

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
<p>„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#</p> <p>I: Okay, also ist da/ Also irgendwas passiert da denn noch mit/ Du meinstest gerade irgendwas mit Steuerung. Was meinst du? #00:10:04#</p> <p>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)</p>	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
<p>„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#</p> <p>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)</p>	RR
<p>„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#</p> <p>I: Das musst du mir noch mal erklären. #00:05:00#</p> <p>K11: Also wenn von da, vom Knopf irgendwie hierauf es geleitet wird. #00:05:02#</p> <p>I: Was? Was meinst du hier genau? #00:05:10#</p> <p>K11: Halt wieder, dass da irgendwie Strom quasi losfährt. Auf eine Platte. #00:05:12#</p> <p>I: Auf eine Platte. Der geht dann auf eine Platte. Okay, wie so ein kleiner Zug, der dann anhält. Ja, ja. #00:05:17#</p> <p>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)</p>	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.

Der Prozess der Verarbeitung

Aussagen von K6	Kategorie
<p>„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)</p>	3IÄ
<p>„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)</p>	3IÄ
<p>„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)</p>	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
<p>„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)</p>	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
<ol style="list-style-type: none"> 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. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Handlungszusammenhang (HZ) 2. Reiz-Reaktion (RR)
<ol style="list-style-type: none"> 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. 	<ol style="list-style-type: none"> 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 hingeh. 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
<ol style="list-style-type: none"> 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. 	<ol style="list-style-type: none"> Sichtbares verweist auf Leitungen (SL) Weiterleiten von Signalen (WS)
<ol style="list-style-type: none"> Signale sind sowas wie Befehle oder Daten. Das Signal wird über Stromimpulse weitergeleitet. 	<ol style="list-style-type: none"> Erklären von Signalen als Befehle bzw. Daten (WSB) Weiterleiten von Signalen mittels Stromimpulsen (WSS)
<ol style="list-style-type: none"> Die Signale sehen aus wie I und Os. 	<ol style="list-style-type: none"> 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 KI1 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 KI2 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 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
<p>„I: Was unterschiedliches und warum? Also wo liegt der Unterschied? Kannst du das vielleicht/ Oder hast du eine Idee? #00:28:21#</p> <p>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#</p> <p>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)</p>	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
<p>„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)</p>	DF
<p>„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#</p> <p>K7: Stellst einen Kontakt her. #00:18:12#“ (K6K7 4, Absatz 137-138)</p>	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
<ol style="list-style-type: none"> 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. 	<ol style="list-style-type: none"> 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
<ol style="list-style-type: none"> 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 <ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 1. Handlungszusammenhang (HZ) 2. Reiz-Reaktion (RR) 1. Herleiten dritter äußerer Instanz (3IÄ) 3. Wahrnehmen einer dritten Verarbeitungsinstanz (3I)
Signalleitung	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ein- und Ausgabezusammenhang + Strecke (EAZ+S) 2. Differenzierung der Ausgabe (DA) 3. Differenzierung der Funktion (DF)
Programmierung als	<ol style="list-style-type: none"> 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 einer Prä-Post-Vergleich 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.