgemeinen das Erhebungssetting zu kritisieren. Die Studie sollte bisherige Erlebensweisen von Kindern zu diesem Bereich erheben. Handlungen und verschiedene (De-)Konstruktionsaufgaben mittels eines Prä-Post-Vergleichs wären vermutlich passender zum Auswertungsansatz und würden die Erlebensweisen der Proband:innen vertieft und differenzierter abbilden. Demnach müsste der Fokus auf Handeln statt Fragen gesetzt werden. Trotzdem konnten die Proband:innen innerhalb der Interviews den Gegenstand Mikrocontroller ausreichend erleben, indem sie ihre Vorstellungen bzw. ihr Erleben darstellten und begründeten. Die zuvor angeführte Alternative stellt demnach nur eine andere Erhebungsmöglichkeit dar, welche – hier nur spekulativ anzuführen – umfangreichere und überzeugendere Erlebensweisen rekonstruierbar gestalten könnte. Der Bezug zu Bekanntem wurde seitens der Interviewerin nicht ausreichend hergestellt. Eine gedankliche Brücke zu persönlich Bedeutsamen hätte sich positiv auf die Kinderaussagen ausgewirkt. Das Erleben der Programmteile wurde zudem durch die Interviewerin gestützt und angeleitet. Dies könnte die Welterschließung beeinflusst haben.

8 Fazit – Konsequenzen für den Sachunterricht

Der Bildungsanspruch des Sachunterrichts konzentriert sich überwiegend auf das Wahrnehmen und Verstehen der Lebenswelt und ihrer Phänomene sowie der Ausprägung einer Handlungs- und Mitgestaltungsmöglichkeit.³¹¹ Durch die fortschreitende digitale Revolution und das sich dadurch verändernde Lebensumfeld der Kinder mehrten sich die Forderungen nach einer frühen informatischen Bildung. Diese umfasst nicht nur Fähigkeiten im Bereich des Programmierens; *Schulte & Budde* etwa betonen die erforderliche Handlungsfähigkeit in Bezug auf Informatiksysteme. Vor diesem Hintergrund war es Ziel dieser Masterarbeit, die Eignung der technischen Funktionsweise von Informatiksystemen (am Beispiel des Mikrocontrollers Calliope mini) als Unterrichtsgegenstand zu untersuchen. Sowohl der theoretische als auch der empirische Teil dieser Arbeit haben gezeigt, dass dieses Thema Gegenstand des Sachunterrichts sein kann und auch sollte.

Nach einer kurzen Definition und Einordnung der für diese Arbeit wichtigen Begrifflichkeiten (siehe *Kapitel 2*) konnte mithilfe der Begründungsdimensionen von *Klafki* und der fundamentalen Ideen von *Schwill* aufgezeigt werden (siehe *Kapitel 3*), dass die technische Funktionsweise von Informatiksystemen – unter Rückbezug auf Mikrocontroller – eine erhebliche Relevanz für die gegenwärtige und künftige Lebenswelt der Kinder hat. Insbesondere die Arbeitswelt unterliegt einem stetigen Wandel und erfordert in zunehmendem Maße grundlegende Kenntnisse von Steuerungsmedien. Die Komplexität informatischer Inhalte darf nicht zu dem Schluss führen, dass eine Thematisierung in der Primarstufe ausgeschlossen ist. Vielmehr bedarf es einer didaktischen

311 Vgl. GDSU 2013, S. 9; vgl. Köhnlein 2022, S. 104.

Rekonstruktion der Themen, wie sie bspw. beim Programmieren durch blockbasierte Umgebungen geschaffen wurde. Der Mikrocontroller kann als niedrigschwelliger Zugang zur technischen Funktionsweise genutzt werden, da dieser die grundlegenden Funktionsprinzipien von Informatiksystemen vereinfacht darlegt.

Um dem Bildungsanspruch gerecht zu werden, bedarf es einer ganzheitlichen Betrachtung von Informatiksystemen. Die technische Funktionsweise von Informatiksystemen kann nicht allein als Themengebiet behandelt werden, sondern umfasst vielmehr auch die Programmierung und den Verwendungskontext. Viele der derzeitigen Umsetzungsmöglichkeiten sind derart fachlich reduziert, dass sie einen rezeptionsorientierten Charakter aufweisen, was das Verständnis nicht ausreichend fördert. Vielmehr führen (De-)Montage und Konstruktionsaufgaben zu einem umfassenden Verstehen.³¹² Dies ist durch die hiesige Erhebung bestätigt worden. So konnte die Funktionsweise des Mikrocontrollers von den Kindern tiefgreifender als erwartet erfasst werden, welche ein Vorwissen zum Konzept des Programmierens aufwiesen. Dies legt den Schluss nahe, dass eine Programmieraktivität im Zusammenhang mit Informatiksystemen förderlich für das Informatiklernen ist.

Didaktische Umsetzungen (siehe *Kapitel 3.6*) wie das Physical Computing fordern eine ganzheitliche und konstruierende Thematisierung. Während *Przybylla & Romeike* dies für den Übergang zur Sekundarstufe II aufarbeiten, rekonstruieren *Flemming & Strecker* dies für die Primarstufe. Die Aufarbeitung von *Flemming & Strecker* gab jedoch keinen Blick in die Blackbox. Eine Kontextualisierung hingegen ermöglicht es, im Rahmen eines handlungsorientierten Sachunterrichts ein Verständnis aufzubauen³¹³, welches im Fall von *Flemming & Strecker* eine andere Einbindung des gewählten Mikrocontrollers erfordert, um dessen technische Funktionsweise in den Gestaltungsprozess einer Lösung für ein kontextbezogenes Problem mithilfe von Programmierung

312 Siehe Mammes & Tuncsoy 2013.

313 Vgl. Möller 2015, S. 404.

und Mikrocontroller miteinzubeziehen. Der Calliope mini kann als didaktisches Arbeitsmittel eine solche Arbeitsumgebung darstellen.

Ein Blick in den Forschungsstand zu Kindervorstellungen über technisch-digitale Phänomene (siehe *Kapitel 4*) hat gezeigt, dass bisherige Untersuchungen unzureichend mit Blick auf die Primarstufe sind und insbesondere keine tiefergreifenden Vorstellungen zur technischen Funktionsweise untersucht haben. Lediglich eine jüngst erschienene Dissertation hat Jugendliche der achten Klasse und deren Vorstellungen zu Informatiksystemen behandelt. Die Ergebnisse liefern erste unterrichtliche Anknüpfungspunkte; es bedarf jedoch weiterer Forschung im Bereich der Primarstufe.

Auf Grundlage dieser Forschungslücke wurde im empirischen Teil dieser Arbeit untersucht, welche Vorstellungen Kinder der dritten und vierten Klasse zur technischen Funktionsweise von Mikrocontrollern haben (siehe *Kapitel 5* und *6*). Es hat sich trotz Schwächen im Untersuchungssetting gezeigt, dass Kinder – ohne vorherige unterrichtliche Thematisierung – anschlussfähiges Wissen mit Blick auf informatische Konzepte besitzen (siehe *Kapitel 7*). Diese sind von grundlegender Natur und unterscheiden sich von fachwissenschaftlichen Konzepten. Die Vorstellungen der Kinder weisen jedoch fachlich anschlussfähige Merkmale auf, welche einen ersten Ansatz für eine unterrichtliche Thematisierung ermöglichen. So führt bspw. die sichtbare Architektur des Calliope mini zum Überdenken bisheriger Annahmen und ein Handeln mit diesem ermöglicht das Erschließen einer (bisher unbenannten und unkonkretisierten) Verarbeitungsinstanz und der Peripherie. Insbesondere das für das Informatiklernen elementare EVA-Prinzip wurde durch das Handeln, die Exploration und die Anschauung am konkreten Gegenstand gefördert, was erste Rückschlüsse für eine didaktische Aufarbeitung zulässt.³¹⁴ Die Kinder entwickeln über die Aktivität und die Anschauung zunehmend Vorstellungen. Das Betrachten von Äußerem regte das Nachdenken über innenliegende Prozesse an. Die Erlebensweisen der Kinder divergierten jedoch deutlich. Obwohl viele Kinder

314 Siehe Ansprüche des Sachunterrichts nach Köhnlein 2022, S. 106.

fachliche Unsicherheiten aufwiesen, waren diese bei den Drittklässler:innen am Ausgeprägtesten. Dies äußerte sich in Erlebensweisen, in denen Sichtbares beschrieben wurde, und in der psychologischen Perspektive nach Müller & Schulte³¹⁵. Am häufigsten wahrgenommen wurden die Merkmalsausprägungen der Elektrizität und der zunächst nicht als Erlebensgegenstand intendierten Programmierung. Die Verarbeitung und das EVA-Prinzip wurden in ihren Grundzügen durch manche Kinder wahrgenommen, dies geschah jedoch deutlich reduzierter bei den Signalleitungen und der Unterscheidung zwischen analogen und digitalen Signalen. Möglicherweise ist dies auf die fachliche Abstraktion zurückzuführen, intendiert durch die Interviewerin. Die Erlebensweisen zum Programmieren weisen die meisten Unterschiede auf. Viele Proband:innen nahmen grundlegende Aspekte wie die Programmierbarkeit (also die individuelle Gestaltbarkeit) nicht wahr. Andere hingegen nahmen technische Artefakte als gegeben hin und erfassten nicht, dass dies vom Menschen geschaffene Erfindungen sind. Dies ist vor dem Hintergrund des Erhebungsinstruments zu betrachten, welches nicht für diesen Inhaltsbereich ausgelegt war.

Im Rahmen der doppelten Anschlussfähigkeit als Anspruch des Sachunterrichts³¹⁶ hat die empirische Erhebung dieser Arbeit die Erlebensweisen zum Gegenstand Mikrocontroller vor einer schulischen Thematisierung rekonstruierbar gestaltet. Trotz erster Erkenntnisse hat die empirische Erhebung kein Verständnis grundlegender informatischer Konzepte abgebildet, da keine inhaltliche Intervention stattgefunden hat. Die Frage, wie eine inhaltliche Thematisierung informatischer Konzepte bei den Kindern tragfähige Vorstellungen ausbildet, ist im nächsten Schritt zu beantworten, jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Was muss vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse getan werden, um informatische Bildung in der Schule flächendeckend zu integrie-

315 Siehe Müller & Schulte 2017.

316 Vgl. GDSU 2013, S. 9 f.: Die doppelte Anschlussfähigkeit bezieht sich auf den Anschluss an die vorschulische Bildung und an den Anschluss des Sachunterrichts an den Unterricht der weiterführenden Schule.

ren? An erster Stelle ist die Forschung voranzutreiben, welche nicht nur Forderungen stellt, sondern didaktische Konzepte erarbeitet und den Inhaltsbereich für Lehrkräfte ohne größere Hürden zugänglich gestaltet³¹⁷. In einem zweiten Schritt muss die Ausbildung der Lehrkräfte angepasst werden. Neben obligatorischem Fachwissen müssen didaktische Konzepte vermittelt und die Handlungsfähigkeit der Lehrkräfte ausgebildet werden. Ohne eine solche reiht sich die informatische Bildung zur bereits vernachlässigten technischen Bildung. Auch eine Aufarbeitung der Bildungspläne sowie eine digitale Bildungsstruktur durch iPads führt zu nichts, wenn Lehrkräfte in diesem Bereich nicht handlungsfähig werden. Ebenso gilt dies für die Kinder, wenn ihre Lehrkräfte mangelhaft ausgebildet sind und digitale Bildung durch die Nutzung von iPads auf ein reines Bedienungswissen reduziert wird.

Klafki betonte bereits im späten 20. Jahrhundert vielfach die Notwendigkeit einer schulischen Thematisierung der epochaltypischen Schlüsselprobleme, wozu auch Steuerungsmedien gehören³¹⁸. Auch zu Beginn des 21. Jahrhunderts ist die Durchdringung der Lebensbereiche durch informationsverarbeitende Technik größer denn je und *Klafkis* Forderung dringlich wie nie zuvor. Die Kinder von heute und morgen müssen handlungsfähig werden. Ohne einen solchen zeitnahen Kurswechsel steuern wir auf eine „Bildungskatastrophe“³¹⁹ in diesem Bereich zu.

317 So auch das Projekt der Calliope gGmbH.

318 Vgl. Klafki 1985/2007, S. 59 f.

319 Zum Begriff Picht 1964; mit Bezug zum Sachunterricht Klafki 1985/2007.

Literaturverzeichnis

- Acatech** – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2009): Nachwuchsbarometer Technikwissenschaften. Wuppertal: Druckhaus Ley + Wiegandt GmbH +Co.
- Adenstedt, Victoria (2021):** Attributionen von Grundschulkindern zur Erklärung von Leistungsergebnissen bei technischen Alltagsaufgaben. In: Landwehr, Brunhild /Mammes, Ingelore & Murmann, Lydia (Hrsg.): Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. Elementar bildungsbedeutsam und dennoch vernachlässigt? Bad Heilbrunn: klinkhardt. S. 73–94.
- Adamina, Marco/Kübler, Markus/Kalcsics, Katharina/Bietenhard, Sophia & Engeli, Eva (2018):** Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Themen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft – Einführung. In: Adamina, Marco/Kübler, Markus/Kalcsics, Katharina/Bietenhard, Sophia & Engeli, Eva (Hrsg.): „Wie ich mir das denke und vorstelle...“. Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft. Bad Heilbronn: klinkhardt. S. 7–20.
- Arduino (2024):** Arduino Hardware. <https://www.arduino.cc/en/hardware>, Zugriff: 13.09.2025.
- audiotranskription (o. J.):** f4 Automatische Transkription & qualitative Analyse-Tools. <https://www.audiotranskription.de/>; Zugriff: 13.09.2025.
- Banse, Gerhard (2013):** Erkennen und Gestalten – oder: über Wissenschaften und Machenschaften. **Zitiert nach Adenstedt, Victoria (2021):** Attributionen von Grundschulkindern zur Erklärung von Leistungsergebnissen bei technischen Alltagsaufgaben. In: Landwehr, Brunhild/Mammes, Ingelore & Murmann, Lydia (Hrsg.): Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. Elementar bildungsbedeutsam und dennoch vernachlässigt? Bad Heilbrunn: klinkhardt. S. 73–94.
- Banse, Gerhard (2013):** Erkennen und Gestalten – oder: über Wissenschaften und Machenschaften. **Zitiert nach Mammes, Ingelore (2018):** Technisches Lernen in Kindergarten und Grundschule. In: Zinn, Bernd/Tenberg, Ralf & Pittich, Daniel (Hrsg.): Technikdidaktik. Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme. Stuttgart: Franz Steinert. S. 203–214.

- Batur, Fatma & Bergner, Nadine (2012):** Grundschulkindern begeistern mit der Zauberschule Informatik. In: Thomas, Marco & Weigend, Michael (Hrsg.): Ideen und Modelle. 5. Münsteraner Workshop zur Schulinformatik. Norderstedt: Books on Demand. S. 87–94.
- Bergner, Nadine/Hubwieser, Peter/Köster, Hilde/Magenheim, Johannes/Müller, Kathrin/Romeike, Ralf/Schroeder, Ulrik & Schulte, Carsten (2018):** Frühe informatische Bildung – Ziele und Gelingensbedingungen für den Elementar- und Primarbereich. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“. Band 9. Berlin: Barbara Budrich.
- Bergner, Nadine/Leonhardt, Thiemo & Schroeder, Ulrik (2016):** Informatik-Einstieg mittels Software, Hardware und auch unplugged – ein Vergleich. In: Thomas, Marco & Weigend, Michael (Hrsg.): Informatik für Kinder. 7. Münsteraner Workshop zur Schulinformatik – 20. Mai 2016. Norderstedt: Books on Demand. S. 35–44.
- Bernstein, Debra & Crowley, Kevin (2008):** Searching for Signs of Intelligent Life: An Investigation of Young Children’s Beliefs About Robot Intelligence. The Journal of the Learning Science, Ausg. 27, Nr. 2. S. 225–247.
- Best, Alexander/Brämer, Martin/Frederking, Volker/Geldreich, Katharina/Goeztz, Ilka/Herper, Henry/Humbert, Ludger/Kortenkamp, Ulrich/Krauthausen, Günter/Ladel, Silke & Schulte, Carsten (2021):** Informatische Bildung in der Grundschule und Zentren für Digitale Bildung. LOG IN, Ausg. 41, Nr. 2. Berlin: LOG IN Verlag. S. 30–34.
- Borowski, Christian/Diethelm, Ira & Mesaros, Ana-Maria (2010):** Informatische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. Theoretische Überlegungen zur Begründung. Widerstreit Sachunterricht, Ausg. 15, 2010. S. 1–8.
- Borowski, Christian/Diethelm, Ira & Wilken, Hennig (2006):** What children ask about computers, the Internet, robots, mobiles, games, etc. In: Vahrenhold, Jan & Barendsen, Erik (Hrsg.): WiPSCE '16: Proceedings of the 11th Workshop in Primary and Secondary Computing Education. New York: ACM. S. 72–75.
- Brinda, Thorsten & Braun, Frederike (2017):** Schülervorstellungen im Zusammenhang mit Smartphones. In: Diethelm, Ira (Hrsg.): Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt. 17. GI-Fachtagung Informatik und Schule. Bonn: Gesellschaft für Informatik. S. 119–122.
- Brinkschulte, Uwe & Ungerer, Theo (2010):** Mikrocontroller und Mikroprozessoren. 3. Aufl. Heidelberg: Springer.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (o. J.):** Was ist der DigitalPakt Schule? <https://www.digitalpaktschule.de/de/was-ist-der-digitalpakt-schule-1701.html>, Zugriff: 13.09.25.
- Calliope Dokumentation (o. J.):** v2.1 Allgemeines. <https://calliope-mini.github.io/v21/>, Zugriff: 13.09.25.
- Calliope gGmbH (2024a):** Calliope mini Arbeitsheft. <https://calliope.cc/schulen/arbeitsheft>, Zugriff: 13.09.25.

- Calliope gGmbH (2024b):** Display, Hacken, Coden. Erklärungen zu einigen englischen Begriffen ... <https://calliope.cc/begriffe>, Zugriff: 13.09.25.
- Calliope gGmbH (2024c):** Grundlagen. <https://calliope.cc/programmieren/grundlagen#noise>, Zugriff: 13.09.25.
- Calliope gGmbH (2024d):** MakeCode. <https://calliope.cc/programmieren/editoren/makecode>; Zugriff: 13.09.25.
- Calliope gGmbH (2024e):** Programmierumgebungen. <https://calliope.cc/programmieren/editoren>, Zugriff: 13.09.25.
- Claus, Volker & Schwill, Andreas (2003):** Duden Informatik. Ein Fachlexikon für Studium und Praxis. Mannheim: Dudenverlag.
- Dickins, Rosie & Nielson, Shaw (2015):** Lift-the-Flap Computers an Coding. London: Usborne.
- Die Senatorin für Kind und Bildung (o. J.):** iPads für Schulen. <https://www.bildungsbremen.de/ipads-362410>, Zugriff: 13.09.25.
- Dresing, Thorsten & Pehl, Thorsten (2018):** Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende. 8. Aufl. Marburg: dr. dresing & pehl GmbH.
- Duddeck, Heinz (2016):** Wohin Technik sich entwickelt. In: Graube, Gabriele & Mammes, Ingelore (Hrsg.): Gesellschaft im Wandel. Konsequenzen für natur- und technikkwissenschaftliche Bildung in der Schule. Bad Heilbrunn: klinkhardt. S. 38–53.
- Döbeli Honegger, Beat (2017):** Mehr als 0 und 1: Schule in einer digitalisierten Welt. 2. Aufl. Bern: hep.
- Dölle, Swantje (2023):** Lernunterstützung im technischen Sachunterricht. Eine perspektivenspezifische Herausforderung. In: Schmeinck, Daniela/Michalik, Kerstin & Goll, Thomas (Hrsg.): Herausforderungen und Zukunftsperspektiven für den Sachunterricht. Bad Heilbrunn: klinkhardt. S. 188–195.
- Ernst, Hartmut/Schmidt, Jochen & Beneken, Gerd (2015):** Grundkurs Informatik. Grundlagen und Konzepte für die erfolgreiche IT-Praxis – Eine umfassende, praxisorientierte Einführung. 5. vollst. überarb. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Fasel, Andreas (2016):** CALLIOPE MINI. Programmieren kann kinderleicht sein. <https://www.welt.de/regionales/nrw/article159482093/Calliope-mini-Programmieren-kann-kinderleicht-sein.html>; Zugriff: 13.09.25.
- Flemming, Andreas & Strecker, Kerstin (2016):** Physical Computing für Kinder. In: In: Thomas, Marco & Weigend, Michael (Hrsg.): Informatik für Kinder. 7. Münsteraner Workshop zur Schulinformatik – 20. Mai 2016. Norderstedt: Books on Demand. S. 65–70.
- Gärtig-Daugs, Anja/Weitz, Katharina & Schmid, Ute (2017):** Kindliche Modelle der digitalen Welt. In: Diethelm, Ira (Hrsg.): Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt. 17. GI-Fachtagung Informatik und Schule. Bonn: Gesellschaft für Informatik. S. 419–420.

- GDSU** – Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (2013): Perspektivrahmen. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gesellschaft für Informatik** (2019): Kompetenzen für informatische Bildung im Primarbereich. Empfehlungen der Gesellschaft für Informatik e.V. erarbeitet vom Arbeitskreis »Bildungsstandards Informatik im Primarbereich«. Die Empfehlungen wurden am 31. Januar 2019 vom Präsidium der GI verabschiedet. Beilage zu LOG IN, Jg. 39 (2019), Nr. 191/192.
- Gibson, J. Paul** (2012): Teaching graph algorithms to children of all ages. Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE2012): Proceedings of the 17th ACM annual conference on Innovation and technology in computer science education, S. 34–39. **Zitiert nach Röhner, Charlotte** (2021): Frühe technische und informatische Bildung im Elementar- und Primarbereich. In: Braches-Chyrek, Rita/Röhner, Charlotte/Moran-Ellis, Jo & Sünker, Heinz (Hrsg.): Handbuch Kindheit, Technik und das Digitale. Opladen & Toronto: Barbara Budrich. S. 355–379.
- Giest, Hartmut** (2010): Anschlussfähige Bildung im Sachunterricht. In: Giest, Hartmut & Pech, Detlev (Hrsg.): Anschlussfähige Bildung im Sachunterricht. Bd. 20. Bad Heilbrunn: klinkhardt. S. 11–22.
- Goecke, Lennart/Stiller, Jurik & Schwanewedel, Julia** (2021): Algorithmusverständnis in der Primarstufe – Eine Studie im Kontext des Einsatzes von programmierbarem Material. In: Landwehr, Brunhild/Mammes, Ingelore & Murmann, Lydia (Hrsg.): Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. Elementar bildungsbedeutsam und dennoch vernachlässigt? Bad Heilbrunn: klinkhardt. S. 117–132.
- Graube, Gabriele** (2016): Zum Wesen von Wissenschaft und Technik im 21. Jahrhundert. In: Graube, Gabriele & Mammes Ingelore (Hrsg.): Gesellschaft im Wandel. Konsequenzen für natur- und technikwissenschaftliche Bildung in der Schule. Bad Heilbrunn: klinkhardt.
- Graube, Gabriele/Jeretin-Kopf, Maja/Kosack, Walter/Mammes, Ingelore/Renn, Ortwin & Wiesmüller, Christian** (2015): Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“. Bd. 7. Schaffhausen: schubi.
- Gropengießer, Harald** (2005): Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: Mayring, Philipp & Gläser-Zikuda, Mikaela (Hrsg.) (2008): Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse. 2., neu ausgestattete Aufl. Weinheim, Basel: Beltz. S. 172–189. **Zitiert nach Murmann, Lydia** (2013): Dreierlei Kategorienbildung zu Schülervorstellungen im Sachunterricht? Text, Theorie und Variation – Ein Versuch, methodische Parallelen und Herausforderungen bei der Erschließung von Schülervorstellungen aus Interviewdaten zu erfassen. In: www.widierstreit-sachunterricht.de, Ausg. 19, Oktober 2013.
- Haus der kleinen Forscher** (2017): Informatik entdecken – mit und ohne Computer. Broschüre. https://www.stiftung-kinder-forschen.de/fileadmin/Redaktion/1_Forschen/Themen-Broschueren/Broschuere_Informatik_2017.pdf, Zugriff: 13.09.25.

- Herold, Helmut/Lurz, Bruno/Lurz, Martin & Wohlrab, Jürgen (2023):** Grundlagen der Informatik. 4. aktual. Aufl. München: Pearson.
- Hunger, Ina/Zander, Benjamin/Zweigert, Maika & Schwark, Claudia P. (2019):** Impulsinterviews mit Kindern im Kindergartenalter – praktische Entwicklung und methodologische Einordnung einer Datenerhebungsmethode. In: Hartnack, Florian (Hrsg.): Qualitative Forschung mit Kindern. Herausforderungen, Methoden und Konzepte. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 169–192.
- Humbert, Ludger (2003):** Zur wissenschaftlichen Fundierung der Schulinformatik. Witten: pad-Verlag.
- Inf-Schule (o. J.):** Inf-Schule. <https://inf-schule.de/>; Zugriff: 13.09.25.
- Jördens, Tobias & Gallenbacher, Jens (2017):** Quadrologik – Modellbildung und Modularisierung auf Basis von Rechner-technik. In: Diethelm, Ira (Hrsg.): Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt. 17. GI-Fachtagung Informatik und Schule. Bonn: Gesellschaft für Informatik. S. 109–118.
- Kahlert, Joachim (2016):** Der Sachunterricht und seine Didaktik. 4. Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Klafki, Wolfgang (1958/1963):** Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. Veröffentlicht in: »Die Deutsche Schule« (1958). Heft 10. Und in: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Weinheim: Beltz. S. 126-153. Vgl. auch in: Roth, Heinrich & Blumenthal, Alfred (Hrsg.) (1964): Didaktische Analyse. Hannover: Schroedel, S. 5–34. **Zitiert nach Meyer, Meinert A. & Meyer, Hilbert (2007):** Wolfgang Klafki. Eine Didaktik für das 21. Jahrhundert? Weinheim: Beltz.
- Klafki, Wolfgang (2007):** Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. 6. Aufl. Weinheim/Basel: Beltz.
- KMK – Kultusministerkonferenz (2016):** Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf; Zugriff: 13.09.25.
- Köhnlein, Walter (2022):** Aufgaben und Ziele des Sachunterrichts. In: Kahlert, Joachim/Fölling-Albers, Maria/Götz, Margarete/Hartinger, Andreas/Miller, Susanne & Wittkowske, Steffen (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. 3. überarb. Aufl. Bad Heilbrunn: utb.
- Levy, Sharon T. & Mioduser, David (2008):** Does it “want” or “was it programmed to..”? Kindergarten children’s explanations of an autonomous robot’s adaptive functioning. International Journal of Technology and Design Education. Bd. 18, Heft 4. Springer Science+Business Media B.V. S. 337–359.

- Levy, Sharona T. & Mioduser, David (2008):** Does it “want” or “was it programmed to...”? Kindergarten children’s explanations of an autonomous robot’s adaptive functioning. *International Journal of Technology and Design Education*. Bd. 18, Heft 4. Springer Science+Business Media B.V. S. 337–359. **Zitiert nach Müller, Kathrin & Schulte, Carsten (2017):** Ein Modell zur Analyse von Vorstellungen über Roboter und ihrer Funktionsweise. In: Diethelm, Ira (Hrsg.): *Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt*. 17. GI-Fachtagung Informatik und Schul. Bonn: Gesellschaft für Informatik. S. 109–118.
- Mammes, Ingelore (2018):** Technisches Lernen in Kindergarten und Grundschule. In: Zinn, Bernd/Tenberg, Ralf & Pittich, Daniel (Hrsg.): *Technikdidaktik. Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme*. Stuttgart: Franz Steinert. S. 203–214.
- Mammes, Ingelore & Tuncsoy, Murat (2013):** Technische Bildung in der Grundschule. In: Mammes, Ingelore (Hrsg.): *Dimensionen des Sachunterrichts. Technisches Lernen im Sachunterricht: nationale und internationale Perspektiven*. Bd. 6. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH. S. 8–21.
- Mammes, Ingelore/Zolg, Monika & Dölle, Swantje (2022):** Technische Aspekte. In: Kahlert, Joachim/Fölling-Albers, Maria/Götz, Margarete/Harteringer, Andreas/Miller, Susanne & Wittkowske, Steffen (Hrsg.): *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. 3. überarb. Aufl. Bad Heilbrunn: utb. S. 157–163.
- Marton, Ference & Booth, Shirley (2014):** Lernen und Verstehen. Berlin: Logos Verlag. In der Übersetzung von Lydia Murmann & Peter Buck.
- Martschinke, Sabine/Palmer Parreira, Susanne & Romeike, Ralf (2021):** Informatische (Grund-)Bildung schon in der Primarstufe? Erste Ergebnisse aus einer Evaluationsstudie. In: Landwehr, Brunhild/Mammes, Ingelore & Murmann, Lydia (Hrsg.): *Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. Elementar bildungsbedeutsam und dennoch vernachlässigt?* Bad Heilbrunn: klinkhardt. S. 133–150.
- Mertala, Pekka (2018):** Young children’s conceptions of computers, code, and the Internet. *International Journal of Child-Computer Interaction* (2019), Volume 19. S. 56–66.
- Mey, Günter & Ruppel, Paul Sebastian (2018):** Qualitative Forschung. In: Decker, Oliver (Hrsg.): *Sozialpsychologie und Sozialtheorie. Band 1: Zugänge*. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 205–244.
- Mey, Günter & Schwentesius, Anja (2019):** Methoden der qualitativen Kindheitsforschung. In: Hartnack, Florian (Hrsg.): *Qualitative Forschung mit Kindern. Herausforderungen, Methoden und Konzepte*. Wiesbaden: Springer Fachmedien. S. 3–48.
- Meyer, Meinert A. & Meyer, Hilbert (2007):** Wolfgang Klafki. Eine Didaktik für das 21. Jahrhundert? Weinheim: Beltz.
- mpfs – Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2022):** KIM-Studie 2022. Kindheit, Internet, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 6- bis 13-jähriger. https://mpfs.de/app/uploads/2024/11/KIM-Studie2022_website_final.pdf; Zugriff: 13.09.25.

- mpfs** – Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2024): KIM-Studie 2024. Kindheit, Internet, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger. <https://mpfs.de/app/uploads/2025/05/KIM-Studie-2024.pdf>; Zugriff: 13.09.25.
- Möller, Kornelia (1998)**: Kinder und Technik. In: Brügelmann, Hans (Hrsg.): Kinder lernen anders vor der Schule – in der Schule. Lengwil, Bodensee: Libelle. S. 89–106.
- Möller, Kornelia (2000)**: Kinder auf dem Wege zum Verstehen von Technik – Zur Förderung technikbezogenen Denkens im Sachunterricht. In: Hinrichs, Wolfgang & Bauer, Herbert F. (Hrsg.): Zur Konzeption des Sachunterrichts. Mit einem systematischen Exkurs zur Lehrgangs- und Unterrichtsmethodik. In: Petersen, Jörg & Reinert, Gerd-Bodo (Hrsg.): Reihe Schule und Unterricht. Donauwörth: Auer Verlag GmbH. S. 328–348.
- Möller, Kornelia (2015)**: Handlungsorientierung im Sachunterricht. In: Kahlert, Joachim/Fölling-Albers, Maria/Götz, Magarete/Harterter, Andreas/Miller, Susanne & Wittkowske, Steffen (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. 2. akt. und erw. Auflage. Bad Heilbrunn: Klinkhardt. S. 403–407.
- Müller, Kathrin & Schulte, Carsten (2017)**: Ein Modell zur Analyse von Vorstellungen über Roboter und ihrer Funktionsweise. In: Diethelm, Ira (Hrsg.): Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt. 17. GI-Fachtagung Informatik und Schule. Bonn: Gesellschaft für Informatik. S. 109–118.
- Müller, Kathrin & Schulte, Carsten (2018)**: Are children perceiving robots as supporting or replacing humans? First empirical results and classification of preconceptions within a theoretical framework. In: WiPSCE 2018.
- Murmann, Lydia (2002)**: Physiklernen zu Licht, Schatten und Sehen. Eine phänomenografische Untersuchung in der Primarstufe. Studien zum Physiklernen. Bd. 24. Berlin: Logos Verlag.
- Murmann, Lydia (2013)**: Dreierlei Kategorienbildung zu Schülervorstellungen im Sachunterricht? Text, Theorie und Variation – Ein Versuch, methodische Parallelen und Herausforderungen bei der Erschließung von Schülervorstellungen aus Interviewdaten zu erfassen. www.widerstreit-sachunterricht.de 2013, Ausg. 19.
- Murmann, Lydia/Schelhowe, Heidi/Bockermann, Iris/Engelbertz, Simon/Illginis, Saskia & Moebus, Antje (2018)**: Calliope Mini. Eine Explorationsstudie im pädagogischen-didaktischen Kontext – Abschlussbericht. <https://media.suub.uni-bremen.de/bitstream/elib/3457/1/00106848-1.pdf>, Zugriff: 13.09.25.
- Nießler, Andreas (2022)**: Den Sachen begegnen. In: Kahlert, Joachim/Fölling-Albers, Maria/Götz, Magarete/Harterter, Andreas/Miller, Susanne & Wittkowske, Steffen (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. 3. überarb. Aufl. Bad Heilbrunn: utb.
- Noller, Stephan (2016)**: Wir brauchen Digitalkunde ab der ersten Klasse. <https://www.zeit.de/digital/internet/2016-03/bildung-schulfach-digitalkunde-erste-klasse>, Zugriff: 13.09.25.

- Nordic Semiconductor (o. J.):** nRF51822 Product Brief Version 2.5. Multiprotocol Bluetooth low energy and 2.4GHz proprietary System-on-Chip. <https://nsscprod.media.blob.core.windows.net/prod/software-and-other-downloads/product-briefs/nrf51822-product-brief.pdf>; Zugriff: 13.09.25.
- O’Sullivan, Dan & Igoe, Tom (2004):** Physical Computing: Sensing and Controlling the Physical World with Computers. Boston: Thomson Course Technology.
- Zitiert nach Przybylla, Mareen & Romeike, Ralf (2017):** Von Eingebetteten Systemen zu Physical Computing: Grundlagen für Informatikunterricht in der digitalen Welt. In: Diethelm, Ira (Hrsg.): Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt – INFOS 2017. Bonn: Köllen Druck+Verlag GmbH. S. 257–266.
- Pancratz, Nils (2021):** Vorstellungen von Lernenden zum Aufbau von Informatiksystemen. Eine multimethodische Untersuchung von Lernvoraussetzungen zum Denken in Teilen von Ganzen. Oldenburg: Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. https://uol.de/f/2/dept/informatik/download/Promotionen/pancratz2021_extendedabstract.pdf; Zugriff: 13.09.25.
- Petrut, Sandra-Jasmin/Bergner, Nadine & Schroeder, Ulrik (2017):** Was Grundschulkinder über Informatik wissen und was sie wissen wollen. In: Diethelm, Ira (Hrsg.): Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt. 17. GI-Fachtagung Informatik und Schule. Bonn: Gesellschaft für Informatik. S. 63–72.
- Picht, Georg (1964):** Die deutsche Bildungskatastrophe. Olten/Freiburg im Breisgau: Walter-Verlag.
- Przybylla, Mareen & Romeike, Ralf (2013):** Physical Computing im Informatikunterricht. In: Breier, Norbert/Stechert, Peer & Wilke, Thomas (Hrsg.): Informatik erweitert Horizonte – INFOS 2013. Bonn: Köllen Druck+Verlag GmbH. S. 137–146
- Przybylla, Mareen & Romeike, Ralf (2017):** Von Eingebetteten Systemen zu Physical Computing: Grundlagen für Informatikunterricht in der digitalen Welt. In: Diethelm, Ira (Hrsg.): Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt – INFOS 2017. Bonn: Köllen Druck+Verlag GmbH. S. 257–266.
- Resnick, Mitchel & Martin, Fred (1991):** Children and artificial life. In: Harel, Idit & Papert, Seymour (Hrsg.) (1991): Constructionism. Ablex. S. 41–71. **Zitiert nach Müller, Kathrin & Schulte, Carsten (2017):** Ein Modell zur Analyse von Vorstellungen über Roboter und ihrer Funktionsweise. In: Diethelm, Ira (Hrsg.): Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt. 17. GI-Fachtagung Informatik und Schule. Bonn: Gesellschaft für Informatik. S. 109–118.
- Robertson, Judy/Manches, Andrew & Pain, Helen (2017)** “It’s Like a Giant Brain With a Keyboard”: Children’s Understandings About How Computers Work, Childhood Education, Bd. 93, Heft 4. S. 338–345.

- Röhner, Charlotte (2021):** Frühe technische und informatorische Bildung im Elementar- und Primarbereich. In: Braches-Chyrek, Rita/Röhner, Charlotte/Moran-Ellis, Jo & Sünder, Heinz (Hrsg.): Handbuch Kindheit, Technik und das Digitale. Opladen & Toronto: Barbara Budrich. S. 355–379.
- Romeike, Ralf & Seegerer, Stefan (2021):** Informatische Bildung in der digitalen Welt. In: Frederking, Volker & Romeike, Ralf (Hrsg.): Fachliche Bildung in der digitalen Welt. Digitalisierung, Big Data und KI im Forschungsfokus von 15 Fachdidaktiken. Allg. Fachdidaktik, Band 3. Münster: Waxmann. S. 207–233.
- Ropohl, Günter (2009):** Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. 3. überarb. Aufl. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Sachs, Burkhard (1981):** Legitimation und Strukturen von Technikunterricht. In: Traebert, Wolf Ekkehard (Hrsg.): Technik als Schulfach. Naturwissenschaft und Technik im Unterricht. Bd. 4. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Sachs, Burkhard (1981):** Legitimation und Strukturen von Technikunterricht. In: Traebert, Wolf Ekkehard (Hrsg.): Technik als Schulfach. Naturwissenschaft und Technik im Unterricht. Bd. 4. Düsseldorf: VDI-Verlag. **Zitiert nach Schmayl, Winfried (2019):** Didaktik allgemeinbindenden Technikunterrichts. 3. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Sachs, Burkhard (2001):** Technik Unterricht – Bedingungen und Perspektiven. **Zitiert nach Schmayl, Winfried (2019):** Didaktik allgemeinbindenden Technikunterrichts. 3. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Schäffer, Kristin & Mammes, Ingelore (2014):** Robotik als Zugang zur informatischen Bildung in der Grundschule. GDSU-Journal 2014, Heft 4. S. 59–72.
- Schlagenhauf, Wilfried (2009):** Inhalte technischer Bildung – Überlegungen zu ihrer Herkunft, Legitimation und Systematik. In: tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht. Heft 133. S. 5–13. **Zitiert nach Graube, Gabriele (2016):** Zum Wesen von Wissenschaft und Technik im 21. Jahrhundert. In: Graube, Gabriele & Mammes Ingelore (Hrsg.): Gesellschaft im Wandel. Konsequenzen für natur- und technikwissenschaftliche Bildung in der Schule. Bad Heilbrunn: klinkhardt.
- Schmayl, Winfried (2019):** Didaktik allgemeinbindenden Technikunterrichts. 3. Aufl. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Schmid, Ute & Gärtig-Daugs, Anja (2018):** Notwendigkeit der Integration elementarinformatischer Lerneinheiten in den Vor- und Grundschulunterricht. In: Bastian, Jasmin/Feldhoff, Tobias/Harring, Marius & Rummeler, Klaus (Hrsg.): «Digitale Bildung». Medienbezogene Bildungskonzepte für die «nächste Gesellschaft». MedienPädagogik, Heft 31. S. 78–106.
- Schubert, Sigrid & Schwill, Andreas (2011):** Didaktik der Informatik. 2. Aufl. Heidelberg: Spektrum.
- Schulte, Carsten & Budde, Lea (2018):** A Framework for Computing Education: Hybrid Interaction System. In: Koli Calling 2018.
- Schwill, Andreas (1993):** Fundamentale Ideen der Informatik. Zentralblatt für Didaktik der Mathematik. Bd. 25, Heft 1. S. 20–31.

- Su, Xun & Ding, Bangping (2022):** A phenomenographic study of Chinese primary school students' conceptions about technology. *International Journal of Technology and Design Education* 2023, S. 623–661.
- Theilig, Max-Marcel/Rechenberg, Peter & Mössenböck, Hanspeter (2021):** Programmierung. *Hütte – Das Ingenieurwissen*. S. 1–56.
- Werner, Dieter (2004):** Informatik. In: Schneider, Uwe & Werner, Dieter (Hrsg.): *Taschenbuch der Informatik*. 5. neu bearb. Aufl. München: Carl Hanser. S. 25–37.
- Wüst, Klaus (2003):** Mikroprozessortechnik. Mikrocontroller, Signalprozessoren, Speicherbausteine und Systeme. Wiesbaden: Vieweg.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Calliope GmbH (2024): Technische Details zum Calliope mini v2. <https://calliope.cc/calliope-mini/technische-daten>, Zugriff: 13.09.25.

Abbildung 2: Der Kontext des „Hybrid Interaction System“ nach Schulte & Budde 2018, S. 4. Die Abbildung wurde von der Verfasserin nachgebaut.

Abbildung 3: Mainboard eines Samsung Galaxy S3 mini. Foto von Verfasserin.

Abbildung 4: Programmteil A – Erlebensgegenstand Speicher. Screenshot von der Verfasserin aus der Programmierumgebung. https://makecode.calliope.cc/_AAYJ0FP8slsm; Zugriff: 13.09.25.

Abbildung 5: Programmteil B – Erlebensgegenstand Verarbeitung. Screenshot von der Verfasserin aus der Programmierumgebung https://makecode.calliope.cc/_AAYJ0FP8slsm; Zugriff: 13.09.25.

Abbildung 6: Programmteil C – Erlebensgegenstand analoge/digitale Signale und Veränderbarkeit. Screenshot von der Verfasserin aus der Programmierumgebung. https://makecode.calliope.cc/_AAYJ0FP8slsm; Zugriff: 13.09.25.

Abbildung 7: Programmteil D – Erlebensgegenstand BUS-System und Veränderbarkeit. Screenshot von der Verfasserin aus der Programmierumgebung. https://makecode.calliope.cc/_AAYJ0FP8slsm; Zugriff: 13.09.25.

Abbildung 8: Nachgestelltes Untersuchungssetting. Foto von Verfasserin.

Anhang 1: Codesystem und Ergebnisräume

A.1.1 Der Prozess der Verarbeitung

Beispielformulierungen für den Ergebnisraum	Ergebnisraum
1. Ich drücke auf den Knopf und mir wird ein Herz angezeigt. 2. Ich drücke auf einen Knopf und dann wird da ein Signal weitergeleitet, welches die Lämpchen aktiviert. 3. Zwischen dem Drücken eines Knopfes und dem Anschalten der Lämpchen berechnet ein Mini-Computer mittels einer Speicherinstanz, welche Lämpchen angehen sollen.	1. Handlungszusammenhang (HZ) 2. Reiz-Reaktion (RR) 3. Wahrnehmen einer dritten Verarbeitungsinstanz (3I)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Handlungszusammenhang (HZ)
K2 HZ	„I: Ungefähr auch so. Das heißt, ich drücke den Knopf. Und was passiert dann? #00:03:52# K2: Blinkt ein anderes Licht halt. #00:03:57#“ (K2K3 3, Absatz 30-31)
K3 HZ	„I: Ja. Okay. Cool. (...) Ist für euch, das hier, wenn ich so mache (Ton), dasselbe wie wenn ich einen Knopf drücke? Oder ist das was anderes? #00:11:04# K2 & K3: Irgendwie was anderes. #00:11:19# I: Und warum? Was glaubt ihr, was ist vielleicht anders? #00:11:22# K3: Weil da keine Töne kommen. #00:11:25#“ (K2K3 3, Absatz 79-82)
K4 HZ	„I: Was passiert denn in dem Calliope drin, wenn ihr das jetzt macht? Hm. #00:12:42# K4: (...) Es werden wieder verschiedene Lämpchen angemacht und dann entstehen die Buchstaben. #00:12:51#“ (K4K5 4, Absatz 82-83)
K10 HZ	„I: Ist das für dich genauso? #00:06:32# K10: Ja, aber/ Hier, wenn/ Wenn man das so ausschaltet, dann draufdrückt, dann ist es keine Lichtlichter mehr da #00:06:33#“ (K10K11 3, Absatz 58-59)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Reiz-Reaktion (RR)
K2 RR	„I: Was glaubt ihr dann passiert denn zwischen Ich drück auf den Knopf und hier wird auf den Lämpchen was angezeigt. Was passiert dazwischen? #00:03:29# K2: Ich glaube, dass der Knopf bestimmte Kabel aktiviert und dann leuchten die Lämpchen. Mhm. #00:03:40#“ (K2K3 3, Absatz 26-27) „I: Mhm. Und? Also, ich drücke ja nicht auf die Lämpchen. Wie kann das denn sein, dass wenn ich einen Knopf drücke, dass der mir hier was anzeigt? Habt ihr da eine Idee? #00:04:01# K2: Das passiert hier durch den Strom. Wird dann hier durchgesteuert und dann kommt nicht an jedes Licht Strom, sondern nur ein paar. #00:04:10#“ (K2K3 3, Absatz 32-33)
K4 RR	„K4: Hm. Also vielleicht irgendwas mit diesem hier? Da ist ja hier geht der Strom rein und vielleicht wird er dann irgendwie hier drunter, also da drin, hier weitergeleitet. Aber das Lämpchen brennt die ganze Zeit. Das Weiße. Hm. Vielleicht weil es die ganze Zeit an ist? #00:05:14#“ (K4K5 4, Absatz 38) „K5: Vielleicht, wenn man hier drauf drückt, dann wird da unten so was gedrückt und dann/ #00:06:17# I: Unter dem Knopf? #00:06:27# K4: Und dann löst das das vielleicht aus, dass da so ein wie und dann ist so eine Kombination, so dass so ein Mechanismus und dann geht das ist das so eingebaut, dass dann diese Lämpchen angehen. Also das ist so/ #00:06:28#“ (K4K5 4, Absatz 49-51) „K4: Also vielleicht. Weil also man hat eine/ Also man hat da so eine kleine Glühbirne und dann kommt da vielleicht so ein Hebel und der drückt das dann um und dann werden die passenden Lampen angemacht für den. Also hier hat man einen Hebel und der macht dann das Herz. Und der hier macht zum Beispiel dann die passenden Lampen an, damit es ein Smiley wird. #00:07:30#“ (K4K5 4, Absatz 56) „K4: Oder vielleicht hat zum Beispiel jedes Lämpchen einen Namen und dann sagt man quasi, als der programmiert wurde auf den Computer, Dann sagt man zum Beispiel mal beim blauen Knopf soll zum Beispiel jetzt 3A oder 3B angemacht werden und dann sagt man quasi/ Dann haben die so alle eigene Namen und daraus entsteht dann am Ende das Bild. #00:08:56#“ (K4K5 4, Absatz 61) „K4: Ich glaube, die Knete leitet. Vielleicht leitet die Knete ja unsere Berührungen hier lang und dann drückt sie jemand. Und das ist ja auch so ein Ding. Und dann wird hier einfach das Signal gegeben, dass das gemacht, also dass die Lampen angehen sollen. #00:13:01# I: Und ähm, du meinst gerade, da wird ein Signal gegeben, also wird ja hier irgendwie die Berührung wird ja dann irgendwie so ein Signal und das geht dann irgendwie durch das Kabel durch. Endet das denn hier oder wo geht das? #00:13:20# K4: Hier geht das glaube ich da rein und dann hier und dann gehen hier die Lampen an. #00:13:31#“ (K4K5 4, Absatz 85-87)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Reiz-Reaktion (RR)
K5 RR	„K5: Vielleicht, wenn man hier drauf drückt, dann wird da unten so was gedrückt und dann/ #00:06:17# I: Unter dem Knopf? #00:06:27#“ (K4K5 4, Absatz 49-50)
	„K5: Ja, das ist einfach so/ Sieht aus wie so ein Kästchen. Und da drunter ist wahrscheinlich so eine Art, so eine Mini-Glühbirne oder irgendwas, was leuchtet. Und dann, wenn man den drückt, geht dieses darunter an und dann leuchtet das so. #00:07:04#“ (K4K5 4, Absatz 54)
	„K5: Wahrscheinlich weiß der gar nicht so richtig, dass da jetzt ein Smiley kommt. Wahrscheinlich wird darunter, wenn man das jetzt drückt, wird darunter die richtigen Dinge angemacht und dann kommt da und dann sieht der Mensch, dass das eine Form ergibt, also dass der Knopf an sich eigentlich nur die Lampen an- und ausdrückt. Manche bestimmen nur an. Manche bestimmen nur aus. Wahrscheinlich ist darunter genau die Lampen, die an sein sollen. #00:08:22#“ (K4K5 4, Absatz 60)
	„K5: Wahrscheinlich, wenn man da drauf drückt, sind da drunter noch so kleine Knöpfe und wenn man den ja drunter drückt, wird da so eine kleine, wird es ja drunter gedrückt und dann werden wahrscheinlich die Knöpfe gedrückt und dann gehen genau die Lampen an, wahrscheinlich ja durch den Knopf, der da drunter ist. #00:10:28#“ (K4K5 4, Absatz 69)
K9 RR	„I: (...) Wie kommt es denn, dass, wenn ich auf die Knöpfe drücke? Dass der mir hier was anzeigt, weil ich drücke ja nicht hier drauf, weil wenn ich hier drauf drücke, passiert ja nix. #00:03:59# K9: Das ist wahrscheinlich irgendwie verbunden. #00:04:11#“ (K8K9 4, Absatz 34-35)
	„I: So mit drei/ Also mit kleinen Stromschlägen. Okay. Das heißt, wenn ich hier jetzt auf einen Knopf drücke, kommen da irgendwelche Stromschläge und dann passiert was? #00:04:35# K9: Dann verändert der so, wenn er jetzt hier drauf drückt, kommt das Smiley hier drauf. #00:04:44#“ (K8K9 4, Absatz 42-43)
K11 RR	„K11: Weil das Ding was durchgeführt wurde, auf jeden Fall. Mhm. Das sind zum Beispiel/ Irgendwie bei einer wie bei einer irgendwie von einem zu/ Wenn es hier losgeht, dann hier hingeht. Hier können Leute aussteigen, dann ist der Weg dann. Und dann fährt man weiter und man ist am Ziel. #00:03:42# I: Okay, und Also dann. Du sagst jetzt, ich drücke den Knopf, dann fährt der Zug los. Hält er denn hier an diesen kleinen Platten oder nicht? Nee, ok. Der fährt weiter und hält dann hier bei denen bei den Lämpchen. Ja, okay. Ist das für dich auch so? #00:04:03#“ (K10K11 3, Absatz 39-40)

Anhang 1: Codesystem und Ergebnisräume

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Reiz-Reaktion (RR)
K12 RR	„K12: Also die Knöpfe geben das Signal, was die Lämpchen machen sollen. #00:07:26# I: Ja, okay. Also, wenn ich auf den Knopf drücke. Ihr habt gerade was von Signalen gesagt. Wenn ich auf den Knopf drücke/ #00:07:32# K12: Dann kommt das Signal. Hey, Lampe, du sollst jetzt angehen, oder du sollst ausgehen. Ich glaube, es ist nicht/ Ja, er kommt jetzt/ Es ist nicht der Befehl Smiley, sondern es ist der Befehl für jede einzelne Lampe an oder aus. In der Computersprache oder so als I oder O oder was weiß ich was das für Zeichen sein. Kreis oder Strich oder so, an oder aus. #00:07:37#“ (K12K13 4, Absatz 63-65)
K13 RR	„K13: Also die Knöpfe zeigen den Lämpchen, was sie machen sollen. #00:07:22#“ (K12K13 4, Absatz 62)
K14 RR	„K14: Also ich die Teile sind irgendwie so verbunden mit den Lämpchen und wenn du auf den Teil drückst, dann verschiedene Lämpchen an und es ist immer so, wenn du auf dieses Teil drückst, dass dann diese Lämpchen angehen und wenn du auf beide drückst, vielleicht alle. Wenn du dann aber sagst nee, dann drückst du wieder auf den weißen Knopf. #00:03:02#“ (K14K15 3, Absatz 19) „K14: Der Strom leitet sich darüber und dann gehen die Lämpchen an, wie beim Handy. Wenn du jemand anruft, dann geht dieser Schall zum Beispiel durch ganz viele Kabel und so zum Fernsehturm/ #00:04:17#“ (K14K15 3, Absatz 28) „K14: Zwischen den Kabel ist ein Seil, Schnur und so und Strom und der Strom geht dann irgendwie dahin und dann kann man, bis er kommt ein Geräusch. #00:13:11#“ (K14K15 3, Absatz 72) „K14: Also dann wird werden die hohen Buchstaben sozusagen ein bisschen rausgefegt und dann das bemerkt hat wegen diesen Dingen, wie nah die Hand da dran ist. Der Gegenstand. Und dann messen sie das so ein bisschen mit den Kabeln und gucken dann und dann die Information kommt dann durch die Kabel da rein und auch und da rein und ja, also. #00:23:54# I: Schaut er sich/ Wartet er auf eine Information? Ja. #00:24:16# K14: Ja, und wenn du dann die Information hast, dann zeigt er dir das in Sekundenschnelle. #00:24:19#“ (K14K15 3, Absatz 145-147)
K15 RR	„K15: Es könnte auch so sein, dass wenn man auf die Knöpfe drückt, dann sind genau auf die, die dann angezeigt werden. Genau auf die werden die Lämpchen dann gezeigt, die Kabel von dem/ Und dann kann nur das von dem angemacht werden, weil das ist ja/ #00:03:20#“ (K14K15 3, Absatz 20) „K15: Irgendwie so durch unter unsichtbare Fäden, weil die Handys sind ja meistens mit anderem Strom verbunden und dann geht's dahin, wo du es schicken willst und das dann halt mega schnell. #00:04:37#“ (K14K15 3, Absatz 29) „K15: Ja, weil dann kommt das ist ja etwas dicker und da können ganz, ganz dünne, ganz dünne Stromfäden zu diesen Dingen geführt werden. Und dann gehen die aus, die vorher waren, weil der Strom aus dem Knopf zu dem Knopf geleitet wird. Und dann wird von dem Knopf der Strom zu den

A.1.1 Der Prozess der Verarbeitung

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Reiz-Reaktion (RR)
	Lämpchen geladen, aber nicht zu den Lämpchen, die vorher waren, sondern zu den Lämpchen, die jetzt da sind. #00:06:54#“ (K14K15 3, Absatz 41) „K15: Also ich glaube, weil das sind ja so Kabel, dass die Kabel sich damit so irgendwie verbinden. Und wenn sie sich verbinden, dann kommt da was. Das gibt es ja auch. Ich hatte mal so einen Plattenspieler, mein Papa, es war mal, also ist so ein bisschen DJ, war schon bei den Festen und da hat man ja auch so ein Ding und das Ding drückt man da drauf, wenn man nicht mehr will, dass die CDs sozusagen weiterdreht und spielt das Lied, dann kann man die rausnehmen. Das ist vielleicht auch so, wenn man nicht will, dass da irgendwie was kommt, dann drückt man. Also drückt man da auf den weißen Knopf. #00:12:01#“ (K14K15 3, Absatz 68) „K15: Es gibt, es gibt so welche Geräte, die sind mit solchen Kabeln die ganze Zeit hin und her verklickt und aber das sieht man nicht, weil das in dem Gerät ist. Und wenn man ein Kabel davon abnimmt, dann kann das auch nichts. Dann kann das auch nicht mehr weiterhelfen, weil da drin in diesem Kabel ist ganz viel Strom und ich glaube, Metall oder was das hier ist. Ja das, das hängt ja ganz viel auch mit Strom zusammen und das macht und das macht halt diese Geräusche. #00:13:29#“ (K14K15 3, Absatz 75) „K15: Das liegt nicht an den Kabeln, sondern am Stern. Weil die Fäden von denen von dem Stern gehen ja, auch hier rein, für den Lämpchen. Und es könnte auch eins zu irgendjemandem von diesen Plättchen, die da draufgelegt wurden oder draufgeklebt worden führen. Und dadurch kommt das Geräusch. #00:17:04#“ (K14K15 3, Absatz 93) „K15: Und die Informationen fließen dann hier durch und das wurde hier einprogrammiert, dass die Information dann an dieses Feld weitergeleitet werden und das zeigt mir auch gerade, dass das ganz ist und auch wie man auf die Knöpfe drückt. Das ist jetzt mit dem verbunden und die Knöpfe machen eigentlich gar nichts mehr. Ja, okay. #00:30:22#“ (K14K15 3, Absatz 178)
Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Wahrnehmen einer dritten Verarbeitungsinstantz (3I)
K4 3I	„K4: Dass das so gespeichert ist. Also, dass es in dem drin ist, dass da also/ Die haben ja immer eine kleine Speicherkarte und dann ist die da drin und dann sagt/ Also quasi so, wie Steuerung und die sagt, wenn jetzt irgendjemand diesen Knopf drückt, dann sollen diese Lämpchen angehen. #00:09:43# I: Okay, also ist da/ Also irgendwas passiert da denn noch mit. Du meinst gerade irgendwas mit Steuerung. Was meinst du? Also. #00:10:04# K4: Quasi so eine. Hier geht der Knopf an, hier geht es lang und dann sagt/ Dann berührt man den Knopf und drückt den. Und dann sagt die Kleine, also der Speicher, der das eingespeichert hat, was das machen soll. Sagt dann das und das soll gedrückt werden. #00:10:10#“ (K4K5 4, Absatz 65-67)
K5 3I	„K5: Also ich glaub, das wird dann weitergeleitet, der Strom und dann wird das da so über unter den ganzen Knöpfen lang geleitet und dann werden da so zum Beispiel wie jetzt das C. #00:13:36#“ (K4K5 4, Absatz 88)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Wahrnehmen einer dritten Verarbeitungsinstant (3I)
K6 3IÄ	„I: Wie kommt es dann, dass wenn ihr habt ja gerade die Knöpfe gedrückt/ Warte, ist der an? Ja, wie kommt denn das, dass hier dann was angezeigt wird? Weil ich drücke auf den Knopf hier müsst ihr dann nicht was irgendwie beim Knopf funktionieren. Und weil wenn ich hier drauf drücke/ #00:02:41# K6: Durch Strom und dass da irgendwie Befehle an vielleicht die Dinger gibt. #00:02:54# I: Du meinst an diese kleinen aufgesetzten Plättchen neben dem Knopf. #00:03:00# K6: Dass er irgendwie Strom rein leitet und dann werden die/ Da geht der Strom in die Lampen und dann gehen mit die Lampen an. #00:03:03#“ (K6K7 4, Absatz 17-20) „K6: Ist irgendwie Strom, durch den fließt und der wird irgendwie programmiert. Und dann fließt der Strom durch Leitungen in dem und in die Lämpchen rein. #00:05:06# I: Okay, geht es dann direkt in die Lämpchen rein? Ja. #00:05:15# K6: Nee, das muss auch irgendwie noch durch. #00:05:19#“ (K6K7 4, Absatz 40-42) „K6: Das wird vielleicht Strom in irgendeiner dieser Generatoren und die senden dann diesen Befehl weiter. #00:20:39# I: In irgendwo eine dieser kleinen Platten und da wird das dann weiter an die Lampen gesendet. Und wie ist das hier? #00:20:45# K6: Da wird, wenn man so macht, auch ein Befehl von hier nach da (über das das Kabel zum Calliope) wird das dann einer der Dinger (Plättchen auf dem Calliope) und auch. #00:20:51#“ (K6K7 4, Absatz 164-166)
K7 3I	„K7: Ich glaube, dass auf dem Knopf was drauf programmiert ist und dass wenn man den Knopf drückt, dass dann dieser Programmierung gesagt wird, dass dann aktivieren, dann fließt das dahin und wird das dann gemacht. #00:03:29# I: Okay, und sagt der Knopf das denn oder/ Also ist die Programmierung dann im Knopf sozusagen? #00:03:40# K6: Ich schätze mal auf der ganzen Festplatte. #00:03:47#“ (K6K7 4, Absatz 24-26) „K7: Ja, wahrscheinlich. Das ist so ein Minicomputer, der das Ganze berechnen kann. Und dann kommt das da halt rein, fließt da über diese Leitbahnen, die wir schon hatten. Und dann kommt es da rein und der das alles in Sekundenschnelle und der berechnet das ganz, ganz schnell, wie das der gibt es dann schon irgendwie so eine Formel und die hat den eingespeichert und dann guckt er, wie passt das zu dieser Formel? Und dann kann er halt da, dann geht von da weiter. Wenn das gefunden hat, kommt da wieder was über die Leiterbahnen bis dahin und dann zeigt er da die, dann kommt es vielleicht dahin zu einem von denen und die sagen dann, je nachdem wo/ Wie die Zahl ist, kommt es zu dem und dann sagt der okay, das ist die, dann schickt er die Signale wieder dazu. #00:16:05#“ (K6K7 4, Absatz 130) „K7: Wahrscheinlich wegen dem erstmal. Wegen den ganzen Elektrobauteilen, sag ich jetzt mal, zum Beispiel wegen den Knopf oder diesen ganzen Chips und dann ist das halt alles über diesen Leitbahnen vernetzt und

A.1.1 Der Prozess der Verarbeitung

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Wahrnehmen einer dritten Verarbeitungsinstanz (3I)
	darüber klappt das dann. Weil das ist ja auch mit diesen ganzen Lötunkten da, weil/ #00:21:12#“ (K6K7 4, Absatz 167-168)
K8 3I	„I: Und wird das dann direkt von dem Knopf weitergeleitet oder geht das noch irgendwo anders lang? #00:07:01# K8: Das geht irgendwo anders. Ich meine, hier unten. #00:07:35#“ (K8K9 4, Absatz 64-65) „K8: Also der vielleicht ist eine Steilwände ungefähr ein Zentimeter, dann guckt er, wie viele Schallwellen das ist. Dann überträgt er das hier von da aus/ #00:25:07# I: Also über das Kabel und dann wo geht es weiter? #00:25:20# K8: Hier irgendwie. #00:25:21# I: Neben dem Kabel wieder auf diese kleinen Plättchen. #00:25:22# K8: Und dann halt irgendwie hier oben hin und dann nach oben, sagt dann irgendwie okay, dann muss ich jetzt da eine 4 Programm. #00:25:24#“ (K8K9 4, Absatz 191-195)
K9 3I	„K9: Der hat ein Speicherplatz und. #00:08:44# I: Ein Speicherplatz, was ist das denn für ein Speicherplatz? #00:08:46# K9: Ein Speicherplatz, der speichert so ein Ding zum Beispiel auch Handys, die Sachen, was man halt eingespeichert hat, zum Beispiel Fotos kann der speichern. Das mache ich auch ganz oft auf meinem iPad, aber in dem Fall kann er jetzt halt diese sich merken. Also hat er sich eingespeichert, dass er diese Lampen bedienen muss. #00:08:49#“ (K8K9 4, Absatz 74-76) „K9: (...) Das wird das ja auch wieder durch diese Kabel geleitet. Ja und dann vielleicht geht das dann auch irgendwie in so einem Ding rein, keine Ahnung, in so einem/ #00:17:24# I: So ein kleines Plättchen hier drauf und. #00:17:30# K9: Dann wird das halt zum Speicher befördert und dort wird dann halt irgendwie, weil er hat es da ja auch eingespeichert, wenn man halt hier drauf legt, dass dann ein (Steg?) ist ja auch eingespeichert und dass der dann diesen Ton erzeugt. #00:17:32#“ (K8K9 4, Absatz 142-144) „K9: Geht dagegen. Dann merkt der das und gibt das hier durch den weiter und hier ist jetzt sind ja auch diese Kleinen, wenn wir das vielleicht wieder hier unten irgendwie in den in die in den Speicherplatz befördert und dann wird auch geguckt, weil der ist ja anders programmiert als zum Beispiel der und dann wird halt auch geguckt, wie weit entfernt er ist, weil der hat es ja schon gesagt, es ist ungefähr jetzt hier ist es ja jetzt zum Beispiel zwei Zentimeter oder zehn Zentimeter. Ja, das merkt er jetzt glaube ich nicht, oder? Ich glaube, vier ist das höchste. #00:22:21#“ (K8K9 4, Absatz 174) „I: Und wird das dann direkt von dem Knopf weitergeleitet oder geht das noch irgendwo anders lang? #00:07:01# K8: Das geht irgendwo anders. Ich meine, hier unten. #00:07:35# K9: Vielleicht wird das da unten noch mal irgendwie so, aber das passiert ja alles blitzschnell. #00:07:38#“ (K8K9 4, Absatz 64-66) „K9: Ein Signal oder so was wie. Also, dass das Licht angeht, ein Signal Du musst jetzt diese Lampen anmachen und du hast das ja auch programmiert, dass du jetzt hier zum Beispiel dein Herz ist. Dann ist da so ein Smiley, also hast du das nicht ohne Grund gemacht. #00:05:31#“ (K8K9 4, Absatz 52)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Wahrnehmen einer dritten Verarbeitungsinstant (3I)
K11 3I	„K11: Vielleicht das hier mit diesen Platten, das irgendwie zu tun hat. Müsste ja eigentlich, weil sonst wären sie ja einfach nur da. Das / Kann das sein, dass da von da irgendwie Strom raufgeleitet wird mich und dann hat das irgendwie einen Befehl das Ding einen Knopf anzeigt oder so was anzeigt. #00:04:38#“ (K10K11 3, Absatz 44) „K11: Halt wieder, dass da irgendwie Strom quasi losfährt. Auf eine Platte. #00:05:12# I: Auf eine Platte. Der geht dann auf eine Platte. Okay, wie so ein kleiner Zug, der dann anhält. Ja, ja. #00:05:17# K11: Und dann geht man da raus. Ja, da hat man irgendwie ein Befehl. Dass quasi die Lichter die Passagiere sind. Dann haben die irgendwie ein Befehl, dass die an irgendeine Stelle müssen, dann wird das halt so angezeigt. Dann gibt es ein Muster. #00:05:22# I: Okay, und dann geht das dann also an irgendeiner Stelle, dann hier bei an irgendein Lämpchen oder irgendwo anders auch noch hin. #00:05:39# K10: Ich glaub, irgendwo ein Lämpchen, so was vielleicht. #00:05:48# K11: Nee, ich glaub, das kommt dann da einfach hin. Kann man es ausschalten. Dann gehen die quasi wieder zurück, dann kann man es wieder anschalten. #00:05:51# I: Nochmal, Das musst mir nochmal erklären. #00:06:01# K11: Man macht es aus. Die Lämpchen gehen quasi wieder zurück, die fahren zurück. Also wenn man jetzt, wenn man es dann wieder drückt, geht/ Fahren wieder los. #00:06:03# I: Okay, also wir kommen vom Knopf über irgendwie über diese Platte, wie so ein kleiner Zug, der dann hier die Lämpchen aussteigen lässt, also das Licht bei den Lämpchen und dann fährt er wieder fährt er wieder über die Platte zurück. Ja, und dann wieder zum Knopf. #00:06:15# K11: Okay, da sind sie dann wieder. Also wenn man es ausschaltet, dann wieder zurück. #00:06:28#“ (K10K11 3, Absatz 48-57)
K12 3I	„I: Ähm. Du meinst gerade, der ist programmiert.(...). Du meinst gerade, der ist programmiert. Was ist da denn programmiert? Also, was bedeutet das denn? #00:03:09# K12: Ich schätze auch, dass das irgendwo ein kleiner Speicherchip ist, wo halt etwas drauf programmiert ist. Dann musst du dieses Licht an und ausmachen und ich schätze das, diesen Speicherstick kann man dann halt wechseln und dann steht da was anderes. #00:03:23# I: Also das sind irgendwo was, was gespeichert wird. Ist das denn so wie beim Handy? #00:03:37# K12: Also da ist ja auch eine Speicherkarte drin. #00:03:42#“ (K12K13 4, Absatz 27-30) „I: Also wenn der den Strom angeht, was hat das denn zum Beispiel mit dem Speicher zu tun, weil ihr meint, da ist ja irgendwas drauf gespeichert? #00:05:06# K12: Ich schätze, wenn man den Strom anmacht, dann ähm, also der Speicher ist die ganze Zeit drin und dann wäre wird halt der Strom gesendet und erst dann kann der Speicher dem weiterleiten. Das ist also eher der/ Ich glaube, der Speicherplatz braucht Strom, um den Befehl an die Lämpchen weiterzugeben. #00:05:11#“ (K12K13 4, Absatz 41-42)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Wahrnehmen einer dritten Verarbeitungsinstantz (3I)
	„I: Das klingt schon mal ziemlich, ziemlich cool. (...) Hm. Ich muss kurz überlegen, weil ich habe schon sehr, sehr viel erzählt, welche Fragen ich noch stellen muss. Ähm. Ihr habt ja gesagt, da ist irgendwie noch was mit Speichern, oder? #00:09:28# K12: Ja, das meine ich. Da ist halt in den Speichern ist vorprogrammiert. Wenn man den Knopf drückt, dann wird das Signal gegeben und/ #00:09:49#“ (K12K13 4, Absatz 79-80) „K12: Ja, in den Knöpfen. Also hier ist ja auch extra noch so ein schwarzer Kasten. #00:10:18#“ (K12K13 4, Absatz 81)
K13 3I	„K13: Also ich glaube das kann man mit irgendwo hier ist irgendwo so eine kleine Karte drin. Ich glaube das da oder das oder so der, dass dann halt macht. Ja oder hier irgendwie die Knöpfe. #00:02:56#“ (K12K13 4, Absatz 26) „I: Und ist der Speicher/ Also hat ein Knopf beispielsweise einen Speicher, einen Knopf, einen eigenen Speicher oder ist der Speicher irgendwie noch mal was anderes, weil bei dem Handy meint ihr, das ist ein Speicherchip? #00:09:56# K13: Also ich glaube, das ist zum Beispiel hier bei dem Knopf, das ist irgendwie da drin steckt noch in dem Knopf selber, ja oder halt irgendwas mit diesen Platten. Aber ich glaube eher, dass in den Knöpfen/ #00:10:07#“ (K12K13 4, Absatz 79-80) „K13: Weil sonst könnte man einfach so eine Miniplatte hinlegen drauf, fertig. Aber ich glaube wirklich, dass es da drin irgendwas hat. #00:10:21# I: Dir ist ja gerade schon was kleines passiert und jetzt helfe ich euch dabei. Wir machen das ein bisschen cooler. #00:10:28# K13: Ja, da habe ich angepasst. (...) Das war das, was mir passiert ist? Ja. So. #00:10:38#“ (K12K13 4, Absatz 82-84) „I: Ja. Was passiert denn also in dem Calliope drin, wenn ich da jetzt irgendwie die Knete drücke und hier den goldenen Ring? Und mir wird ja dann ein Ton/ Es wird ein Ton gespielt und der zeigt mir hier auch den Tonleiter, nennt sich das, also den Buchstaben, welche Note das ist an. Was passiert denn hier drin? #00:12:22# K13: Also, dadurch, dass du halt hier was rangestöpselt hast, dann leitet das halt den Strom. Und dann passiert irgendwas hier in den Knöpfen. #00:12:40# K12: Der Körper leitet auch Strom. #00:12:52# K13: Das muss ja noch irgendeine andere Platte geben. Mit den Noten, also der Karte halt. Weil das, das und das steht ja schon für was. Das heißt, es könnte rein theoretisch sein, dass die hier diese kleinen Mini, was weiß ich/ Oder dieses hier halt auch für unterschiedliche Sachen stehen. #00:12:55#“ (K12K13 4, Absatz 97-101) „I: Das Strom und Signal für euch dasselbe? Oder ist das was unterschiedlich unterschiedlich Unterschied? #00:09:00# K13: Unterschiedlich. #00:09:03# K12: Unter/ Also mit dem Strom kann man auch Signale geben. #00:09:04#

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Wahrnehmen einer dritten Verarbeitungsinanz (3I)
	K13: Ja, also so Mittelding. Also ein Signal ist für mich: Du sollst jetzt das Licht anschalten. Also jetzt in der Platte. Und Strom ist für mich, dass das Licht überhaupt angeht. #00:09:07#“ (K12K13 4, Absatz 75-78)

A.1.2 Signalleitungen

Beispielformulierungen für den Ergebnisraum	Ergebnisraum
- Über so kleine Drähte wird über Strom etwas weitergeleitet. / Da sind so kleine Rillen, über die etwas weitergeleitet wird. - Nachdem ich ein Knopf gedrückt habe, wird mit Hilfe von Strom ein Signal weitergeleitet. - Signale sind sowas wie Befehle oder Daten. - Das Signal wird über Stromimpulse weitergeleitet. - Die Signale sehen aus wie I und Os.	- Sichtbares verweist auf Leitungen (SL) - Weiterleiten von Signalen (WS) - Erklären von Signalen als Befehle bzw. Daten (WSB) - Weiterleiten von Signalen mittels Stromimpulsen (WSS) - Stromimpulse werden mittels einer Dualität beschrieben (WSD)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Sichtbares verweist auf Leitungen (SL)
K2 SL	„I: Mhm. Und? Also, ich drücke ja nicht auf die Lämpchen. Wie kann das denn sein, dass wenn ich einen Knopf drücke, dass der mir hier was anzeigt? Habt ihr da eine Idee? #00:04:01# K2: Das passiert hier durch den Strom. Wird dann hier durchgesteuert und dann kommt nicht an jedes Licht Strom, sondern nur ein paar. #00:04:10#“ (K2K3 3, Absatz 32-33) „I: Okay. Und glaubst du, glaubst du auch, dass dann irgendwas durch dieses Kabel kommt und dann hier auf den Calliope geht? Was glaubt ihr, wie passiert das denn in dem Calliope dann? #00:09:14# K2: Da ist ein Draht drin. Sozusagen. #00:09:25# I: (...) Wird das lang geleitet oder? #00:09:40# K2: Hat irgendwas zusammen durchs Kabel und dann beim Draht hört das auf, wo der Strom reingemacht und geht nicht mehr weiter. #00:09:44#“ (K2K3 3, Absatz 61-64) „I: Auch so. Und meint hier so was wie die Kabel selber gibt es auch auf dem Calliope? #00:10:44# K2: Mhm. #00:10:51# I: Ja? Wie sieht es dann zum Beispiel aus? #00:10:52# K2: So kleine Drähte. #00:10:58#“ (K2K3 3, Absatz 73-76) „K2: Und weil ich glaube, dass wenn hier Strom durchkommt. Und dass das dann auch hier vorbeigeht und der Knopf kontrolliert das halt. Aber wenn

A.1.2 Signalleitungen

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Sichtbares verweist auf Leitungen (SL)
	man auf den Knopf drückt, geht ja kein Strom da rein. Und deshalb zeigt er dann etwas anderes an. #00:11:32#“ (K2K3 3, Absatz 83) „I: Okay, also der also das Ding was wir da reingesteckt haben, rechnet das so ein bisschen und das hier rechnet aber auch ein bisschen? Okay. Und woher weiß er denn, dass er da jetzt irgendwie rechnen soll? Weil eigentlich ist das ja nur so ein Stück Metall und ein bisschen Plastik, weil zum Beispiel das ist ja auch ein bisschen Plastik und das kann ja sowas nicht. #00:21:34# K2: Da halt auch so Kabel drin sind. #00:21:56#“ (K2K3 3, Absatz 157-158)
K4 SL	„K4: Ja, das ist hier durch die Kabel, glaube ich. Und dann hier irgendwie drunter durch und dann da so in die Lämpchen und die fangen dann an zu leuchten. #00:02:18#“ (K4K5 4, Absatz 12) „K4: So programmiert, dass es, wenn hier der Schalter umgelegt wird, dass es dann hier lang geht, der Strom und dann hier das Lämpchen auslöst. Und dann gehen da die Lampen an und sagen Hallo! #00:04:07#“ (K4K5 4, Absatz 31)
K5 SL	„I: (...) Wie kann es sein, dass so ein Stück Metall oder Plastik überhaupt was macht? Wenn ich das jetzt anmache, dann. Dann macht er irgendwas. Kann das sein? #00:02:09# K5: Strom. Also Strom, dass da erstmal so was lang geleitet/ #00:02:18#“ (K4K5 4, Absatz 10-11) „I: Und ähm, du meintest gerade, da wird ein Signal gegeben, also wird ja hier irgendwie die Berührung wird ja dann irgendwie so ein Signal und das geht dann irgendwie durch das Kabel durch. Endet das denn hier oder wo geht das? #00:13:20# K4: Hier geht das glaube ich da rein und dann hier und dann gehen hier die Lampen an. #00:13:31# K5: Also ich glaub, das wird dann weitergeleitet, der Strom und dann wird das da so über unter den ganzen Knöpfen lang geleitet und dann werden da so zum Beispiel wie jetzt das C. #00:13:36#“ (K4K5 4, Absatz 86-88) „K5: Ich glaube, wenn also das der Kabel ist, glaube ich nur so ein Stromleiter, wenn das dann hier so lang leitet und dann wird das hier und dann wird das auf den Metallteil übertragen quasi. #00:17:05#“ (K4K5 4, Absatz 116)
K6 SL	„K6: Durch Strom und dass da irgendwie Befehle an vielleicht die Dinger gibt. #00:02:54# I: Du meinst an diese kleinen aufgesetzten Plättchen neben dem Knopf. #00:03:00# K6: Dass er irgendwie Strom rein leitet und dann werden die/ Da geht der Strom in die Lampen und dann gehen mit die Lampen an. #00:03:03#“ (K6K7 4, Absatz 18-20) „K6: Ist irgendwie Strom, durch den fließt und der wird irgendwie programmiert. Und dann fließt der Strom durch Leitungen in dem und in die Lämpchen rein. #00:05:06#“ (K6K7 4, Absatz 40)
K7 SL	„I: Ist für dich auch so? Okay. (...) Also glaubt ihr, dass es so was wie so ein Kabel dann vielleicht auch auf dem Calliope gibt? #00:12:04# K7: Ja, das ist eine Leitbahn dafür. #00:12:18#“ (K6K7 4, Absatz 95-96)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Sichtbares verweist auf Lei- tungen (SL)
	„K7: Also wahrscheinlich da wie gesagt, schon wird das hergestellt mit dem Computer und allem. Und da ist dann da wird ein Stromkreis gebildet und das ist dann ja schon nochmal was anderes. Ob du einen Stromkreis bildest. #00:18:59# I: Wird hier nur ein Stromkreis gebildet und dann kommt da ein Herz raus, oder/ #00:19:12# K7: Wenn du es berührst, kommt da ein Stromkreis und dann kommt ein Geräusch und das wird dann noch über diesen ganzen Chips und so was weitergeleitet und dann noch da hin. #00:19:17#“ (K6K7 4, Absatz 145-147)
K8 SL	„K8: Also hier noch ganz viele andere Schalter. Man sieht hier unten auch so Fasern. #00:07:01#“ (K8K9 4, Absatz 60) „I: Verbunden. Und wie könnte das verbunden sein? #00:04:14# K9: Vielleicht/ #00:04:17# K8: Mit ganz kleinen, hauchdünnen Kabeln? #00:04:18#“ (K8K9 4, Absatz 36-38)
K9 SL	„K9: Das sind so kleine Fasern und die leiten das ja dann wahrscheinlich auch. Das ist ja auch hier überall verbunden mit den anderen Sachen. Also vielleicht leitet auch dieses Lämpchen irgendwas, als dieses Lämpchen an-gegangen ist, ist ja auch das hier angegangen. #00:07:06#“ (K8K9 4, Absatz 61) „K9: (...) Das wird das ja auch wieder durch diese Kabel geleitet. Ja und dann vielleicht geht das dann auch irgendwie in so einem Ding rein, keine Ahnung, in so einem/ #00:17:24#“ (K8K9 4, Absatz 142)
K10 SL	„I: Was könnten denn die Kabel damit zu tun haben? Weil du meinstest ja gerade schon irgendwie, dass es so ein bisschen ein längerer Weg dann. #00:12:31# K10: Ja, ja, schon. Ich glaub von man von hier, dann da drauf drückt dann vielleicht ist es so zu da und danach wird es zu ein Buchstabe und da das gleiche. #00:12:39# I: Wie kommt das denn? Wie kommt das denn hierhin? #00:12:53# K10: Also, dass das da kommt, glaube ich von hier, dann von da oder so und danach kommt es hierhin und. #00:12:55# I: Also von da, wo man draufdrückt, also hier von diesem goldenen Ring und dann von dem Kabel und dem goldenen Ring, der mit dem Kabel verbunden ist oder. #00:13:04# K10: Ja. #00:13:10#“ (K10K11 3, Absatz 116-121)
K11 SL	„K11: Vielleicht das hier mit diesen Platten, das irgendwie zu tun hat. Müs- te ja eigentlich, weil sonst wären sie ja einfach nur da. Das / Kann das sein, dass da von da irgendwie Strom raufgeleitet wird mich und dann hat das irgendwie einen Befehl das Ding einen Knopf anzeigt oder so was anzeigt. #00:04:38# I: Das musst du mir noch mal erklären. #00:05:00# K11: Also wenn von da, vom Knopf irgendwie hierauf es geleitet wird. #00:05:02# I: Was? Was meinst du hier genau? #00:05:10# K11: Halt wieder, dass da irgendwie Strom quasi losfährt. Auf eine Platte. #00:05:12#

A.1.2 Signalleitungen

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Sichtbares verweist auf Lei- tungen (SL)
	I: Auf eine Platte. Der geht dann auf eine Platte. Okay, wie so ein kleiner Zug, der dann anhält. Ja, ja. #00:05:17#“ (K10K11 3, Absatz 44-49)
K12 SL	„K12: Es muss ja gar nicht durch die Platten sein. Man sieht hier ja ganz dünne Striche auf dem Ding. Und ich schätze, dadurch leitet auch der Strom genau durch diese kleinen Rillen. #00:15:24#“ (K12K13 4, Absatz 116) „I: Gibt es denn so was wie so ein Kabel auch auf dem Calliope selbst? #00:15:48# K13: Ich habe bisher noch keins gesehen. #00:15:02# K12: Ich schätze, dass die Kabel sind in diesen Rillen drin. Oder/ Hier sind zwei Striche und da drin sind welche. Da sind drin sind dann schätze ich die Kabel. Aber hier/ #00:15:56#“ (K12K13 4, Absatz 119-121)
K13 SL	„I: Ja. Was passiert denn also in dem Calliope drin, wenn ich da jetzt irgend- wie die Knete drücke und hier den goldenen Ring? Und mir wird ja dann ein Ton/ Es wird ein Ton gespielt und der zeigt mir hier auch den Tonleiter, nennt sich das, also den Buchstaben, welche Note das ist an. Was passiert denn hier drin? #00:12:22# K13: Also, dadurch, dass du halt hier was rangestöpselt hast, dann leitet das halt den Strom. Und dann passiert irgendwas hier in den Knöpfen. #00:12:40#“ (K12K13 4, Absatz 98-99) „K13: Ich schätze, der Strom wird von da nach da geleitet und dann durch den Körper auch wieder dahin. Das heißt, da wird ein Platten dahin, weil die gehen einmal rund um. Sieht vielleicht das wie so wie so ein unsichtbarer Sender Prinzip halt. #00:14:46# I: Was meinst du damit? #00:15:05# K13: Also wie der Fernsehturm halt. Also, der schickt ein Signal an diese Seite. Das funktioniert durch den Strom. Er leitet es halt durch. #00:15:11#“ (K12K13 4, Absatz 113-115) „K13: Ja, also so Mittelding. Also ein Signal ist für mich: Du sollst jetzt das Licht anschalten. Also jetzt in der Platte. Und Strom ist für mich, dass das Licht überhaupt angeht. #00:09:07#“ (K12K13 4, Absatz 78)
K14 SL	„I: Okay, also kaputt geht es nicht, aber passiert nix. Was glaubt ihr denn, passiert hier auf dem Calliope Mini zwischen Ich drücke den Knopf und es wird hier ein Bild angezeigt? #00:04:00# K14: Der Strom leitet sich darüber und dann gehen die Lämpchen an, wie beim Handy. Wenn du jemand anruft, dann geht dieser Schall zum Beispiel durch ganz viele Kabel und so zum Fernsehturm/ #00:04:17#“ (K14K15 3, Absatz 27-28) „I: Und was passiert hier zwischen/ Weil jetzt gerade/ Ich halte ja es ist ja nicht so wie so ein Knopf drücken, ich halte nur dagegen und warte jetzt was passiert zwischen ich fasse das hier an und da kommt ein Ton raus und ein Buchstabe? #00:12:56# K14: Zwischen den Kabel ist ein Seil, Schnur und so und Strom und der Strom geht dann irgendwie dahin und dann kann man, bis er kommt ein Geräusch. #00:13:11#“ (K14K15 3, Absatz 71-72)
K15 SL	„K15: Irgendwie so durch unter unsichtbare Fäden, weil die Handys sind ja meistens mit anderem Strom verbunden und dann geht's dahin, wo du es

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Sichtbares verweist auf Lei- tungen (SL)
	schicken willst und das dann halt mega schnell. #00:04:37#“ (K14K15 3, Absatz 29) „K15: Also es könnte auch sein, dass es von diesem Knopf aus ganz ganz viele von solchen (...) äh. #00:06:33# I: Ich zeig euch das gleich noch. Aber erkläre weiter. Von diesem Knopf aus. #00:06:47# K15: Ja, weil dann kommt das ist ja etwas dicker und da können ganz, ganz dünne, ganz dünne Stromfäden zu diesen Dingen geführt werden. Und dann gehen die aus, die vorher waren, weil der Strom aus dem Knopf zu dem Knopf geleitet wird. Und dann wird von dem Knopf der Strom zu den Lämpchen geladen, aber nicht zu den Lämpchen, die vorher waren, sondern zu den Lämpchen, die jetzt da sind. #00:06:54# “ (K14K15 3, Absatz 39-41) „K15: Da, da. Ich hab hier gerade so gemacht und wenn man die ganze Zeit so macht (Finger bleiben auf Pins), könnte es sein, dass dein Strom immer weiter und weiter oder dass das mit dem verbunden ist. Und dann kann man auch auf die Knete drücken und das wird trotzdem von hier direkt hier reingeleitet. #00:15:34# I: Ja und was passiert denn hier, wenn man es hier reingeleitet hat? Was kommt dann? #00:15:53# K15: Also hier kommt dann der Strom irgendwie rein, weil hier ist ja so ein kleines Loch. Ja, und wenn man da raus und wenn man da drauf drückt könnte, könnte das kurz wärmer werden oder der Strom zieht da kurz durch und dann wird der Strom hier in dieses Goldene geleitet. Dann und dann wird da gehen davon zum Beispiel die Sachen ab. Weil ich kann das ja mal versuchen zu tauschen und wenn und wenn ich, und wenn das getauscht ist, trotzdem da dieselben Laute macht, dann dann könnte es sein, dass es nicht am Kabel liegt, sondern an den Fäden, die dahin führen. #00:15:56#“ (K14K15 3, Absatz 87-89) „K15: Das liegt nicht an den Kabeln, sondern am Stern. Weil die Fäden von denen von dem Stern gehen ja, auch hier rein, für den Lämpchen. Und es könnte auch eins zu irgendjemandem von diesen Plättchen, die da draufgelegt wurden oder draufgeklebt worden führen. Und dadurch kommt das Geräusch. #00:17:04#“ (K14K15 3, Absatz 92-93) „K15: Dann werden sie hier durchgeleitet. Irgendwie mit Strom oder mit Kabeln, also mit kleinen Dingen. Auf der Rückseite ist sehr glatt einem halt unter diesem Mini Ding und dann sind da halt auf der Rückseite noch so kleine Dinger und da geht es halt durch. #00:25:28# I: Also es geht hier dann irgendwo durch und was macht das dann? Wo gehen die Informationen dann hin? #00:25:46# K14: Die Infos drauf und dann kann man das ja sehen. #00:25:51# K15: Ich glaube das sind so wieder diese Kabel, die da drin sind und die Lichtpunkte anzeigen. Aber dieses Mal sind die Kabel überall und je nachdem welche Informationen hier aus diesen Dingen rausgeleitet wird, je nachdem, diese Zahlen kommen da, weil das muss ja auch ganz schnell funktionieren und das klappt ja auch nur wer dieses Kabel nicht ran, dann würde das ja nie klappen. Und deshalb ging es auch nicht einfach nur das Ranmachen. #00:25:55#“ (K14K15 3, Absatz 153-156)

A.1.2 Signalleitungen

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Weiterleiten von Signalen (WS) Erklären von Signalen als Befehle bzw. Daten (WSB)
K4 WS	„K4: (...) Es werden wieder verschiedene Lämpchen angemacht und dann entstehen die Buchstaben. #00:12:51# I: Und wie passiert das? #00:12:59# K4: Ich glaube, die Knete leitet. Vielleicht leitet die Knete ja unsere Berührungen hier lang und dann drückt sie jemand. Und das ist ja auch so ein Ding. Und dann wird hier einfach das Signal gegeben, dass das gemacht, also dass die Lampen angehen sollen. #00:13:01#“ (K4K5 4, Absatz 83-85) „K5: Da wahrscheinlich. Da sind ja wahrscheinlich so Knöpfe da drunter. Und dann drückst du einfach die Knöpfe. Und dann wird das da so an und hier wird richtig. Und hier wird das hier oder da rein. #00:14:11# K4: Und hier muss das Signal erstmal hier lang und dann da rein. #00:14:17#“ (K4K5 4, Absatz 94-95)
K7 WS	„K7: Ja, wahrscheinlich. Das ist so ein Minicomputer, der das Ganze berechnen kann. Und dann kommt das da halt rein, fließt da über diese Leitbahnen, die wir schon hatten. Und dann kommt es da rein und der das alles in Sekundenschnelle und der berechnet das ganz, ganz schnell, wie das der gibt es dann schon irgendwie so eine Formel und die hat den eingespeichert und dann guckt er, wie passt das zu dieser Formel? Und dann kann er halt da, dann geht von da weiter. Wenn das gefunden hat, kommt da wieder was über die Leiterbahnen bis dahin und dann zeigt er da die, dann kommt es vielleicht dahin zu einem von denen und die sagen dann, je nachdem wo/ Wie die Zahl ist, kommt es zu dem und dann sagt der okay, das ist die, dann schickt er die Signale wieder dazu. #00:16:05#“ (K6K7 4, Absatz 130)
K12 WS	„K12: Ich schätze, dann kommen Stromsignale dadurch zu den Lämpchen von/Hier, von den Batterien bis zu den Knöpfen. Von den Knöpfen dann, wenn man es drückt, ist da auch wieder halt der Schalter, der es dann an die Lämpchen gibt. #00:08:34#“ (K12K13 4, Absatz 68-69) „K12: Also die Knöpfe geben das Signal, was die Lämpchen machen sollen. #00:07:26#“ (K12K13 4, Absatz 63) „K12: Unter/ Also mit dem Strom kann man auch Signale geben. #00:09:04#“ (K12K13 4, Absatz 77) „I: Ist es denn nur der Strom, der da geleitet wird, oder was wird da noch geleitet? #00:15:36# K12: Vielleicht insgesamt auch andere Signale oder so gleich oder Lichter oder so? Da gibt es vieles. Ja. #00:15:41#“ (K12K13 4, Absatz 117-118)
K13 WS	„I: Also was wird denn weitergeleitet an einen? #00:08:53# K13: Ein Signal. #00:08:54# K12: Der Strom. #00:08:55# K13: Also der Strom und das Signal. #00:08:56# K12: Der Strom leitet das Signal quasi. #00:08:59#“ (K12K13 4, Absatz 70-74)

Anhang 1: Codesystem und Ergebnisräume

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Erklären von Signalen als Befehle bzw. Daten (WSB)
K6 WSB	„I: Okay, und wie wird der Befehl, wie könnte denn der Befehl aussehen? #00:03:17# K6: Das ist irgendwie hier in so einer Leitung ist beim Strom und dann, wenn man den Knopf drückt, wird die kurz unterbrochen. #00:03:22#“ (K6K7 4, Absatz 22-23)
K7 WSB	„K7: Ja, wahrscheinlich. Das ist so ein Minicomputer, der das Ganze berechnen kann. Und dann kommt das da halt rein, fließt da über diese Leitbahnen, die wir schon hatten. Und dann kommt es da rein und der das alles in Sekundenschnelle und der berechnet das ganz, ganz schnell, wie das der gibt es dann schon irgendwie so eine Formel und die hat den eingespeichert und dann guckt er, wie passt das zu dieser Formel? Und dann kann er halt da, dann geht von da weiter. Wenn das gefunden hat, kommt da wieder was über die Leiterbahnen bis dahin und dann zeigt er da die, dann kommt es vielleicht dahin zu einem von denen und die sagen dann, je nachdem wo/ Wie die Zahl ist, kommt es zu dem und dann sagt der okay, das ist die, dann schickt er die Signale wieder dazu. #00:16:05#“ (K6K7 4, Absatz 130)
K9 WSB	„K9: Ein Signal oder so was wie. Also, dass das Licht angeht, ein Signal Du musst jetzt diese Lampen anmachen und du hast das ja auch programmiert, dass du jetzt hier zum Beispiel dein Herz ist. Dann ist da so ein Smiley, also hast du das nicht ohne Grund gemacht. #00:05:31#“ (K8K9 4, Absatz 52)
K11 WSB	„I: Auf eine Platte. Der geht dann auf eine Platte. Okay, wie so ein kleiner Zug, der dann anhält. Ja, ja. #00:05:17# K11: Und dann geht man da raus. Ja, da hat man irgendwie ein Befehl. Dass quasi die Lichter die Passagiere sind. Dann haben die irgendwie ein Befehl, dass die an irgendeine Stelle müssen, dann wird das halt so angezeigt. Dann gibt es ein Muster. #00:05:22# I: Okay, und dann geht das dann also an irgendeiner Stelle, dann hier bei an irgendein Lämpchen oder irgendwo anders auch noch hin. #00:05:39# K10: Ich glaub, irgendwo ein Lämpchen, so was vielleicht. #00:05:48# K11: Nee, ich glaub, das kommt dann da einfach hin. Kann man es ausschalten. Dann gehen die quasi wieder zurück, dann kann man es wieder anschalten. #00:05:51#“ (K10K11 3, Absatz 49-53)
K12 WSB	„K12: Dann kommt das Signal. Hey, Lampe, du sollst jetzt angehen, oder du sollst ausgehen. Ich glaube, es ist nicht/ Ja, er kommt jetzt/ Es ist nicht der Befehl Smiley, sondern es ist der Befehl für jede einzelne Lampe an oder aus. In der Computersprache oder so als I oder O oder was weiß ich was das für Zeichen sein. Kreis oder Strich oder so, an oder aus. #00:07:37#“ (K12K13 4, Absatz 65)
Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Weiterleiten von Signalen mittels Stromimpulsen (WSS)
K6 WSS	„I: Okay, und wie wird der Befehl, wie könnte denn der Befehl aussehen? #00:03:17# K6: Das ist irgendwie hier in so einer Leitung ist beim Strom und dann, wenn man den Knopf drückt, wird die kurz unterbrochen. #00:03:22#“ (K6K7 4, Absatz 22-23)

A.1.2 Signalleitungen

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Weiterleiten von Signalen mittels Stromimpulsen (WSS)
K7 WSS	„I: Und was wird da denn irgendwie? Also irgendwas passiert ja auch in diesem Kabel drin. Was kann denn in diesem Kabel drin passieren? #00:10:32# K6: Ich glaub, da ist Strom. Also ich lass dich mal kurz reden. #00:10:40# K7: Da ist wahrscheinlich. Da fließt Strom durch. Und das sind dann wieder diese elektrischen Impulse, die auch da waren und überall. #00:10:44#“ (K6K7 4, Absatz 77-79)
K8 WSS	„I: Mhm. Ja, Also wie beispielsweise bei dem hier Kabel ist es. Dann gibt es so was wie das Kabel dann auch hier drauf? #00:04:22# K8: Ja? Oder mit so kleinen Stromschlägen. #00:04:28# K9: Könnte sein. #00:04:29# I: So mit drei/ Also mit kleinen Stromschlägen. Okay. Das heißt, wenn ich hier jetzt auf einen Knopf drücke, kommen da irgendwelche Stromschläge und dann passiert was? #00:04:35# K9: Dann verändert der so, wenn er jetzt hier drauf drückt, kommt das Smiley hier drauf. #00:04:44# K8: Vielleicht ist das dann genau in dieser Reihe sehen die merken die hier muss jetzt einen Stromschlag, dann hier muss jetzt einen Stromschlag. #00:04:50# I: Und Stromschlag ist für dich dann das eine LED angeht? Ja. Okay. Ähm. Also was passiert denn wirklich, wenn ich auf den Knopf drücke, so dass dann hier auf den kleinen Lämpchen was angezeigt wird? #00:04:56# K8: Es verschwinden ein paar LED und es kommen welche dazu. #00:05:15#“ (K8K9 4, Absatz 39-46)
K12 WSS	„K12: Nein. Ich meine, dass ein Knopf an jede einzelne Lämpchen ein Signal gibt, ob es an oder aus sein soll. Das ist dann halt vorprogrammiert. Wann/ Wenn wenn der Knopf gedrückt wird, dass dann an das Lämpchen an und aus gesagt wird. #00:08:08# I: Was passiert denn, wenn ich jetzt in dem Calliope selber, wenn ich jetzt einen Knopf drücke? #00:08:29# K12: Ich schätze, dann kommen Stromsignale dadurch zu den Lämpchen von/Hier, von den Batterien bis zu den Knöpfen. Von den Knöpfen dann, wenn man es drückt, ist da auch wieder halt der Schalter, der es dann an die Lämpchen gibt. #00:08:34#“ (K12K13 4, Absatz 67-69) „I: Und was wird da denn irgendwie? Also irgendwas passiert ja auch in diesem Kabel drin. Was kann denn in diesem Kabel drin passieren? #00:10:32# K6: Ich glaub, da ist Strom. Also ich lass dich mal kurz reden. #00:10:40# K7: Da ist wahrscheinlich. Da fließt Strom durch. Und das sind dann wieder diese elektrischen Impulse, die auch da waren und überall. #00:10:44#“ (K6K7 4, Absatz 77-79)
Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Stromimpulse werden mittels einer Dualität beschrieben (WSD)
K6 WSD	„I: Okay, und wie wird der Befehl, wie könnte denn der Befehl aussehen? #00:03:17# K6: Das ist irgendwie hier in so einer Leitung ist beim Strom und dann, wenn man den Knopf drückt, wird die kurz unterbrochen. #00:03:22#“ (K6K7 4, Absatz 22-23)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Stromimpulse werden mittels einer Dualität beschrieben (WSD)
	„K6: Vielleicht haben die irgendwie unterschiedlichen Strom und der merkt, welchen Strom ankommt. Vielleicht irgendwie plus minus. Und dann gibt es da verschiedene Programmierungen und das zu den verschiedenen fließt und dann jeweils was anderes da rein fließt. #00:05:50#“ (K6K7 4, Absatz 46)
K12 WSD	„K12: Dann kommt das Signal. Hey, Lampe, du sollst jetzt angehen, oder du sollst ausgehen. Ich glaube, es ist nicht/ Ja, er kommt jetzt/ Es ist nicht der Befehl Smiley, sondern es ist der Befehl für jede einzelne Lampe an oder aus. In der Computersprache oder so als I oder O oder was weiß ich was das für Zeichen sein. Kreis oder Strich oder so, an oder aus. #00:07:37#“ (K12K13 4, Absatz 67)

A.1.3 Analoge und digitale Signale

Beispielformulierungen für Ergebnisraum	Ergebnisraum
1. (Zwischen dem Knopf und den Pins liegt der Unterschied, dass bei Pins zwei Knöpfe gedrückt werden.) 2. Zwischen dem Bewegungssensor und dem Knopf liegt der Unterschied, dass bei dem Sensor die Zahlen auf der LED-Matrix variieren. 3. Der Sensor nimmt etwas wahr, während der Knopf ein Kontakt herstellt.	1. Ein- und Ausgabezusammenhang + Strecke (EAZ+S) 2. Differenzierung der Ausgabe (DA) 3. Differenzierung der Funktion (DF)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Ein- und Ausgabezusammenhang + Strecke (EAZ+S)
K2 EAZ	„K2: Und weil ich glaube, dass wenn hier Strom durchkommt. Und dass das dann auch hier vorbeigeht und der Knopf kontrolliert das halt. Aber wenn man auf den Knopf drückt, geht ja kein Strom da rein. Und deshalb zeigt er dann etwas anderes an. #00:11:32# I: Ah, also wenn ich jetzt hier so eine Taste drücke wie bei einem Klavier, dann geht da irgendwie Strom durch, weil der Mensch irgendwie Strom leitet. Und wenn wir einen Knopf drücken, funktioniert das ganz ohne Strom. #00:11:46#“ (K2K3 3, Absatz 83-84)
K3 EAZ	„I: Also das Teil da oben, das, was ich da reingesteckt habe, macht das. Okay. Ja. Was glaubst du? Warum kann ich/ Muss ich den hier anfassen, damit der was verändert? Und hier kann ich einfach nur was davorhalten. Ich musste ja nicht anfassen. Da verändert sich was. Hast du eine Idee, wie das sein könnte? #00:20:31# K3: Weil da vielleicht was dran gesteckt wurde und da nicht? #00:20:46# I: Und ist denn das hier was anderes als ein Knopf? #00:20:51# K3: Ja. #00:20:54# I: Weißt du, oder hast du eine Idee, wo da der Unterschied ist? #00:21:56# K3: (...) Ich weiß nicht. #00:21:56#“ (K2K3 3, Absatz 149-154)

A.1.3 Analoge und digitale Signale

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Ein- und Ausgabezusammenhang + Strecke (EAZ+S)
K4 EAZ	„I: Ist denn das dasselbe für euch, wie wenn ich einen Knopf drücke? Also ist das hier (Ton) dasselbe wie das (Knopf)? #00:13:53# K4: Nein, hier musst du ja zwei Sachen gleichzeitig drücken. #00:14:01# I: Okay. Und hier nicht. #00:14:03# K4 & K5: Nein. #00:14:07#“ (K4K5 4, Absatz 89-92) „I: Findet ihr/ Also findet ihr, dass das Knopfdrücken genauso ist wie hier etwas davorhalten oder ist das was anderes? #00:23:53# K5: Ich glaube, das ist was anderes, weil beim Knopfdrücken haben wir ja gedacht, dass eben darunter wieder Knöpfchen gedrückt werden. Und wie sollen da die Knöpfe/ #00:24:03# K4: Hier muss man ja was berühren und hier muss man, kann man auch einfach nur was davorhalten. #00:24:13#“ (K4K5 4, Absatz 166-168)
K4 EAZS	„K4: Und hier muss das Signal erstmal hier lang und dann da rein. #00:14:17# I: Ist das denn ein anderes Signal als beim Knopf drücken? #00:14:22# K4: Ja, glaube ich. Also es ist ja, das ist schwierig, weil also hier wird das einmal geleitet dadurch und da rein und hier ist das halt direkt da. #00:14:25#“ (K4K5 4, Absatz 95-97)
K5 EAZ	„I: Okay, also hier (Ton) ist für euch jetzt nicht unbedingt, also ist schon irgendwie, weil hier muss das über ein Kabel geleitet werden, aber ist das ansonsten gleich oder ist das anders? #00:14:34# K5: Ist eigentlich relativ gleich/ #00:14:46# K4: Ja, weil hier es werden ja bei beiden Sachen die Lampen entfacht und ja/ #00:14:48# K5: Es ist der Strom und es hat beides so einen Auftrag wie wieder die wie so ein Muster oder einen Buchstaben zu ergeben. #00:14:52#“ (K4K5 4, Absatz 98-101)
K8 EAZ	„I: Ich frage noch mal nach. Könnt ihr mir noch mal erklären, warum das für euch was Unterschiedliches ist? #00:16:35# K9: Hier muss ich eindrücken. Ja, also Kraft aufwenden. #00:16:31# K8: Und hier kann man einfach drauflegen. Hier drauf. #00:16:32# K9: Hier auch. Hier kann man halt auch einfach drauflegen. Müssen keine Kraft erzeugen. #00:16:38# K8: Und hier wird das mit Fingerabdrücken gemacht, dass man den Fingerabdruck guckt. Und hier ist es eigentlich egal, wer drauf drückt. #00:16:41#“ (K8K9 4, Absatz 133-137)
K9 EAZ	„I: Also ist es für euch was anderes, weil da was anderes bei rauskommt? Ja und? Aber wenn ihr wirklich nur vergleicht. Ich drücke hier auf den Knopf und ich drücke hier. #00:15:55# K9: Ich finde aber hier und hier. Hier musst du richtig runter drücken. Ja, und hier kannst du den Finger auch leicht drauflegen. Ist das was anderes/ Da muss ich halt ein bisschen Kraft anwenden. Hier kann ich einfach auch meinen Finger drauflegen, dann wird das auch so funktionieren. #00:16:06#“ (K8K9 4, Absatz 129-130) „I: Ist es denn für euch? Denkt ihr, in dem Calliope selber passiert was anderes? #00:16:49#

Anhang 1: Codesystem und Ergebnisräume

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Ein- und Ausgabezusammenhang + Strecke (EAZ+S)
	K8: Nein, das nicht. Es ist hier das Gleiche, wie wenn ich den Knopf drücken würde. #00:16:56# K9: Aber für uns Menschen ist es dann halt was anderes, als wenn wir jetzt hier zum Beispiel drauflegen oder drücken. Ist das was anderes für uns und für den ist das quasi das Gleiche. #00:17:02#“ (K8K9 4, Absatz 138-140)
K10 EAZ	„I: Ist das für euch dasselbe, wie wenn ich einen Knopf drücke? Also beim Knopf haben wir ja gerade schon gesagt, da fährt irgendwie was zu einer Platte und dann irgendwas zu den Lämpchen. #00:11:11# K11: Ne. Das ist nicht das Gleiche, glaube ich. #00:11:21# I: Warum? #00:11:23# K10: Da steht U, glaube ich. #00:11:24# K11: Ne, ist ein Smiley? #00:11:26# I: Warum ist das nicht dasselbe? #00:11:28# K11: Wohl weil, wenn man halt die/ Wieso mich irgendwie was drückt/ Ja, da muss eine auf was drücken. Aber das ist halt ein viel längerer Prozess bei Musik. Ich glaube, das ist doch wahrscheinlich auch schwieriger zu merken. Computer. #00:11:31#“ (K10K11 3, Absatz 101-107)
K11 EAZ	„I: Warum ist das nicht dasselbe? #00:11:28# K11: Wohl weil, wenn man halt die/ Wieso mich irgendwie was drückt/ Ja, da muss eine auf was drücken. Aber das ist halt ein viel längerer Prozess bei Musik. Ich glaube, das ist doch wahrscheinlich auch schwieriger zu merken. Computer. #00:11:31# I: Also was muss der denn da merken? Was muss der denn? #00:11:52# K11: Längeren halt Noten. Das hat einen längeren Prozess. #00:11:56# I: Wegen dem Kabel? Weil du so auf das Kabel zeigst? Okay. #00:11:59# K11: Und das hier, das sind ja gespeicherte Dinge, auch die Musik. Aber es gibt nicht so viel davon. #00:12:05# I: Du meinst, gerade das sind gespeicherte Dinge? Aber was ist denn? Was wird da denn gespeichert? #00:12:12# K11: Halt Verschiedenes. Wie Musik, um dann was zu kommunizieren. Mhm. #00:12:17#“ (K10K11 3, Absatz 106-113)
K12 EAZ	„I: Ist es für euch dasselbe, wenn ich so mache? So, Wenn ich so mache, wie wenn ich den Knopf drücke? #00:16:33# K12: Nee. #00:16:39# I: Warum nicht? #00:16:40# K13: Weil hier musst du zwei Sachen machen. Oder auch hier. Und hier machst du einfach/ Also, du machst/ Nimmst einen Knopf. Zum Beispiel jetzt den hier und es ist sofort da. Ja, bei dem hier muss es halt erst geleitet werden. #00:16:41# I: Ist das jetzt/ Braucht das länger, weil da ein Kabel angeschlossen ist oder weil. #00:16:59# K12: Weil es halt einmal hier durch das Kabel und durch den Körper durchgehen muss. #00:17:04# I: (...) Es ist jetzt dasselbe für euch? #00:17:13# K13: Wir haben, wir haben ich glaube diese kleinen Mini Rillen vergessen. #00:17:14#

A.1.3 Analoge und digitale Signale

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Ein- und Ausgabezusammenhang + Strecke (EAZ+S)
	K12: Also ja doch. Also es ist schon ähnlich. Ich schätze auch hier wird ein Stromkreis geschlossen, mit dem Knopf. So wie so auch. #00:17:24#“ (K12K13 4, Absatz 128-136)
K14 EAZ	„K14: Hm, eigentlich. Also, wenn du dieses Kabel hier verfolgst, dann geht das ja nach da und da da drauf tippst. Das ist hier geht ja auch viel schneller als das. Das ist ja gleich. Aber ich finde das, also wenn da die Buchstaben stehen, dann ist es ja irgendwie anders, als wenn man da auf den Knopf drückt. #00:17:45# I: Okay, warum ist das für dich anders? #00:18:08# K14: Na, weil wenn man auf den roten Knopf drückt, passiert ja der Smiley und hier das Herz. Aber wenn man jetzt hier drauf drückt, dann kommt ja ein Buchstabe. #00:18:11#“ (K14K15 3, Absatz 97-99)
K14 K15 EAZS	„I: Ungefähr so. Okay. Ist denn das hier, wenn ich das mache (Ton) das- selbe für euch, wenn ich einen Knopf drücke. Oder ist das was anderes? #00:14:32# K14 & K15: Das ist was anderes. #00:14:41# I: Warum? #00:14:43# K14: Weil da drückst du ja auf zwei verschiedene, da nur auf den Knopf und der Knopf ist näher da dran. Und bei den Seilen ist ja auch noch. Also bei diesen Schnüren ist ja noch so, bei diesen Kabeln ist ja das dazwischen und das ist ja länger. Ja, aber das ist nicht das Gleiche, würd ich sagen. #00:14:43# I: Okay, das ist also für euch ist das nicht das gleiche. Okay, weil. Weil ja hier so ein bisschen einen längeren Weg zurücklegt. Ja, okay. Ist das für dich auch so? #00:14:59# K15: Also wenn man hier drauf drückt und dann hier, dann kommt das, dann kommt das Geräusch ja sofort. Ja, und deshalb auch wenn man hier drauf drückt, deshalb kommt dann das Geräusch auf und dann ist viel näher dran. Dann kommt das richtig schnell und dann erscheint dieser Buchsta- ben. #00:15:08#“ (K14K15 3, Absatz 80-85)
K15 EAZ	„I: Ist denn für euch jetzt, dass das Ding hier, weil das ist ja, das macht ja auch irgendwas wie so ein Knopf hier. Ist das für euch dasselbe wie ein Knopf oder ist das was anderes was anderes? #00:26:24# K14 & K15: Das ist was anderes. #00:26:33# K14: Weil wenn man auf den Knopf drückt, ist es ja einfach auf den Knopf drücken und man das macht. Kann man ja so machen auf den Knopf drü- cken. Einfach einmal oder mehrfach mal außen vor, aber es würde jetzt nichts ändern und hier kann man die Hand frei bewegen und man sieht das auch. #00:26:34# I: Ja, und ich fasse den ja gar nicht an, wie kann das denn sein? Also wir, wenn wir hier was davorhalten, dann fassen wir ihn ja nicht an, weil wenn wir hier einen Knopf drücken, dann fassen wir den an. Wie kann das denn sein, dass der überhaupt was macht? #00:26:51# K14: Vielleicht spürt er, dass über dir etwas ist. Also er bemerkt, dass über dir etwas ist. Ja, und dass er/ dass dann ja, er merkte, dass über dir etwas ist. Und hier bemerkt er, dass über dir noch was ist. Das ist ja immer irgendetwas über dir da drin. #00:27:02# K15: Da drin könnten ja auch Informationen da drin könnten ja auch Mini- kameras sein und die merken den Abstand, weil die so ein unsichtbares

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Ein- und Ausgabezusammenhang + Strecke (EAZ+S)
	Maß dann ziehen. Und so unsichtbare Maß ist dann so hoch bis zur Hand und dann und dann schaut die Kamera auf das unsichtbare Maß und dann weiß die und dann weiß der Stern, wie weit es weg ist. Und die Zahl wird immer, immer wiederholt, immer wiederholt, bis man was anderes darüber hält. #00:27:22#“ (K14K15 3, Absatz 157-162)
Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Differenzierung der Ausgabe (DA), Differenzierung der Funktion (DF)
K2 DA	„I: Okay. Ist das denn für euch dasselbe, wie wenn ihr bei dem anderen Calliope den Knopf gedrückt habt? (...) #00:15:42# K2: Ist so nicht so! #00:15:52# I: Ist nicht so. Hast du vielleicht einen/ Oder kannst du beschreiben, wo so ein bisschen der Unterschied da drin lag? #00:15:53# K2: Zwischen den Knopf mit dem Ding hier. #00:16:59# I: Jetzt wegen dem Knopf. Und ja, den hier. #00:16:03# K2: Dass man beim Knopf drauf gedrückt hat und er was angezeigt hat. Zum Beispiel jetzt ein Smiley. Und hier zeigt jetzt die Entfernung an. #00:16:07# I: Also der zeigt was anderes an! Denkst du denn, weil der was anderes anzeigt, dass in dem Calliope selber was anderes passiert? Eine Idee? #00:16:19# K2: Mhm. Ich glaube, der kann einfach beides. #00:16:29#“ (K2K3 3, Absatz 112-119)
K3 DA	„I: Ja. Okay. Cool. (...) Ist für euch, das hier, wenn ich so mache (Ton), dasselbe wie wenn ich einen Knopf drücke? Oder ist das was anderes? #00:11:04# K2 & K3: Irgendwie was anderes. #00:11:19# I: Und warum? Was glaubt ihr, was ist vielleicht anders? #00:11:22# K3: Weil da keine Töne kommen. #00:11:25#“ (K2K3 3, Absatz 79-82)
K4 DA	„I: Okay, also hier (Ton) ist für euch jetzt nicht unbedingt, also ist schon irgendwie, weil hier muss das über ein Kabel geleitet werden, aber ist das ansonsten gleich oder ist das anders? #00:14:34# K5: Ist eigentlich relativ gleich/ #00:14:46# K4: Ja, weil hier es werden ja bei beiden Sachen die Lampen entfacht und ja/ #00:14:48#“ (K4K5 4, Absatz 98-100)
K8 DA	„I: K8, Ist das für dich auch so, oder ist das für dich/ #00:29:33# K8: Also für mich das gleiche da, wenn du gewichtig bist, kannst du dich ja auch irgendwie ausruhen, wenn das Gewicht oben oder unten ist. Ja, man muss die ganzen Touren runter. Und ja, wenn man da einmal wo drauf tut, kann dir das Gewicht unten lassen. Mhm. Okay. Das hier muss er die ganze Zeit Gewichte stemmen. #00:29:36#“ (K8K9 4, Absatz 223-224)
K9 DA	„I: Ähm, ist denn. Also ist für euch dieses Teil, was ich hier an den Calliope angeschlossen habe, dass das ungefähr dasselbe wie so ein Knopf? #00:27:40# K8: Na ja, nein, das hier ist eher mit Zentimeter. #00:27:53# K9: Das ist mit Drücken. Und hier ist halt einfach nur Hand hochhalten. Man braucht für beides Kraft. Aber ich. Das ist nicht das Gleiche. Er reagiert ja nicht auf die Knöpfe. Und er lässt Halt/ Aber er ist halt auch. Der ist halt

A.1.3 Analoge und digitale Signale

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Differenzierung der Ausgabe (DA), Differenzierung der Funktion (DF)
	auch die ganze Zeit in Arbeit, weil die ganze Zeit kommen diese Zahlen irgendwie. Und wenn gar nichts davor ist. #00:27:59# I: Arbeitet der denn mehr als der? #00:28:18# K9: Ja. #00:28:29# I: Warum? #00:28:21# K8: Der arbeitet nur, wenn ihm ein Signal gegeben wird. #00:28:24# K9: Also zum Beispiel wenn/ Darf ich ihn noch mal anstellen? Wenn wir jetzt zum Beispiel den anstellen. Ach, so bist du also doch/ Ja, Hallo. Und dann kann man halt auf den Knopf drücken. Dann passiert halt erst was. Als wenn mir jemand auf den Knopf drückt und zum Beispiel auf den anderen. Erst, wenn man was bedient und der lässt es dann stehen. Aber er muss/ Dann kann ich halt dann wieder runterfahren und muss nur diese Lampen. Als wenn jetzt irgendjemand hier unten drin ist. Mit ganz vielen Händen und Armen. Wenn der das dann so drückt und dann schlafen kann. Also er ruht sich ja dann quasi dabei aus und der lässt ja die ganze Zeit so laufen, dass der muss die ja dann so weiterführen. Ja. #00:28:26# I: Aber wenn ich zum Beispiel jetzt hier ja was davor halte, in einem nahen Abstand, dann zeigt er ja auch nur die ganze Zeit eine Sache an, oder? #00:28:59# K9: Ja, da ist es vielleicht das gleiche wie hier, aber trotzdem, wenn das jetzt nicht die ganze Zeit davor wäre, also wenn wir jetzt die ganze Zeit hier was irgendwie was vorhätten, dann wäre halt auch nicht so doll viel Arbeit. Mhm. Es ist fünf. #00:29:08#“ (K8K9 4, Absatz 210-219)
K12 K13 DA	„I: Nee, es geht nicht. Ja, Cool. Dann noch mal zurück zu dem Calliope. Warum kann der denn darauf reagieren, dass ich hier überhaupt was davor halte? Weil ich fasse den ja nicht an. Also den hier, den wenn wir den anmachen, den fasse ich ja an und ich drücke den Knopf und dann passiert da was, nachdem man mir Hallo gesagt hat. Aber und hier fasse ich den ja gar nicht an. #00:27:17# K13: Ich glaube, das hat bei dem hier jetzt mit den coolen Lautsprechern, was so aussieht. Aber es hat halt was, wie K12 schon gesagt hat, mit dem Inneren zu tun. Ist glaube ich irgendsoein Messgerät glaube ich. #00:27:43# K12: Ja, ich schätze, ich hier, hier, hier, hier zeigt da glaube ich nur am was da gemessen wird, während hier selbst drauf gar nichts passieren kann. Jetzt, während das so/ #00:27:51# I: Also da passiert auf dem nichts drauf, also wird da denn/ #00:28:08# K12: Da wird nur angezeigt, was der da misst und. #00:28:10# I: Und bei dem wenn ich hier den Knopf drücke, also ist das Knopf drücken und das die davor halten, ist das für euch das gleiche oder was unterschiedliches? #00:28:14# K12: Was unterschiedliches. #00:28:19# I: Was unterschiedliches und warum? Also wo liegt der Unterschied? Kannst du das vielleicht oder hast du eine Idee? #00:28:21# K12: Für mich ist es so, wenn man hier einen Knopf drückt, dann ist schon komplett fest. Dann musst du das und das machen, während man hier ist, das/ #00:28:28# K13: Während du da halt variieren kannst, wenn du hier bist, bist du ja, wenn du hier bist, macht der das auch oder wenn du hier bist, auch unterschiedlich. Halt. #00:28:40#“ (K12K13 4, Absatz 227-236)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Differenzierung der Ausgabe (DA), Differenzierung der Funktion (DF)
K14 DA	„K14: Hm, eigentlich. Also, wenn du dieses Kabel hier verfolgst, dann geht das ja nach da und da da drauf tippst. Das ist hier geht ja auch viel schneller als das. Das ist ja gleich. Aber ich finde das, also wenn da die Buchstaben stehen, dann ist es ja irgendwie anders, als wenn man da auf den Knopf drückt. #00:17:45# I: Okay, warum ist das für dich anders? #00:18:08# K14: Na, weil wenn man auf den roten Knopf drückt, passiert ja der Smiley und hier das Herz. Aber wenn man jetzt hier drauf drückt, dann kommt ja ein Buchstabe. #00:18:11#“ (K14K15 3, Absatz 97-99)
K7 DF	„I: Okay, das klingt auf jeden Fall spannend. Ist denn für euch dieser, also dieser, das hier, wo ich was da vorhalten kann, genau dasselbe, wie wenn ich den hier noch mal anmache, wie irgendwie so einen Knopf drücken? #00:17:07# K7: Ne, weil das ist ja eine Aktivierung. Sag ich jetzt mal und das ist ein Sensor. Das sind verschiedene Sachen. Der Sensor nimmt das wahr und eine Aktivierung führt nur ein Befehl aus. Oder er aktiviert einen Befehl. #00:17:19# K6: Ja, aber durch den Sensor kann man auch Befehle aktivieren. #00:17:30# K7: Genau. Also genau, dass man zum Beispiel. Sagen wir mal, man kann es auch so machen. Ob man das jetzt einstellen kann, dass man zum Beispiel sagt, mach da einen Stern hin, wenn das drei Zentimeter entfernt ist oder macht da das und das hin, wenn das ein Zentimeter entfernt ist. Ja, sowas kann man auch machen. #00:17:34# I: Okay, das klingt auf jeden Fall ziemlich cool. Also ist für euch ein Unterschied. Und der Unterschied liegt darin, ich wiederhole das einmal kurz, dass der hier die ganze Zeit was messen muss und wir hier irgendwie nur so eine kleine Aktivierung haben. Genau. Also wie beispielsweise Aktivierung im Sinne von ich drücke den Knopf oder/ #00:17:51# K7: Stellst einen Kontakt her. #00:18:12# I: Ja, okay, das klingt auf jeden Fall ziemlich cool. Also ist dann also passiert in dem Calliope selber denn was anderes, wenn ich den Knopf drücke, als wenn hier, wenn ich hier was vorhalte? #00:18:13# K6: Ich glaube schon. #00:18:23# K7: Teils, weil das ist ja immer noch das gleiche, das wenn von einem Chip, das dahin geleitet wird, das was andere programmiert habe, das ist schon was anderes. Wenn du jetzt da eine Verbindung herstellst und da was drüber hältst. #00:18:24# K6: Die beiden wurden halt glaube ich unterschiedlich programmiert. #00:18:40# K7: Genau das ist es wahrscheinlich, dass es unterschiedlich programmiert wurde. #00:18:42# I: Also ist für dich auch ein Unterschied hier, wenn ich einen Ton spiele und wenn ich hier was davor halte? Okay. Und wird das anders, dann in dem Calliope jemand da vielleicht irgendwie was verarbeitet? Ist das für euch dann was anderes? Also sieht die Verarbeitung anders aus. #00:18:45#“ (K6K7 4, Absatz 133-144)
	„K7: Also wahrscheinlich da wie gesagt, schon wird das hergestellt mit dem Computer und allem. Und da ist dann da wird ein Stromkreis gebildet und

A.1.4 Programmierung

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Differenzierung der Ausgabe (DA), Differenzierung der Funktion (DF)
	das ist dann ja schon nochmal was anderes. Ob du einen Stromkreis bildest. #00:18:59# I: Wird hier nur ein Stromkreis gebildet und dann kommt da ein Herz raus, oder/ #00:19:12# K7: Wenn du es berührst, kommt da ein Stromkreis und dann kommt ein Geräusch und das wird dann noch über diesen ganzen Chips und so was weitergeleitet und dann noch da hin. #00:19:17#“ (K6K7 4, Absatz 145-147)

A.1.4 Programmierung

Beispielformulierung für den Ergebnisraum	Ergebnisraum
1. Der ist halt so gebaut. 2. Der kann das einfach. 3. Der Calliope mini wurde mit Befehlen programmiert, welche der Calliope mini ausführt.	Programmierung als 1. etwas Psychologisches bzw. Gegebenes (PG) 2. physische Komponente (PK) 3. etwas Erzeugtes (PE), Befehle (PB), etwas Veränderbares (PV)

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Programmierung als etwas Psychologisches bzw. Gegebenes (PG)
K2 PG	„I: Also der zeigt was anderes an! Denkst du denn, weil der was anderes anzeigt, dass in dem Calliope selber was anderes passiert? Eine Idee? #00:16:19# K2: Mhm. Ich glaube, der kann einfach beides. #00:16:29#“ (K2K3 3, Absatz 118-119) „I: In dem Ding sind auch Kabel drinne? Okay. #00:22:04# K2: Und bei den selbstfahrenden Autos soll das ja auch so sein, dass die selbst wissen, was die machen sollen. #00:22:10#“ (K2K3 3, Absatz 161-162)
K11 PG	„K11: Ja dann kann er sich quasi schon mal darauf vorbereiten und dann weiß halt, dass gleich irgendwas passiert und dann drückt man irgendwo und dann ist ja man kann, ist frei und kann. #00:15:42#“ (K10K11 3, Absatz 143) „K11: Halt Berührung und halt Aufzeichnung. Da kann man Dinge aufzeichnen, weil Berührung und sowas. Und wenn er irgendwie weiß, dass ich jetzt zum Beispiel irgendwie was von ihm will. ich will das ja jetzt irgendwie misst, wie viel ich will, wie hoch das ist für mich. Und dann macht das für mich. So wird das halt. Die Leute halt elektrische Sachen genannt. Ja. Und Krankenhäuser werden jetzt auch schon diese Roboter eingesetzt. Und die wissen halt, wann, wie man möchte, dass irgendwie was eingesetzt wird. Okay, weil funktioniert das ja auch irgendwie. #00:23:37#“ (K10K11 3, Absatz 207)

Anhang 1: Codesystem und Ergebnisräume

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Programmierung als etwas Psychologisches bzw. Gegebenes (PG)
K14 PG	„K14: Weil da sind ja ganz viele Informationen einfach so drinne. Ja, weil der wurde ja programmiert. Ja und der wurde ja gebaut und die Informationen kommen dann halt rausgesprudelt. #00:28:14#“ (K14K15 3, Absatz 166)
Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Programmierung als physische Komponente (PK)
K2 PK	„I: Weil das einprogrammiert ist. Was ist denn programmiert? #00:02:02# K2: Also, dass der zum Beispiel jetzt eine Festplatte hat, wo alles gespeichert wird und da wird das dann irgendwie rein gemacht. #00:02:04# I: Okay, also der hat sowas wie eine Festplatte. Was ist also so eine Festplatte/ Was macht man dann auf so einer Festplatte. #00:02:15# K2: Die speichert alles. #00:02:20#“ (K2K3 3, Absatz 13-16) „I: Könnt ihr euch vielleicht vorstellen, woran das gelegen hat, dass der hier nicht dasselbe kann wie der da? Habt ihr da eine Idee. #00:18:24# K2: Weil der ein bisschen anders gebaut ist. #00:18:33#“ (K2K3 3, Absatz 131-132) „I: Mehr innen drin, ist er anders gebaut. Okay. Und woher weiß er denn ganz genau, was der machen soll? Weil hier hat er uns ja jetzt die Bewegung angezeigt. Die hat uns ein paar Tonleiter und paar Bilder gezeigt. Wer weiß/ Woher weiß der Calliope denn das? Oder der Calliope und der Calliope, dass sie das machen sollen? #00:18:47# K2: (...) Weil die da drauf programmiert sind und so gebaut sind, dass sie das oder das so machen können. #00:19:07# I: Ist dann programmiert denn sowas wie dasselbe wie gebaut? #00:19:14# K2: Ja, sowas. Irgendwie beides. #00:19:19#“ (K2K3 3, Absatz 135-138) „I: Okay, also der also das Ding was wir da reingesteckt haben, rechnet das so ein bisschen und das hier rechnet aber auch ein bisschen? Okay. Und woher weiß er denn, dass er da jetzt irgendwie rechnen soll? Weil eigentlich ist das ja nur so ein Stück Metall und ein bisschen Plastik, weil zum Beispiel das ist ja auch ein bisschen Plastik und das kann ja sowas nicht. #00:21:34# K2: Da halt auch so Kabel drin sind. #00:21:56# I: Weil hier so Kabel drin sind? #00:22:00# K2: Ne, in dem Ding drin. #00:22:03#“ (K2K3 3, Absatz 157-160)
K3 PK	„I: Könnt ihr euch vielleicht vorstellen, woran das gelegen hat, dass der hier nicht dasselbe kann wie der da? Habt ihr da eine Idee. #00:18:24# K2: Weil der ein bisschen anders gebaut ist. #00:18:33# I: Das ein bisschen anders gebaut? Wo meinst du das denn? Wo ist der anders gebaut? Seht ihr da irgendwie was? #00:18:35# K3: Ich glaube, da ist mehr innen drin. #00:18:44#“ (K2K3 3, Absatz 131-134)
K12 PK	„I: Und warum klappt das jetzt bei dem nicht? #00:24:17# K13: Weil ich glaube, der hat andere Funktionen. #00:24:19# K12: Das sind einfach unterschiedliche Modelle. Quasi die unterschiedlichen Sachen. Ich schätze, es funktioniert ja auf dem nicht. Ja, deswegen ich schätze, der da hat die Funktion, dass man halt diesen Entfernungsmesser

A.1.4 Programmierung

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Programmierung als physische Komponente (PK)
	anschließen kann und der hat die Funktion, dass man damit Töne machen kann. #00:24:22# I: Und wie kann das denn sein, dass der hier/ Also woher kommt denn, dass der was anderes kann? #00:24:43# K13: Der ist anders gebaut, also der wurde anders hergestellt. #00:24:49#“ (K12K13 4, Absatz 206-210) „I: Warum sind die nicht identisch? #00:25:00# K12: Ich glaube wegen/ Oder vielleicht. Vielleicht steht auf diesen kleinen Platten etwas unterschiedliches von den Modellen. #00:25:03#“ (K12K13 4, Absatz 212-213) „I: Aber die können ja unterschiedliche Sachen. Also warum können die denn unterschiedliche Sachen? #00:26:05# K12: Weil sie unterschiedlich hergestellt wurden. Also es ist nicht das gleiche Modell, schätze ich. #00:26:09# K13: Aber es sieht ja gleich aus. Also, es sieht gleich auf der Packung, was. #00:26:16#“ (K12K13 4, Absatz 217-219)
K13 PK	„K13: Ich stelle mir das so vor wie so ein kleiner, so eine SIM Karte, eine Mini Mini klein, das dann halt da in dieser Platte irgendwo drin steckt. Keine Ahnung. Irgendwas von diesen schwarzen Dingern. #00:03:45# I: Also von diesen aufgesetzten Plättchen. #00:03:56# K13: Das könnte sein, dass jedes Plättchen für einen Buchstabe steht oder so und dass man das irgendwie auch tauschen kann oder so und das es dann da steht. #00:03:59# I: Also, dass jetzt zum Beispiel jedes Plättchen hier für einen Buchstaben, die wir hier auf den Lämpchen angezeigt wird. #00:04:05# K13: Oder halt für mehrere, aber das ist halt irgendwie so, ist. #00:04:10#“ (K12K13 4, Absatz 31-35) „K13: Warte. (...) Jetzt ist es an! Ja, doch, es klappt auch. Es klappt. Ich weiß es. (...) Funktioniert nicht. #00:23:57# I: Und warum klappt das jetzt bei dem nicht? #00:24:17# K13: Weil ich glaube, der hat andere Funktionen. #00:24:19# K12: Das sind einfach unterschiedliche Modelle. Quasi die unterschiedliche Sachen. Ich schätze, es funktioniert ja auf dem nicht. Ja, deswegen ich schätze, der da hat die Funktion, dass man halt diesen Entfernungsmesser anschließen kann und der hat die Funktion, dass man damit Töne machen kann. #00:24:22# I: Und wie kann das denn sein, dass der hier/ Also woher kommt denn, dass der was anderes kann? #00:24:43# K13: Der ist anders gebaut, also der wurde anders hergestellt. #00:24:49#“ (K12K13 4, Absatz 205-210)
K14 PK	„I: Woher glaubt ihr, wissen denn auch diese Roboter oder der Calliope jetzt, was sie dann, wie sie dann auf so einen Knopf drücken reagieren sollen? #00:07:52# K15: Also das wird ja alles eingebaut. #00:08:02# K14: Das wird vorprogrammiert. #00:08:04# K15: Das wird ja alles vorher einmal alles gecheckt und geguckt und getestet, weil der Roboter/ #00:08:07#

Anhang 1: Codesystem und Ergebnisräume

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Programmierung als physische Komponente (PK)
	K14: Wenn der Test nicht funktioniert, dann müssen die das erst mal weiterverarbeiten. Und wenn der Test nie funktioniert? Manchmal/ Manche machen weiter und manche hören dann auf, das weiter zu machen. Aber wenn der Test funktioniert, (...) dann können die das in die in den Verkaufsladen stellen. #00:08:13#“ (K14K15 3, Absatz 43-47)
K15 PK	„I: Woher glaubt ihr, wissen denn auch diese Roboter oder der Calliope jetzt, was sie dann, wie sie dann auf so einen Knopf drücken reagieren sollen? #00:07:52# K15: Also das wird ja alles eingebaut. #00:08:02#“ (K14K15 3, Absatz 42-44)
Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Programmierung als etwas Erzeugtes (PE), Befehle (PB), etwas Veränderbares (PV)
K6 PE	„K6: Und ich weiß, das heißt irgendwie Computersprache und da gibt man irgendwie ganz komische Zeichen oder irgendwas in einen Computer ein. #00:02:14#“ (K6K7 4, Absatz 13) „I: Okay? Ja, okay, das klingt schon mal cool, aber warum ist das dann/ Also warum habe ich dann hier jetzt das und hier das andere Zeichen? Also warum einmal auf Knopf/ #00:05:38# K6: Vielleicht haben die irgendwie unterschiedlichen Strom und der merkt, welchen Strom ankommt. Vielleicht irgendwie plus minus. Und dann gibt es da verschiedene Programmierungen und das zu den verschiedenen fließt und dann jeweils was anderes da rein fließt. #00:05:50#“ (K6K7 4, Absatz 45-46) „I: Liegt den die andere Programmierung in dem/ Was ist denn eine Programmierung? #00:22:41# K6: Eine Programmierung ist/ Da saß vielleicht jemand am Computer und hat Befehle eingetippt mit der Computer/ Mit der Computerschrift oder sowas. Da sind irgendwie A, Q, M, vielleicht Y, X oder so halt funktioniert die und dadurch werden halt auch Befehle, dass man in Computerspielen laufen kann. Das wird durch diese Befehle gemacht, diese Computersprache. #00:22:45#“ (K6K7 4, Absatz 174-175)
K6 PB	„K7: Ich glaube, dass auf dem Knopf was drauf programmiert ist und dass wenn man den Knopf drückt, dass dann dieser Programmierung gesagt wird, dass dann aktivieren, dann fließt das dahin und wird das dann gemacht. #00:03:29# I: Okay, und sagt der Knopf das denn oder/ Also ist die Programmierung dann im Knopf sozusagen? #00:03:40# K6: Ich schätze mal auf der ganzen Festplatte. #00:03:47# K7: Ja, wahrscheinlich und dann ist der Knopf sozusagen nur eine Aktivierung. Womit das Ganze in Gang gebracht wird. #00:03:48# K6: Das alles hier wurde programmiert. #00:03:54#“ (K6K7 4, Absatz 24-28) „I: Das macht der Calliope. Und wie funktioniert das denn in dem Calliope? Habt ihr da eine Idee? #00:15:56# K7: Ich schätze mal/ Vielleicht/ #00:16:03# K6: Programmierung. #00:16:04#“ (K6K7 4, Absatz 127-129)

A.1.4 Programmierung

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Programmierung als etwas Erzeugtes (PE), Befehle (PB), etwas Veränderbares (PV)
K6 PV	„K6: Vielleicht ist das so programmiert, dass der nur das Bild zeigen kann. Vielleicht kann der ja ein Auto oder ein Haus sein/ #00:06:27#“ (K6K7 4, Absatz 48) „I: Und wie sieht das dann in dem Calliope aus? Weil hier machen wir ja irgendwas und dann passiert da drin was. Und hier machen wir was und da passiert da drin irgendwas. Ist das für dich dasselbe, oder ist das Gleiches? Und wenn ja, wo liegt denn der Unterschied? #00:20:15# K6: Ne, also nicht dasselbe. Ich glaube, da ist einfach was anderes programmiert in denen zwei. #00:20:28#“ (K6K7 4, Absatz 161-162)
K7 PE	„I: Was ist denn für dich Programmieren? #00:02:06# K7: Das halt Befehle in zum Beispiel einen Computer eingetippt werden und dass dann ein Gerät das ausführen kann. #00:02:09#“ (K6K7 4, Absatz 11-12)
K7 PB	„K7: Ich glaube, dass auf dem Knopf was drauf programmiert ist und dass wenn man den Knopf drückt, dass dann dieser Programmierung gesagt wird, dass dann aktivieren, dann fließt das dahin und wird das dann gemacht. #00:03:29# I: Okay, und sagt der Knopf das denn oder/ Also ist die Programmierung dann im Knopf sozusagen? #00:03:40# K6: Ich schätze mal auf der ganzen Festplatte.#00:03:47#“ (K6K7 4, Absatz 24-26)
K7 PV	„I: Was meinst du, wenn ich jetzt so mache. Ich kann da auch was machen. #00:08:03# K7: (...) Und dann sind da wahrscheinlich noch mal andere Programmierungen drauf als bei dem Knopf/ #00:08:13#“ (K6K7 4, Absatz 58-59) „K7: Teils, weil das ist ja immer noch das gleiche, das wenn von einem Chip, das dahin geleitet wird, das was andere programmiert habe, das ist schon was anderes. Wenn du jetzt da eine Verbindung herstellst und da was drüber hältst. #00:18:24# K6: Die beiden wurden halt glaube ich unterschiedlich programmiert. #00:18:40# K7: Genau das ist es wahrscheinlich, dass es unterschiedlich programmiert wurde. #00:18:42#“ (K6K7 4, Absatz 141-143) „K6: Ich schätze mal, ich glaube nicht, die sind beide gleich programmiert. Wenn ich den rausziehen würde, dann würde das ja auch klappen. #00:21:30# I: Glaubst du? Wartet, ich zieh die mal raus, weil die sind ein bisschen tricky rausziehen, weil der so klein ist. So, wenn wir jetzt hier. #00:21:35# K7: Nee, nee. Doch, das ist eine andere (Programmierung). #00:21:45# I: Also, ihr habt gerade gesagt. Also, du meintest gerade, der ist komplett irgendwie aufgebaut, also der ist ja gleich aufgebaut, aber warum können die denn unterschiedliche Sachen? Also wie kann das denn sein, dass da überhaupt irgendwie was kommt? Also der kann jetzt beispielsweise, wenn ich den Sensor nochmal ran stecke, darauf reagieren, wenn ich hier was davor halte Und der hier über den Knopf beispielsweise oder über den Ton. #00:21:46# K7: Reagiert halt wegen der Programmierung und die Programmierung ist bei beiden wahrscheinlich anders. Ist halt die Frage, ob man das auch um-

Anhang 1: Codesystem und Ergebnisräume

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Programmierung als etwas Erzeugtes (PE), Befehle (PB), etwas Veränderbares (PV)
	programmieren kann. Ich schätze mal nicht, aber das ist halt einfach anders programmiert und sonst ist halt das gleiche. Es wäre nur was anderes, wenn jetzt da kein so ein Feld drauf wäre oder nicht diese Teile an den Seiten, dann wäre es was anderes. Aber es ist eins das gleiche, nur es ist eine andere Programmierung. Also ein sag jetzt mal ein anderes System mit anderen Bauteilen, die dafür verwendet werden und verwendet werden müssen. #00:22:08#“ (K6K7 4, Absatz 169-173)
K8 PE	„I: Was braucht denn der der Calliope, um so richtig zu funktionieren? #00:31:18# K9: Ja Strom. Also das ist ja hier auch verkabelt mit dem und hier braucht er halt. #00:31:23# K8: Er braucht jemanden, der ihn programmierte, sonst wird er einfach die ganze Zeit irgendetwas/ #00:31:27# K9: Zeigt dir überhaupt irgendwas, wenn man ihn überhaupt nicht programmiert hat? #00:31:32#“ (K8K9 4, Absatz 231-234)
K8 PB	„K8: Vielleicht hast du die so programmiert, dass zwei Knopf A was bestimmtes ist und dass bei Knopf B was bestimmtes ist. #00:06:05#“ (K8K9 4, Absatz 54) „I: (...) Ich habe eine Frage. Ist das also ist das hier dieses Knete drücken? Ist das für euch dasselbe, wie wenn ich hier den Knopf drücke? Nein? Warum nicht? #00:15:27# K8: Weil der Knopf ja so einprogrammiert hat, dass die gleich das bestimmte Sachen ist. Und die hier sind ja für andere Sachen einprogrammiert. Wenn ich hier den Knopf drücke, kommt ja ein Smiley. Den Knopf muss man ja/ Und wenn ich hier drücke, kommt ein Buchstabe und ein Ton. #00:15:40#“ (K8K9 4, Absatz 127-128)
K8 PV	„K8: Kann man da vielleicht andere Sachen drauf programmieren? #00:02:29# K9: Könnte man, oder? #00:02:31#“ (K8K9 4, Absatz 22-23)
K9 PE	„K8: Vielleicht weil er unter links und rechts unterscheiden kann. #00:06:29# K9: Wie programmiert man eigentlich so was? #00:06:35# “ (K8K9 4, Absatz 57-58) „I: Also welche von diesen kleinen Lämpchen er dann nehmen muss. Okay, das klingt schon mal ziemlich, ziemlich gut. Was glaubt ihr denn also/ Ich dem jetzt gesagt, was er machen soll. Woher kann der sich denn das/ #00:08:19# K8: Sagt man das? #00:08:34# I: Naja. Ich hab den ja programmiert. #00:08:34# K9: Das muss man ja eher tippen, oder nicht? #00:08:36# I: Ja, man tippt das schon ein bisschen ein, aber die Frage ist dann, wie kann der sich denn das merken? Weil wenn ihr jetzt irgendwie den. #00:08:38#“ (K8K9 4, Absatz 69-73) „I: Was braucht denn der der Calliope, um so richtig zu funktionieren? #00:31:18# K9: Ja Strom. Also das ist ja hier auch verkabelt mit dem und hier braucht er halt. #00:31:23#

A.1.4 Programmierung

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Programmierung als etwas Erzeugtes (PE), Befehle (PB), etwas Veränderbares (PV)
	K8: Er braucht jemanden, der ihn programmierte, sonst wird er einfach die ganze Zeit irgendetwas/ #00:31:27# K9: Zeigt dir überhaupt irgendetwas, wenn man ihn überhaupt nicht programmiert hat? #00:31:32#“ (K8K9 4, Absatz 231-234) „I: Ja, genau. Ja. Also, wofür brauchen wir denn sowas wie den Calliope? Weil der Calliope. Der ist tatsächlich extra für die Schule gemacht. #00:31:40# K9: Um zu Programmieren und halt so ein bisschen zu verstehen, was zum Beispiel Handy auch drin ist. Auch wenn das jetzt hier alles ein bisschen enger und ein bisschen größer ist. Ähm. Trotzdem ist das quasi das Gleiche wie in einem Handy und dass man das halt lernt zu programmieren, so dass man halt später am/ #00:31:47#“ (K8K9 4, Absatz 235-236)
K9 PB	„K9: Ein Signal oder so was wie. Also, dass das Licht angeht, ein Signal Du musst jetzt diese Lampen anmachen und du hast das ja auch programmiert, dass du jetzt hier zum Beispiel dein Herz ist. Dann ist da so ein Smiley, also hast du das nicht ohne Grund gemacht. #00:05:31#“ (K8K9 4, Absatz 52)
K9 PV	„K8: Kann man da vielleicht andere Sachen drauf programmieren? #00:02:29# K9: Könnte man, oder? #00:02:31#“ (K8K9 4, Absatz 22-23) „K9: Geht dagegen. Dann merkt der das und gibt das hier durch den weiter und hier ist jetzt sind ja auch diese Kleinen, wenn wir das vielleicht wieder hier unten irgendwie in den in die in den Speicherplatz befördert und dann wird auch geguckt, weil der ist ja anders programmiert als zum Beispiel der und dann wird halt auch geguckt, wie weit entfernt er ist, weil der hat es ja schon gesagt, es ist ungefähr jetzt hier ist es ja jetzt zum Beispiel zwei Zentimeter oder zehn Zentimeter. Ja, das merkt er jetzt glaube ich nicht, oder? Ich glaube, vier ist das höchste. #00:22:21#“ (K8K9 4, Absatz 174)
K12 PE	„I: Gerade auf der Autobahn. Wollen wir den jetzt anmachen. Woher weiß er denn, dass der mir jetzt Hallo sagen soll? Also wie kann er denn auf das/ #00:02:48# K12: Weil du es programmiert hast. #00:02:56#“ (K12K13 4, Absatz 24-25) „K13: Oder es ist einfach/ Konntest du das programmieren? Ich glaube, es hat damit was zu tun, dass sie gleich waren. Aber dass du das irgendwie umprogrammiert hast. #00:26:22# I: Und was heißt denn Programmieren? #00:26:34# K12: Dass du (...) Befehle selbst eingeben/ Ne, dass du gesagt hast, wenn dass der Befehl kommt, dann musst du das und das machen. Also wenn. Wenn man jetzt das da anschließt und das macht, dann hast du gesagt/ einprogrammiert, dass dann halt das die Entfernung anzeigt. #00:26:36#“ (K12K13 4, Absatz 221-223) „I: Okay. Und das heißt, ich kann theoretisch den sagen, was sie da machen sollen. #00:26:58# K12: Ja, ich glaube schon. Und hier hast du halt programmiert. Wenn man hier und da drauf hält, dann macht es Töne. #00:27:03# K13: Was bei dem hier zum Beispiel nicht gemacht hast. Weil du hast, egal wo ich drücke, es geht nicht. #00:27:11#“ (K12K13 4, Absatz 224-226)

Anhang 1: Codesystem und Ergebnisräume

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Programmierung als etwas Erzeugtes (PE), Befehle (PB), etwas Veränderbares (PV)
K12 PB	„K12: Nein. Ich meine, dass ein Knopf an jede einzelne Lämpchen ein Signal gibt, ob es an oder aus sein soll. Das ist dann halt vorprogrammiert. Wann/ Wenn wenn der Knopf gedrückt wird, dass dann an das Lämpchen an und aus gesagt wird. #00:08:08#“ (K12K13 4, Absatz 67)
K12 PV	„I: Ähm. Du meinst gerade, der ist programmiert. (...). Du meinst gerade, der ist programmiert. Was ist da denn programmiert? Also, was bedeutet das denn? #00:03:09# K12: Ich schätze auch, dass das irgendwo ein kleiner Speicherchip ist, wo halt etwas drauf programmiert ist. Dann musst du dieses Licht an und ausmachen und ich schätze das, diesen Speicherstick kann man dann halt wechseln und dann steht da was anderes. #00:03:23# I: Also das sind irgendwo was, was gespeichert wird. Ist das denn so wie beim Handy? #00:03:37# K12: Also da ist ja auch eine Speicherkarte drin. #00:03:42#“ (K12K13 4, Absatz 27-30) „I: Durch den Strom auch, aber die können ja Unterschiedliches und die sind ja theoretisch also die ich kann euch versichern, dass die baugleich sind, also dass die das ist dasselbe Gerät. #00:30:35# K13: Ja, weil du es vielleicht programmiert hast. #00:30:47# I: Und was hat das das Programm damit zu tun, dass er darauf reagieren kann, oder? #00:30:48# K12: Weil er hat das. Du hast das so programmiert, oder irgendwer hat so programmiert, dass, wenn man den Knopf drückt. Also, man hat nicht das Gerät programmiert, sondern ich glaube den Speicher oder so hat man programmiert. Und wenn man auch einen anderen Speicher kauft, wo der anders programmiert ist und den da rein tut, dann kommt da auch was anderes. Aber es ist der Speicher wurde so programmiert werden, dass das Gerät darauf reagiert, wenn hier der Knopf gedrückt wird, dann sollen. Dieses Lämpchen da leuchten und das nicht. #00:30:51#“ (K12K13 4, Absatz 247-250)
K13 PV	„I: Durch den Strom auch, aber die können ja Unterschiedliches und die sind ja theoretisch also die ich kann euch versichern, dass die baugleich sind, also dass die das ist dasselbe Gerät. #00:30:35# K13: Ja, weil du es vielleicht programmiert hast. #00:30:47#“ (K12K13 4, Absatz 247-248)
K14 PE	„I: Okay, und sind die Informationen für dich da dann einfach drauf oder müssen sie da auch irgendwie drauf gemacht werden? #00:30:04# K15: Die Informationen mussten am Anfang reinprogrammiert werden. Ja, aber in dieses Ding. #00:30:20# I: In den hier, den, der den Abstand misst. Ja. #00:30:17# K15: Und die Informationen fließen dann hier durch und das wurde hier einprogrammiert, dass die Information dann an dieses Feld weitergeleitet werden und das zeigt mir auch gerade, dass das ganz ist und auch wie man auf die Knöpfe drückt. Das ist jetzt mit dem verbunden und die Knöpfe machen eigentlich gar nichts mehr. Ja, okay. #00:30:22#“ (K14K15 3, Absatz 175-178)
K14 PB	„I: Sind das denn diese Informationen, die da irgendwie einprogrammiert werden oder? #00:28:46#

A.1.4 Programmierung

Kind/ Kategorien- kürzel	Aussagen von Proband:innen für die Kategorie Programmierung als etwas Erzeugtes (PE), Befehle (PB), etwas Veränderbares (PV)
	K14: Also diese das hier ist ja einfach so, das kann man ja nicht einprogrammieren, wie hoch du dann deine Hand hältst. Ja, das muss dann ja der gucken, der das gerade macht. Aber ich glaube, das ist halt, wenn man auf diesen Knopf drückt, das ist dann so ist, dass man dann halt so denkt, dass man das hier auf den Computer dann, wenn man auf den blauen Knopf drückt, dann halt, dass dann halt die Zahl anzeigt und auf den roten dann halt irgendwie das beides. #00:28:50#“ (K14K15 3, Absatz 169-170)
K15 PE	„I: Der kann ein bisschen mehr, ist das, weil der/ #00:31:12# K15: Weil erstens er hat noch dieses Ding dazu, ja und weil er halt wird. Weil er hat Wörter darein einprogrammiert hat. #00:31:15#“ (K14K15 3, Absatz 182-183)
	„K15: Jetzt sieht man auch, dass das für Zahlen einprogrammiert ist, weil hier jetzt eine Null steht und nichts anderes. Man kann jetzt auch hier drauf drücken und trotzdem klappt nicht. #00:33:24#“ (K14K15 3, Absatz 199)
K15 PE PB	„I: Also du meinst irgendwie, wir haben da, der wurde programmiert und da sind dann irgendwie Informationen da reingekommen. Was macht man denn beim Programmieren? #00:28:24# K15: Es gibt so ein einen Computer und der ist mit diesem Teil angeschlossen. Dann kann man halt einprogrammieren, was er machen soll, wenn man auf den Knopf drückt. Ob er dann irgendwie keine Ahnung, ob dann die leuchten oder ob eine Hallo sagt. #00:28:32# “ (K14K15 3, Absatz 167-168)

Anhang 2: Interviewleitfaden

Einstieg

1. Die Kinder werden über den Ablauf des Interviews instruiert.
2. Den Kindern wird der Calliope gezeigt und sie werden gefragt, ob sie diesen bereits kennen (*Kennt ihr den Calliope?*).
3. Über ein altes auseinander genommenes Smartphone wird den Kindern verdeutlicht, dass sowas wie der Calliope (Mikrocontroller) auch in den iPads, Handy, etc. vorhanden ist und sinnbildlich ein kleines Computersystem darstellen.

Die Kinder explorieren verschieden programmierte Calliope mini, welche vor ihnen liegen. Währenddessen werden ihnen Fragen zur technischen Funktionsweise gestellt. Jedes Programm zielt auf einen bestimmten technisch-informatischen Bereich des Calliope mini ab. Die folgenden Fragen werden während der Exploration den Kindern gestellt:

Explorationsphase

1. **Exploration:** Im ersten Schritt nehmen sich die Kinder ein Calliope mini und explorieren dessen Programmteile: Das Verstehen der Funktion des Programmteils (*Was macht/kann der Calliope?*) ist Ziel dieser Phase und wird ggf. durch die Interviewerin verbal gestützt (Fragen an Kinder: *Was erkennst du? Was siehst du?*).
2. Um über den Nutzungskontext von Mikrocontroller mit den Kindern zu sprechen, wird nach der Fähigkeiten bzw. Möglichkeiten des Calliope mini gefragt:

Was wird verarbeitet? Warum ist das für uns wichtig?

A. Wie kann es sein, dass das Stück Metall/Kunststoff überhaupt etwas macht?

B. Was braucht der Calliope noch, um wirklich etwas zu machen? Ist es nur Strom oder auch was anderes?

C. Wofür brauchen wir denn überhaupt sowas wie den Calliope?

D. Was wird da denn verarbeitet?

(Verbindung zu Lebenswelt herstellen (Handy, Tablets, ...))

3. **Lebensweltbezug & Erschließung der Funktionsweise (-> Tabelle):** Wenn die Kinder die Funktion des Programmes verstanden haben, wird nach dem Nutzungswert dieser Funktion gefragt, um einen Bezug zu etwas für die Kinder Bekanntem zu schaffen. Anschließend werden je nach Programm den Schüler:innen die Fragen aus der Tabelle gestellt. Diese zielen auf das Verständnis der Funktionsweise des Calliopes ab. Hier geht es grob um die Frage: **Wie macht der Calliope das?**

Programmteil	Interviewfragen (Komponente bzw. Prozess des Erkenntnisinteresses)
A Begrüßung Der Calliope wird angeschaltet und auf der LED-Matrix wird ein Text angezeigt („HALLO“).	1. Warum kann der Calliope mir immer wieder zu Beginn „Hallo“ sagen, obwohl ich den Strom immer wieder wegnehme und der Calliope dann aus sein sollte? (<i>Speicher: Interviewerin trennt Batterie vom Calliope</i>) 2. Schau dir den Calliope an, sehen wir, dass da was passiert? Was passiert in dem Calliope zwischen dem „Ich schalte ihn an“ und er sagt „Hallo“? (<i>EVA</i>) 3. Wie kann der Calliope denn mit einem „Hallo“ auf das Anschalten reagieren? Wie kann der darauf reagieren? (<i>Speicher</i>)
B Bilder-Auswahl Beim Drücken des Knopf A wird ein Herz angezeigt. Beim Drücken des Knopf B wird ein Smiley angezeigt.	1. Wie kommt es, dass wenn ich auf den Knopf drücke, die LEDs angehen, obwohl ich gar nicht auf die LEDs gedrückt habe? (<i>EVA</i>) 2. Sind denn die Lämpchen dasselbe, wie die Knöpfe? (<i>Vergleich Ein- und Ausgabe: I drückt auf Knopf und Lämpchen</i>) 3. Wie könnte das denn funktionieren? Was passiert im Calliope mini, sodass er bei Knopf A ein Herz zeigt und bei Knopf B einen Smiley? (<i>Speicher, Prozessor: EVA</i>) 4. Was passiert zwischen dem „Ich drücke einen Knopf“ und „Es leuchtet ein Muster“ in dem Calliope selber? Passiert bei dem Herz etwas anderes als beim Smiley? (<i>Verarbeitung</i>) 5. Wo könnte die Information, welches Bild gezeigt werden soll, denn auf dem Calliope vorhanden sein? (<i>Speicher</i>)

C Bewegungssensor An den Calliope ist ein Bewegungssensor angeschlossen. Auf der LED-Matrix des Calliope mini wird eine Zahl angezeigt, die den Abstand des Gegenstandes von dem Bewegungssensor in Zentimetern angibt.	1. Was passiert denn im Calliope drinne, wenn ich die Hand vor das Ding (Bewegungssensor) halte und Zahlen auf dem Lampenfeld erscheinen? (<i>Verarbeitung</i>) 2. Du hast hier dieses Kabel. Was könnte das Kabel damit zu tun haben? Was passiert da in dem Kabel? (<i>Signale</i>) 3. Gibt es sowas ähnliches wie das Kabel auch auf dem Calliope selbst? (<i>BUS-Systeme</i>) 4. Warum konnte ich da einfach was anschließen? Warum und wie kann der Calliope auf die Bewegung reagieren? (<i>Veränderbarkeit & Programmierung</i>) <i>Dieser Abschnitt setzt voraus, dass die Kinder bereits Programmteil B ausprobiert haben.</i> 5. Warum reagiert der Calliope auf das davor Halten, obwohl ich den Calliope gar nicht anfasse? (<i>Analoge Signale</i>) 6. Wo liegt der Unterschied oder die Gemeinsamkeit zwischen den Knöpfen und diesem Bauteil, was den Abstand zu einem Gegenstand misst? (<i>Digitale & analoge Eingabegeräte & Signalverarbeitung: EVA</i>)
D Klavier An die Pins werden Knete & Krokodilklemmen angeschlossen. Durch das Drücken der Knete können Töne gespielt werden & es wird der Tonleiter auf der LED-Matrix angezeigt.	1. Was passiert denn im Calliope drinne, wenn ich die Knete drücke und ein Ton und ein Buchstabe kommt? (<i>Verarbeitung</i>) 2. Ist das für dich das dasselbe, wie wenn ich einen Knopf drücke? (<i>Vergleich Eingabekomponenten</i>) 3. Was könnte das Kabel damit zu tun haben? Was passiert da in dem Kabel? Gibt es sowas wie die Kabel auch auf dem Calliope selbst? (<i>BUS-Systeme</i>) 4. Warum konnte ich da einfach was anschließen? Warum und wie kann der Calliope auf das Drücken reagieren? Warum spielt der auch beim Tauschen der Kabel immer denselben Ton? (<i>Erweiterbarkeit & Programmierung: Interviewerin tauscht die andersfarbigen Klemmen</i>)

Abschluss

Es wird sich bei den Kindern bedankt und bei Interesse der Kinder gezeigt, was in einem Calliope während der Ausführung eines Programmes abläuft. Dies geschieht mithilfe des Debug-Modus des Programmiereditors (<https://makecode.calliope.cc/>).

Erkenntnisinteresse bei Programm A-D

- A. Hauptziel dieses Schrittes ist auf den **Speicher** (ROM) aufmerksam zu machen, welcher nach Wegnahme der Stromzufuhr weiterhin auf den selben Datensatz zugreifen kann. Das Prinzip **Eingabe, Verarbeitung** und **Ausgabe** ist ein grundlegendes informatisches Prinzip, welches auf ein grundlegendes technisches Verständnis von digital-technischen Artefakten schließen lässt.
- B. Hauptziel dieses Schrittes liegt auf der Differenzierung von **Eingabe** und **Ausgabe**. Die Thematisierung des Anführten soll ein Denken über die **Verarbeitung** im Calliope anregen (Speicher, Prozessor).
- C. Hauptziel ist hier zunächst das Phänomen zu verändern. Das didaktisierte Arbeitsmittel wird der Charakteristik des Mikrocontrollers gerecht, indem die Kinder erfahren, dass der Gegenstand **variable gestaltet/erweitert** werden kann. Durch die neue Verkabelung kann ein Anreiz geschaffen werden, um über **BUS-Systeme** und **Signalleitungen** zu sprechen, da das Erweiterungstool über Kabel an den Calliope angeschlossen werden.
- D. Durch die neue Verkabelung kann ein Anreiz geschaffen werden, um über **BUS-Systeme** und **Signalleitungen** zu sprechen. Zusätzlich kann hier zwischen dem Bewegungssensor und den Krokodilklemmen verglichen werden.
Über das Tauschen der andersfarbigen Krokodilklemmen kann über die Positionierung und damit auch das **durch Programmierung festgelegte Programm** des Calliopes gesprochen werden.