### Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd

#### Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Master of Education (M.Ed.)

# Eine Untersuchung zur Entwicklung der Problemlösekompetenz im Mathematikunterricht – eine Lernumgebung mit dem Blue-Bot

Name, Vorname: Selzer, Mona

Matrikelnummer: 6132593

Studiengang: Master Lehramt Grundschule (PO2020)

Studienfach: Mathematik

Semester: Wintersemester 2022/2023

Fachsemester: 3

Erstprüferin: Prof. Dr. Silke Ladel

Zweitprüferin: Juniorprofessorin Dr. Luzia Leifheit

Schwäbisch Gmünd, den 31. Januar 2023

Inhaltsverzeichnis

# Inhaltsverzeichnis

|   | Einleitung  | 1    |
|---|---|------|
| 2 | Der aktuelle Forschungsstand                        | 3    |
| 3 | Die theoretischen Grundlagen zum Thema Problemlösen | 6    |
|   | 3.1 Definition des Begriffs Problemlösen            | 6    |
|   | 3.2 Theorien des Problemlösens                      | . 10 |
|   | 3.3 Der Problemlöseprozess nach Pólya               | . 14 |
|   | 3.4 Die Heuristik                                   | . 17 |
|   | 3.4.1 Heuristische Hilfsmittel                      | . 17 |
|   | 3.4.2 Heuristische Strategien                       | . 20 |
|   | 3.4.3 Heuristische Prinzipien                       | . 22 |
|   | 3.4.4 Heuristische Regeln                           | . 24 |
|   | 3.5 Problemlösen und Algorithmen                    | . 25 |
|   | 3.5.1 Algorithmische Probleme                       | . 26 |
|   | 3.5.2 Lösen von algorithmischen Problemen           | . 27 |
| 1 | Problemlösen in der Grundschule                     | . 28 |
|   | 4.1 Problemlösen als Kompetenz                      | . 28 |
|   | 4.2 Problemlösen und Modellieren                    | . 35 |
|   | 4.3 Blue-Bot als Lerngegenstand                     | . 37 |
| 5 | Der empirische Teil                                 | . 40 |
|   | 5.1 Die Lernumgebung                                | . 40 |
|   | 5.1.1 Geförderte Kompetenzen                        | . 40 |
|   | 5.1.2 Termin 1                                      | . 44 |
|   | 5.1.3 Termin 2                                      | . 47 |
|   | 5.1.4 Termin 3                                      | . 48 |
|   | 5.1.5 Termin 4                                      | . 49 |

| 5.1.6 Termin 5   | 50  |  |  |  |
|--|-----|--|--|--|
|  |     |  |  |  |
| 5.1.7 Termin 6   |     |  |  |  |
| 5.2 Erhebung der Daten                                   | 52  |  |  |  |
| 5.2.1 Auswahl der Stichprobe                             | 52  |  |  |  |
| 5.2.2 Rahmenbedingungen der Datenerhebung                | 53  |  |  |  |
| 5.2.3 Transkription der erhobenen Daten                  | 54  |  |  |  |
| 5.3 Datenauswertung nach der qualitativen Inhaltsanalyse | 56  |  |  |  |
| 5.3.1 Gütekriterien qualitativer Forschung               | 56  |  |  |  |
| 5.3.2 Methodisches Vorgehen                              | 58  |  |  |  |
| 6 Diskussion   | 60  |  |  |  |
| 6.1 Darstellung der Ergebnisse                           | 60  |  |  |  |
| 6.1.1 Termin 1   | 60  |  |  |  |
| 6.1.2 Termin 2   | 62  |  |  |  |
| 6.1.3 Termin 3   | 64  |  |  |  |
| 6.1.4 Termin 4   | 67  |  |  |  |
| 6.1.5 Termin 5   | 69  |  |  |  |
| 6.1.6 Termin 6   | 71  |  |  |  |
| 6.2 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse         | 72  |  |  |  |
| 6.3 Diskussion der Methode und Grenzen der Forschung     | 75  |  |  |  |
| 7 Fazit der Arbeit und Ausblick                          | 76  |  |  |  |
| Literaturverzeichnis                                     | III |  |  |  |
| Abbildungsverzeichnis                                    | XI  |  |  |  |
| FabellenverzeichnisXI                                    |     |  |  |  |
| idesstaatliche ErklärungX                                |     |  |  |  |
| Anhang   | XIV |  |  |  |

1 Einleitung 1

# 1 Einleitung

Probleme und deren Lösung. Ein Thema, dass das Leben der Menschen durchdringt. Unabhängig davon, ob es kleinere oder größere Probleme sind: die Entscheidung, was es zum Abendessen gibt, die Organisation von Arbeit, Freunden und Hobbys oder welche berufliche Richtung nach dem Schulabschluss eingeschlagen werden soll. Sie alle stellen Probleme dar, welche es zu bewältigen gilt.

Bei der Auseinandersetzung mit Problemen ist das Hauptziel, eine Lösung für die Situation zu finden. Die zur Lösung benötigten Fähigkeiten und Fertigkeiten bilden den Inhalt der Problemlösekompetenz. Die Entwicklung dieser Kompetenz nimmt vor allem im Mathematikunterricht eine besonders wichtige Rolle ein (vgl. Stiller et al. 2021, S. 218). In den bundesweit geltenden Bildungsstandards des Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2022a) ist sie als eine der allgemeinen mathematischen Kompetenzen aufgelistet. Zu vermittelnde Inhalte sind sogenannte Heurismen, deren Anwendung zur Lösung eines Problems beitragen können und auch im Rahmen der Masterarbeit betrachtet werden. Definiert werden diese als "wiederkehrendes spezifisches, planvolles, organisiertes Vorgehen zum Auffinden eines Weges zur Lösung eines Problems." (Stiller et al. 2021, S. 16)

Für die Förderung von verschiedenen mathematischen Kompetenzen eignet sich der Einsatz von Lernrobotern wie Lego Mindstorms oder Blue-Bot (vgl. Schuler und Dreher, S. 5 f.). Durch die Einbindung der Roboter in den Unterricht werden die Kinder motiviert und entwickeln spielerisch Fähigkeiten im mathematischen, aber auch informatischen Bereich. Solche Fähigkeiten sind beispielswiese das Problemlösen, die räumliche Vorstellungskraft oder algorithmisches Denken (vgl. Scaradozzi et al. 2015, S. 3838).

Die vorliegende Masterarbeit verfolgt das Ziel die Entwicklung der Problemlösekompetenz im Umgang mit dem Lernroboter Blue-Bot zu untersuchen. Hierbei steht die Forschungsfrage: Wie wirkt sich die Arbeit mit Blue-Bot auf das heuristische Prinzip des Zerlegens in Teilprobleme von Viertklässlern aus? im Fokus. Des Weiteren wird die Veränderung des Problemlöseprozesses im Verlauf der Intervention betrachtet. 1 Einleitung 2

Um dieses Ziel zu erreichen, erfolgte die Durchführung einer Interventionsstudie mit sieben Viertklässlern an sechs Terminen. Hierfür wurde eine Lernumgebung entwickelt und die Datenerhebung mit einer Videokamera aufgezeichnet.

Zu Beginn der Arbeit wird auf den aktuellen Forschungsstand eingegangen, um in diesem Kontext die Forschungslücke darzustellen. Im weiteren Verlauf erfolgt ein Überblick über die theoretischen Grundlagen zum Thema Problemlösen. Hier werden der Begriff Problemlösen sowie weitere wichtige Begrifflichkeiten geklärt. Im Anschluss werden Theorien und der Problemlöseprozess nach Pólya (2010) näher betrachtet. Eine eingehende Erläuterung der für die Bearbeitung von Problemen wichtigen Heurismen in der Mathematik findet in Kapitel 3.4 statt. Da im Umgang mit dem Lernroboter Blue-Bot Algorithmen entwickelt und angewendet werden, steht im darauffolgenden Kapitel das Thema Algorithmen und Problemlösen im Fokus. Den Abschluss des Theorieteils stellt das Kapitel Problemlösen in der Grundschule dar. Hier wird in den Unterkapiteln auf Problemlösen als Kompetenz, die Relevanz von Problemlösen im Mathematikunterricht sowie die beiden allgemeinen Kompetenzen Problemlösen und Modellieren verglichen. Zusätzlich erfolgt eine Betrachtung des Lerngegenstands Blue-Bot.

Der empirische Teil der Arbeit beginnt mit der Vorstellung, der in der Intervention eingesetzten Lernumgebung, indem die geförderten Kompetenzen sowie die einzelnen Termine methodisch-didaktisch erläutert werden. Anschließend wird, für die Herleitung der Ergebnisse und die Beantwortung der Forschungsfrage, die Datenerhebung mit der Stichprobe, den Rahmenbedingungen und der Transkription betrachtet. Auf diesen Teil der Masterarbeit folgt die Datenauswertung des erhobenen Materials in Form der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015). Die beiden Unterkapiteln beschäftigen sich mit den Gütekriterien der qualitativen Forschung und dem angewandten methodischen Vorgehen.

Im Rahmen der Diskussion in Kapitel 6 werden die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse beschrieben. Anschließend erfolgt die Interpretation und Bezugnahme zu den theoretischen Hintergründen, bevor die Grenzen der angewandten Methode dargestellt werden.

Das letzte Kapitel fasst die wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit zusammen und formuliert einen Ausblick für weiterführende Forschungen.

## 2 Der aktuelle Forschungsstand

Um das Thema der Masterarbeit und dessen Fragestellung in den Bezug zu den bisherigen Forschungen zu setzen und die Forschungslücke darzustellen, werden im Folgenden hauptsächlich Forschungen mit dem Lerngegenstand eines Roboters thematisiert.

2008 veröffentlicht Highfield et al. in einem Artikel die Untersuchung zum Thema early mathematics learning through exploration with programable toys. Im Mittelpunkt der Forschung stehen die Fragen wie sich die Verwendung von programmierbaren Robotern (beispielsweise Bee-Bot) auf die Entwicklung der Problemlösekompetenz und die metakognitiven Prozesse auswirkt. Zudem liegt der Fokus der Betrachtung auf den Formen des mathematischen und strategischen Denkens bei der Auseinandersetzung mit Problemen und dem Bee-Bot (vgl. Highfield et al. 2008, S. 171). Im Rahmen einer Pilotstudie nahmen zehn Kinder im Alter von drei bis acht Jahren an einer Untersuchung teil, von denen schlussendlich zwei Kinder im Alter von fünf und acht Jahren eine nähere Analyse erfuhren. Diese Studie wurde entworfen, um ein Beurteilungsgespräch auszuwerten und die mathematischen Prozesse während der Bearbeitung von Aufgaben mit Bee-Bot zu beschreiben. Anhand der Daten kommen Highfield et al. zu der Erkenntnis, dass der Bee-Bot die Möglichkeiten bietet mathematische Konzepte sowie Problemlösestrategien zu entwickeln.

Yanik et al. belegt in seiner Studie aus dem Jahr 2017, dass der Aufbau des computational thinking auch mithilfe von sogenannten Build Bots (siehe Kapitel 4.3) stattfinden kann. In der Studie wurden mithilfe einer qualitativen Fallstudienmethodik die Daten von Kindern aus der dritten Klasse gesammelt. Dabei standen das Programmieren von Lernrobotern und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Fähigkeiten hinsichtlich dem computational thinking im Mittelpunkt. Nach der Auswertung der Daten konnte eine Zunahme des Verständnisses bezüglich der Komponenten des computational thinking verzeichnet werden.

Im Jahr 2019 erschien die von García-Valcárcel-Muñoz-Repiso und Caballero-González durchgeführte spanische Studie mit dem Titel *Robotik zur Entwicklung des informatischen Denkens in der frühkindlichen Bildung* (übersetzt aus dem Spanischem). In ihrer Forschung haben sie Pre- und Posttest bei einer

Stichprobengröße von 131 Schüler:innen im Alter zwischen 3 und 6 Jahren mit Versuchs- und Kontrollgruppen durchgeführt. Das Ziel der Forschung war die "Auswirkungen von pädagogischen Robotik-Aktivitäten auf Kindergartenkinder beim Erwerb von rechnerischem Denken und Programmierfähigkeiten zu überprüfen." (García-Valcárcel-Muñoz-Repiso und Caballero-González 2019, S. 63) Innerhalb der Interventionen arbeiteten die Kinder kooperativ mit dem Roboter Bee-Bot. Der Fokus der ersten beiden Sitzungen lag auf der Dimension sequenz, so dass die Kinder selbstständig Abfolgen von Befehlen erstellten und diese Bee-Bot ausführen ließen. In Sitzung drei und vier lag die Konzentration bei der Dimension action-instruction correspondence. Hierfür verwendeten die Schüler:innen Karten, um den Roboter sich bewegen zu lassen wie sie wollten. Die Dimension debugging rundete die Intervention mit den letzten beiden Sitzungen ab, bei denen die Kinder Sequenzen mit Fehlern ausgehändigt bekamen. Um die Aufgabe erfolgreich zu lösen, war es nötig die Fehler zu finden und zu korrigieren (vgl. García-Valcárcel-Muñoz-Repiso und Caballero-González 2019, S. 67). Zum Abschluss der Forschung ließ sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Experimental- und der Kontrollgruppe erkennen. So haben die Kinder aus der Experimentalgruppe einen wesentlichen Zuwachs bei der Kompetenz des informatischen Denkens erzielen können. Ebenso verbesserten sich ihre Kompetenzen in der Kommunikation, Zusammenarbeit und Selbstständigkeit (vgl. García-Valcárcel-Muñoz-Repiso und Caballero-González 2019, S. 69 f.).

Città et al. legten ihren 2019 Fokus bei ihrer Untersuchung auf das Thema *The effects of mental rotation on computational thinking*. Hierfür wurde die Beziehung zwischen dem räumlichen Denken und dem informatischen Denken bei 92 Kindern von der ersten bis fünften Klasse betrachtet. Die Methode der Untersuchung umfasste das Spiel *Robot-Tino Walk*. Hier wendeten die Kinder Algorithmen, Codierung und die Beseitigung von Fehlern (auf Englisch: *debugging*) an. Ein Kind übernahm die Rolle von *Robot-Tino* und die anderen Schüler:innen sollten den Roboter mithilfe von einer logischen Abfolge von Sequenzen über das Feld der Größe von 6x4-Kästchen zum Ziel führen. Dabei erfolgte eine Aufteilung der Aktivität in drei Schritte: die Ausarbeitung, das Ausführen sowie Fehlererkennung und die Behebung dieser. Zum Abschluss der Studie nahmen die 92 Kinder bei Tests zur *mental rotation* und zum *coding* teil. Die Studie wies eine positive

Korrelation zwischen der Vorstellungsfähigkeit von Rotationen und dem informatischen Denken auf.

Beyer et al. stellen in dem Buch *Die Zukunft des MINT-Lernens – Band 1. Perspektiven auf (digitalen) MINT-Unterricht und Lehrkräftebildung* das Potenzial einer Lernumgebung zum *computational thinking* vor. Diese wurde vom am Institut für Mathematik in Landau entwickelt und beinhaltet den Lerngegenstand Blue-Bot. Bei der Durchführung der Studie erfolgte die Datenerhebung mithilfe von Videoaufzeichnungen und die Auswertung nach Mayrings qualitativer Inhaltsanalyse. Untersucht wurde eine Stichprobe von acht Kindern im Alter zwischen neun und zehn Jahren in der vierten Klasse. Das Ziel der Studie war es, die Lernumgebung hinischtlich des Potenzials "zur Förderung des *Computational Thinking* aufzuzeigen und zu evaluieren." (Beyer et al. 2023, S. 79) Im Fokus befanden sich die Komponenten des *algorithmischen Denkens, Fehler finden und beheben, Muster erkennen* und *verallgemeinern*. Die *Abstraktion* und das *Zerlegen in Teilprobleme* wurden bei der Untersuchung außer Acht gelassen.

Sonstige Forschungen zu der Beziehung zwischen der Arbeit mit Blue-Bot und dem heuristischen Prinzip des Zerlegens und Ergänzen wurden nicht gefunden. Da in den dargestellten Studien eine Förderung der anderen Teilbereiche des Computational Thinking nachgewiesen werden konnte, bietet die Masterarbeit mit der Forschungsfrage Wie wirkt sich die Arbeit mit Blue-Bot auf das heuristische Prinzip des Zerlegens in Teilprobleme aus? eine nähere Betrachtung der Zerlegungs-Komponente und somit die Möglichkeit die Lücke in der Forschung zu schließen.

# 3 Die theoretischen Grundlagen zum Thema Problemlösen

Zu Beginn dieser Arbeit werden die theoretischen Grundlagen zum Thema *Problemlösen* näher betrachtet. Hierfür erfolgt eine Begriffsdefinition von relevanten Begriffen und eine nähere Klassifizierung von Problemen. Darauf werden die einzelnen Problemlösetheorien (Kapitel 3.2) vorgestellt bevor der Problemlöseprozess anhand des Modells von George Pólya in Kapitel 3.3 erläutert wird. Da Problemaufgaben sowohl mithilfe von Heurismen als auch Algorithmen gelöst werden können, werden abschließend Heurismen (Kapitel 3.4) und Algorithmen (Kapitel 3.5), mit algorithmischen Problemen und das Lösen dieser, thematisiert.

#### 3.1 Definition des Begriffs Problemlösen

Während des gesamten Lebens wird ein Mensch mit Problemen konfrontiert. Umgangssprachlich wird der Begriff oft bei Schwierigkeiten und komplizierten Situationen benutzt, wenn eine Person nicht genau weiß, wie sie dieses Problem handhaben soll. In der Literatur sind mehrere Definitionen des Begriffes *Problem* vorhanden. Nach der von Woolfolk (2008) hat "ein Problem [...] einen Ausgangszustand (die gegenwärtige Situation), ein Ziel (ein gewünschtes Ergebnis) und einen Weg, auf dem das Ziel zu erreichen ist" (Woolfolk 2008, S. 361). Sell und Schimweg (2002) strukturieren Probleme und Aufgaben in drei Komponenten (siehe Abbildung 1): Den Anfangszustand (IST), den Endzustand (SOLL) und den Weg der den Anfangszustand zum Endzustand überführt (Transformation).



Abbildung 1: Struktur von Problemen und Aufgaben Quelle: In Anlehnung an Sell und Schimweg 2002, S. 1

Erfordert es produktives Denken, um den IST-Zustand in den SOLL-Zustand zu transformieren, handelt es sich um ein Problem (vgl. Sell und Schimweg 2002, S. 1). Sozusagen befindet sich zwischen dem Ausgangs- und Zielzustand eine

Barriere, wodurch das Erreichen des Zielzustands behindert wird (vgl. Dörner 1976, S. 10; Hussy 1998, S. 20).

Die Tätigkeit das Finden einer Lösung des Problems, heißt *Problemlösen*. Unter *Problemlösen* wird die Überwindung der Barriere bezeichnet, so dass die Transformation von dem IST-Zustand in den SOLL-Zustand gelingt (vgl. Hussy 1998, S. 84; Heinrich et al. 2015, S. 280). Eine Barriere kann individuell als schwierig empfunden werden. So wird im Mathematikunterricht ein *Problem* als eine individuell schwierig erscheinende Anforderungssituation bezeichnet, bei der die Vorgehensweise zur Überwindung der Barriere unbekannt ist und zur Transformation des Anfangs- in den Zielzustand produktives Denken nötig ist (vgl. Sell und Schimweg 2002, S. 1; Bruder und Collet 2011, S. 11).

Der Begriff *Aufgabe* ist im mathematischen Fachbereich eine "Aufforderung zum Ausführen von Handlungen, die mathematisches Wissen und Können erfordern. Eine Aufgabe stellt ein Problem *für einen Lernenden* dar, wenn ihm die Lösungsschritte nicht unmittelbar bewusst sind" (Sill 2019, S. 49). Somit lässt sich sagen, dass eine Problemaufgabe vorhanden ist, wenn die problemlösende Person diese als individuell schwierig empfindet und bei der Lösung zum produktiven Denken angeregt wird (vgl. Edelmann und Wittmann 2012, S. 179). Um eine solche Aufgabe zu finden, kann sich die Lehrperson nach der Theorie von Wygotskis *Zone der nächsten Entwicklung* richten. In dieser Zone befinden sich Lernaufforderungen, die an der Grenze der bereits erworbenen Fähigkeiten und Fertigkeiten liegen und somit die Kinder herausfordern, um die *Zone der nächsten Entwicklung* zu erreichen (vgl. Hannover et al. 2014, S. 149). Das heißt die Aufgaben müssen "schwierig genug aber auch bewältigbar sein" (Bruder und Collet 2011, S. 42).

Es wird zwischen *Problemaufgaben* und *Routineaufgabe* unterschieden. Bei beiden liegt eine Barriere zwischen dem Ausgangs- und dem Zielzustand. Existiert eine Barriere die leicht beseitigt werden kann, wird diese Aufgabe eine *Routineaufgabe* genannt. Zum Erreichen des Zielzustands wendet die problemlösende Person hierbei routinemäßige Schritte an (vgl. Hussy 1998, S. 20; vgl. Zech 1996, S. 307; vgl. Winter 1992, S. 363).

Dörner (1976) klassifiziert Probleme anhand der verschiedene Barrieren, die die Transformation verhindern.

Wenn mehrere Operationen zum Erreichen des Endzustandes vorhanden sind, die richtige Kombination der Operationen aber noch gebildet werden muss, ist eine *Interpolationsbarriere* vorhanden (vgl. Dörner 1976, S. 11 f.)

Als eine *Synthesebarriere* wird eine Problemaufgabe bezeichnet, bei der die Operationen zum Erreichen des SOLL-Zustandes im Gegensatz zur Interpolationsbarriere erst noch gefunden werden muss. Hier liegt die Barriere beim Zusammenstellen der nötigen Operationen (vgl. Dörner 1976, S. 12).

Die dritte Klassifizierung wird *dialektische Barriere* genannt. Bei diesem Problemtyp ist das Ziel in den meisten Fällen nicht klar definiert, sondern nur einzelne Kriterien bekannt. Dabei erfolgt das Finden des Zielzustands mithilfe eines dialektischen Prozesses. Im Rahmen dessen wird ein Entwurf produziert, dieser auf Widersprüche hin untersucht und die gefundenen Widersprüche beseitigt. Dieses Vorgehen wiederholt sich bis der Zielzustand gefunden wurde (vgl. Dörner 1976, S. 13).

Übersichtlich werden diese drei Barrieretypen in Abbildung 2 dargestellt. Die Eigenschaften sind hier nach den Kriterien *Klarheit der Zielkriterien* und *Bekanntheitsgrad der Mittel* dargestellt. Bei der *Interpolationsbarriere* ist der Bekanntheitsgrad der Mittel hoch und die Zielkriterien klar bestimmt. Anders hingegen bei der *dialektischen Barriere*, bei der beide Kriterien gering ausgeprägt sind oder nur die Mittel bekannt sein können.

|                                |        | Klarheit der Zielkriterien |  |  |
|--------------------------------|--------|----------------------------|--|--|
|                                |        | hoch                       | gering                                     |  |
| Bekanntheitsgrad<br>der Mittel | hoch   | Interpolationsbarriere     | Dialektische Barriere                      |  |
|                                | gering | Synthesebarriere           | Dialektische Barriere und Synthesebarriere |  |

Abbildung 2: Klassifikation von Barrieretypen

Quelle: Dörner 1976, S. 14

Eine Kombination von einer Synthesebarriere und einer dialektischen Barriere ist dann vorhanden, wenn neben der geringen Klarheit hinsichtlich der Zielkriterien auch die für die Bearbeitung notwendigen Mittel gering sind (vgl. Lüddecke 2015, S. 6).

Jedoch sind die Grenzen der Klassifikation unscharf, da die Unterscheidung auch von der problemlösenden Person abhängig ist. Dörner (1976) nennt als Beispiel eine Person mit Expertenwissen im Fachbereich Chemie, für den die Herstellung von Ammoniak eine Interpolationsbarriere darstellt. Für den Laien hingegen ist es eine Synthesebarriere (vgl. Dörner 1976, S. 14).

Neben der Klassifikation von Problemen nach Dörner (1976) gibt es auch die mathematische Typisierung nach Pólya (1979), die von Kratz (1988) erweitert wurde. Die sogenannte *Pólya-Kratzsche Problemtypisierung* unterscheidet zwischen *Bestimmungs-*, *Entscheidungs-* und *Entdeckungsaufgaben*. Als Aufgaben bezeichnen die Autoren Problemaufgaben (vgl. Heinrich et al. 2015, S. 281). Unter den Typ *Bestimmungsaufgaben* fallen Aufgaben bei denen Zahlen und Größen berechnet werden. *Entscheidungsaufgabe* liegen vor, wenn eine Behauptung bewiesen oder eine Lösung einer Bestimmungsaufgabe auf Richtigkeit überprüft werden soll. Dagegen fallen Aufgaben bei denen Vermutungen zu unbekannten Gesetzmäßigkeiten aufgestellt werden in den Bereich der *Entdeckungsaufgaben* (vgl. Heinrich et al. 2015, S. 281 f.).

In der Literatur sind weitaus mehr Klassifikationen von Problemen zu finden, die sich in ihren Kategorien überschneiden, weshalb Probleme nicht klar zu klassifizieren sind ohne die problemlösende Person zu betrachten (vgl. Arbinger 1997, S. 14 f.). Denn ob eine Aufgabe eine Routine- oder Problemaufgabe darstellt, kann nur im Zusammenhang mit der lösenden Person betrachtet werden.

#### 3.2 Theorien des Problemlösens

Das vorherige Kapitel hat sich mit der Klärung der Begriffe *Problem* und *Problemlösen* sowie der Klassifizierung von Problemaufgaben auseinandergesetzt. In diesem Kapitel werden Theorien vorgestellt, die den Prozess des Problemlösens erklären.

Edelmann und Wittmann (2012) unterscheiden fünf Theorien des problemlösenden Denkens: *Problemlösen durch Versuch und Irrtum, Problemlösen durch Umstrukturieren, Problemlösen durch Anwendung von Strategien, Problemlösen durch Kreativität* und *Problemlösen durch Systemdenken* (vgl. Edelmann und Wittmann 2012, S. 181).

Problemlösen durch Versuch und Irrtum zeichnet sich durch reines Probieren aus. So versucht die problemlösende Person das Problem zu lösen, bis die richtige Lösung gefunden wurde. Bei einem irrtümlichen Versuch wird von vorne begonnen, daher der Name der Theorie: Versuch und Irrtum. Dabei handelt es sich meist nicht um reines Ausprobieren, sondern bereits um systematisches Ausprobieren (Kapitel 3.4) also um das Anwendung von Heurismen (vgl. Edelmann und Wittmann 2012, S. 181). Diese Problemlösetheorie ist ein Teil der assoziationistischen Theorien, die lerntheoretische Vorstellungen aufgreifen (vgl. Betsch et al. 2011, S. 175).

Beim *Problemlösen durch Umstrukturieren* wird die Aufgabe mehrmals umstrukturiert, bis eine Lösung gefunden wurde. Hierfür werden aus der unübersichtlichen Aufgabenstellung die relevanten Elemente herausgearbeitet, um das Problem aus einer neuen Perspektive zu betrachten und dadurch zu einer Lösung zu gelangen (vgl. Edelmann und Wittmann 2012, S. 181 f.). Diese Auffassung findet sich in der Gestaltpsychologie wieder. Ein Problem ist in der Gestalttheorie "dadurch charakterisiert, dass eine schlechte Gestalt durch Umstrukturierung infolge von Einsicht zu einer guten Gestalt gemacht wird. Der Problemlöseprozess setzt also das Erkennen der schlechten und der guten Gestalt sowie das Vorliegen von Einsicht voraus." (Betsch et al. 2011, S. 176) Als schlechte Gestalt wird eine vorliegende unübersichtliche Problemstellung bezeichnet. Durch eine plötzliche Lösungsidee, die unerwartet im Bewusstsein auftaucht und als Einsicht bezeichnet wird, kann die schlechte Gestalt so umstrukturiert werden, dass am

Ende eine gute Gestalt in Form einer Lösung vorliegt (vgl. Betsch et al. 2011, S. 175 f.; Edelmann und Wittmann 2012, S. 181 ff.).

Als Beispiel für *Problemlösen durch Anwendung von Strategien* gilt, wie in Abbildung 3 abgebildet, der Turm von Hanoi.

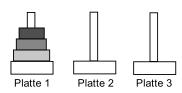


Abbildung 3: Turm von Hanoi Quelle: Eigene Darstellung

Das Ziel ist es die Scheiben von Platte 1 in der gleichen Reihenfolge auf Platte 3 zu übertragen. Dabei gelten die Regeln, dass stets nur die oberste Scheibe bewegt und keine größere Scheibe auf eine kleinere gelegt sowie eine Scheibe nicht zweimal direkt nacheinander gespielt werden darf. Eine Strategie zum Lösen des Turms von Hanoi ist die von Klix und Rautenstrauch-Goede (1967) bezeichnete *lokale Strategie*, bei der kleine Türme auf- und abgebaut werden. Wenn ein Gesamtkonzept von der problemlösenden Person zur Lösung des Problems geplant und durchgeführt wird, wendet er eine Strategie an (vgl. Edelmann und Wittmann 2012, S. 184 f.). Das Anwenden einer Strategie wird ersichtlich, wenn "das Denken in einer Abfolge von äußerlich sichtbaren Tätigkeiten und Entscheidungen beobachtet werden kann." (Edelmann und Wittmann 2012, S. 185) In Kapitel 3.4 wird das *Problemlösen durch Anwendung von Strategien* eingehender betrachtet.

Beim *Problemlösen durch Kreativität* wird im Gegenteil zur vorherigen Theorie die Lösung nicht durch eine Strategie herausgefunden, sondern die Problemlösungen zeichnen sich durch Ideenfülle und seltene, wenn nicht sogar originelle Einfälle aus. Der Prozess der kreativen Problemlösung setzt sich aus sechs Phasen zusammen: Problematisierung, Exploration, Inkubation, heuristische Regression, Elaboration und die Diffusion. Zu Beginn werden in der Phase der *Problematisierung* die Probleme erkannt und das Problemfeld erforscht. Bei der *Exploration* kommt es durch die Erforschung zu einer Umstrukturierung der Erfahrungen und Wissensbestände. Innerhalb der dritten Phase, der *Inkubation*, tritt eine emotionale Entspannung ein. Als Begleiterscheinung wird das Problem vergessen. Darauf folgt die *heuristische Regression*, die im Mittelpunkt des kreativen

Prozesses steht. Hier kommt es zu plötzlich auftauchenden Lösungsideen, die in einem Prozess verändert werden, bis durch eine abschließende Auswahl von Lösungsideen die Phase abgeschlossen wird. Anschließend wird die zusammengestellte unfertige Auswahl an Lösungsansätzen in der Phase der *Elaboration* ausgearbeitet und so formuliert, dass es für andere Problemlöser:innen verständlich ist. Der "Prozess, der eine kreative Leistung ausbreitet und durchsetzt" (Edelmann und Wittmann 2012, S. 186), wird als *Diffusion* bezeichnet und bildet den Abschluss des Prozesses der kreativen Problemlösung (vgl. Edelmann und Wittmann 2012, S. 186).

Als letzte Theorie des problemlösenden Denkens wird das Problemlösen durch Systemdenken vorgestellt. Problemsituationen die durch Systemdenken gelöst werden, zeichnen sich durch folgende Merkmale aus: Komplexität (Vielzahl zu beachtender Einflussfaktoren), Intransparenz (Kein Zugang zu allen nötigen Informationen), Vernetztheit (Faktoren beeinflussen sich gegenseitig), Eigendynamik (Problem und dessen Elemente entwickeln sich weiter), Offenheit des Zielzustandes sowie Polytelie (mehrere Ziele, die gegebenenfalls nicht vereinbar sind) (vgl. Edelmann und Wittmann 2012, S. 188 f.). Um in einer solche Problemsituation zu operieren, benötigt es kein Wenn-dann-Denken, sondern "es gilt, ein Realitätsmodell zu konstruieren oder mit anderen Worten die Struktur und Dynamik des Systems zu erfassen." (Edelmann und Wittmann 2012, S. 189) Zu Beginn einer komplexen Problemsituation ist für die weitere Planung ein klares Ziel von Relevanz. Da eine Eigenschaft der Problemsituation die Polytelie ist, kann es vorkommen, dass mehrere Ziele angestrebt werden, die sich nicht im vollen Umfang realisieren lassen. Hier ist es vonnöten Kompromisse zu finden (vgl. Edelmann und Wittmann 2012, S. 189). Der nächste Schritt ist der Erwerb von Strukturwissen. Also das Wissen über die Vernetztheit der einzelnen Elemente des Systems (vgl. Dörner 2002, S. 64). Um das nötige Wissen zu erwerben, werden Informationen gesammelt und mithilfe dieser eine Hypothese gebildet, inwiefern die Informationen zusammenhängen (vgl. Edelmann und Wittmann 2012, S. 69 f.). Anschließend ist die *Phase der Prognose und Extrapolation* an der Reihe. Hier erfolgt eine Abschätzung der Weiterentwicklung der gegebenen Situation. Anhand der Abschätzung können im nächsten Schritt die Maßnahmen geplant und beurteilt werden. Nach der Planung folgt die Entscheidung für die beste

Maßnahme und die Umsetzung dieser. Die Phase der *Realisierung* ist mit einer dauerhaften Selbstkontrolle verbunden, indem jede ausgeführte Handlung hinterfragt wird und gegebenenfalls der Prozess in einer vorherigen Phase wieder aufgenommen werden muss (vgl. Dörner 2002, S. 67 ff.). Als Schaubild wird der ganze Prozess in Abbildung 4 dargestellt.

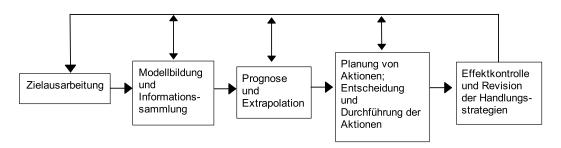


Abbildung 4: Stationen der Handlungsorganisation Quelle: In Anlehnung an Dörner 2002, S. 67

Neben den fünf Theorien von Edelmann und Wittmann (2012) haben Newell und Simon (1972) eine weitere Theorie des Problemlösen entwickelt, die noch heute als Grundlage für den Funktionalismus dient. Als Funktionalismus wird eine "Sicht bezeichnet, die Erklärungen nicht aufgrund der Geschichte oder des Kontexts eines Systems liefert, sondern vorrangig nach dessen Funktionsweise fragt." (Funke 2003, S. 60) Hier treten also die Inhalte des Lernens in den Hintergrund und die Funktionen eines Lernprozesses in den Fokus. Die Theorie von Newell und Simon setzt sich aus zwei kooperierenden Teilprozessen zusammen: dem Verstehensprozess und dem Suchprozess. Im erstgenannten Prozess gilt es eine "interne Repräsentation des Problems zu erzeugen." (Funke 2003, S. 63) Um diese Funktion zu erfüllen, wird die Problemsituation genaustens wahrgenommen, um festzustellen was der IST-Zustand ist, welche Operatoren für die Transformation nötig sind und welcher Zustand dem Zielzustand entspricht. Zusammen werden diese drei Merkmale als Problemraum bezeichnet, der im Rahmen des Verstehensprozesses mithilfe der gesammelten Informationen entworfen wird. Dabei ist der Problemraum nicht endgültig, sondern kann sich während dem Problemlöseprozess verändern. Der zweite Teilprozess nennt sich Suchprozess und zeichnet sich durch die Funktion aus, dass die Lösung des bearbeitenden Problems entwickelt wird. Innerhalb des Suchprozesses werden der IST- und der SOLL-Zustand verglichen, um Unterschiede herauszufinden, die mithilfe von Operatoren eine Transformation vom gegebenen

zum gesuchten Zustand herbeiführen können. Um den Suchprozess zu beschleunigen, eignen sich *Heurismen*, wie das Vorwärtsarbeiten und die Zwischenzielbildung. In Kapitel 3.4 wird auf die Thematik näher eingegangen. Während der Ausführung der Prozesse können diese mehrfach durchlaufen werden und erfordern keine lineare Abarbeitung (vgl. Funke 2003, S. 63 ff.; vgl. Betsch et al. 2011, S. 180 ff.).

Nach der Vorstellung der fünf Theorien des problemlösenden Denkens und der aus Teilprozessen bestehenden Theorie von Newell und Simon (1972) werden in Kapitel 3.3 die einzelnen Phasen des Problemlöseprozesses betrachtet.

#### 3.3 Der Problemlöseprozess nach Pólya

In der Literatur werden zahlreiche Verlaufsmodelle von Problemlöseprozessen vorgestellt. Die größten Unterschiede liegen bei der Bedeutung des Unterbewussten im Problemlöseprozess, der Linearität und dem Einbezug von metakognitiven Elementen. In einer Studie von Rott (2013) wurden die Prozesse von Schüler:innen beim Problemlösen ausgewertet (vgl. Heinrich et al. 2015, S. 286 ff.). Das Ergebnis lautete, dass "etwa zwei Drittel der ausgewerteten Problemlöseprozesse eher linear verlaufen" (Heinrich et al. 2015, S. 287).

Da es aufgrund der Fülle von Verlaufsmodellen in der Literatur unmöglich ist alle zu thematisieren, wird der Fokus auf das in Abbildung 5 abgebildete und häufig in der Literatur aufgeführte linear-ablaufende Problemlöseprozessmodell von George Pólya gelegt (vgl. Rasch 2001, S. 43; Pólya 2010, S. 19 ff.; Zöttl 2010, S. 53 f.; Bruder und Collet 2011, S. 18).



Abbildung 5: Phasen des Problemlöseprozesses Quelle: In Anlehnung an Pólya (2010), S. 19 ff.

Dieses dient als Orientierungshilfe während der Bearbeitung einer Problemaufgabe (vgl. Zöttl 2010, S. 53 f.; Dilling und Pielsticker 2020, S. 163 f.; Stiller et al. 2021, S. 23 f.). Bei der Bearbeitung von einigen Problemen stellte Pólya vier Phasen des Problemlöseprozess fest: Verstehen der Aufgabe, Ausdenken eines Planes, Ausführen des Planes und die Rückschau.

Zu Beginn der Beschäftigung mit einer Aufgabe gilt es die Aufgabe zu verstehen. Diese Phase bezeichnet Pólya als Verstehen der Aufgabe. Eine Aufgabe kann nur gelöst werden, wenn die Person, die sie bearbeitet diese auch versteht. Jedoch ist hierbei wichtig, dass die Aufgabe nicht nur verstanden Wille wird, sondern auch der besteht sie zu lösen. Das Verstehen einer Aufgabe beginnt mit dem Lesen und dem damit verbundenen Leseverständnis. Um als Lehrkraft herauszufinden, ob der:die Schüler:in die Stellung der Aufgabe verstanden hat, bietet es sich beispielsweise an den Schüler in eigenen Worten die Aufgabe wiedergeben zu lassen. Zur Unterstützung der Phase, kann die Lehrkraft folgende Fragen stellen: "Was ist unbekannt? Was ist gegeben? Wie lautet die Bedingung?" (Pólya 2010, S. 20) Um das Verstehen der Aufgabe zu erleichtern können heuristische Hilfsmittel, die in Kapitel 3.4.1 näher betrachtet werden, hilfreich sein (vgl. Pólya 2010, S. 19 f.).

Auf die Phase des Verstehens der Aufgabe folgt das Ausdenken eines Planes. Die problemlösende Person beginnt sich, nachdem sie die Aufgabe verstanden hat, damit zu beschäftigen, wie sie diese am besten lösen kann. Hier beginnt die Phase des Ausdenkens eines Planes. Ein Plan besteht dann, wenn wir als problemlösende Person wissen, wie wir die Aufgabe lösen können. Indem wir zum Beispiel wissen, welche Formeln und Rechnungen für das Bestimmen der Lösung benötigt werden. Um zu einem Plan zu finden, braucht es zuvor erst einmal eine Idee. So eine Idee kann durch einen sogenannten Geistesblitz kommen oder nach mehreren Versuchen, die nicht erfolgreich waren, auftauchen. Um zu einem Plan zu finden, kann die Lehrkraft auch hier wieder unterstützende Fragen stellen: "Kennst Du eine verwandte Aufgabe?" (Pólya 2010, S. 23) oder "Kannst du die Aufgabe anders ausdrücken?" (Pólya 2010, S. 23) Die erste Frage verweist auf das Analogieprinzip als heuristisches Prinzip, auf welches in einem späteren Kapitel eingegangen wird. Die Umformulierung der Aufgabe, durch die der Problemlöser mit der letzteren Frage aufgefordert wird, kann zu einer tieferen Auseinandersetzung der Aufgabenstellung beitragen und somit ein Geistesblitz zur Entstehung eines Planes beitragen. Damit keine Aufgabenteile vergessen werden, eignet sich zum Abschluss dieser Phase die Frage, ob alle Daten benutzt wurden (vgl. Pólya 2010, S. 22 ff.).

Nachdem der Plan erfolgreich entwickelt wurde, erfolgt die *Ausführung des Planes*. Um eine erfolgreiche Ausführung zu gewährleisten sind mehrere Faktoren relevant: "früher erworbene Kenntnisse, geistige Disziplin, Konzentration auf den Zweck, und noch etwas: Glück." (Pólya 2010, S. 26) Als wichtigster Punkt nennt Pólya die Geduld der problemlösenden Person. Während der Ausführung des Planes ist es nötig, dass jeder Schritt kontrolliert wird, um mögliche Fehler zu vermeiden (vgl. Pólya 2010, S. 26 f.). Als Leitfragen eignen sich für diese Phase folgende: "Kannst Du deutlich sehen, dass der Schritt richtig ist? Kannst Du […] beweisen, dass der Schritt richtig ist?" (Pólya 2010, S. 27)

Als letzte Phase des Problemlöseprozesses nennt Pólya die Rückschau. Diese bezeichnet er als "eine wichtige und lehrreiche Phase der Arbeit" (Pólya 2010, S. 28). Oft wird diese von Schüler:innen jedoch ausgelassen, da sie sich ihre Lösungen und die Wege, die dorthin geführt haben, nicht noch einmal anschauen. Dadurch verpassen sie eine Chance ihr erworbenes Wissen zu festigen. So sagt Pólya, dass "ein guter Lehrer [...] die Ansicht vertreten und sie seinen Schülern einprägen [sollte], da[ss] überhaupt niemals eine Aufgabe vollständig erschöpft ist." (Pólya 2010, S. 28) Um die Phase der Rückschau als Lehrkraft anzuregen und zu unterstützen, eignen sich die Frage "Kannst Du das Resultat kontrollieren?" (Pólya 2010, S. 29) Durch diese Phase wird die problemlösende Person aufgefordert die Aufgabe erneut durchzugehen und zu schauen, ob die Lösung die Richtige ist. Auch eignet sich die gelöste Aufgabe für eine mögliche kommende Problemlöseaufgabe, bei der sich auf die bereits gelöste rückbesinnt werden kann. Für diesen Zweck bietet sich die Frage an, ob "Du das Resultat oder die Methode der Lösung für irgendeine andere Aufgabe gebrauchen" (Pólya 2010, S. 29) kannst (vgl. Pólya 2010, S. 28 f.). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei der Rückschau das Endergebnis der Problemaufgabe überprüft und diskutiert werden soll (vgl. Rasch 2001, S. 43).

Die Problemlösephasen von Pólya werden als lineares Modell gesehen, wodurch die Gefahr besteht, dass der Fokus auf der linearen Ausführung liegt. Jedoch liegt dem Problemlöseprozess oft was dynamisches zugrunde, indem die problemlösende Person sich sprunghaft zwischen den Phasen bewegt (vgl. Heinrich et al. 2015, S. 287).

#### 3.4 Die Heuristik

Um Probleme erfolgreich lösen zu können, gibt es die Möglichkeit Heurismen und Algorithmen (Kapitel 3.5) anzuwenden (vgl. Wessells 1994, S. 356). Auf ersteres wird in diesem Kapitel näher eingegangen. Heurismen kommen aus der Heuristik, einem Teilgebiet der Mathematik. Das Wort Heuristik stammt von dem griechischen Wort εὐρίσκειν und bedeutet übersetzt entdecken (vgl. Gigerenzer und Zimmer 2021). Allgemein wird unter dem Begriff der Heuristik von Pólya (1979) und Hussy (1998) das Finden von möglichen Methoden zum Lösen einer Aufgabe verstanden (vgl. Pólya 1979, S. 10; Hussy 1998, S. Nach Woolfolk (2008) ist Heuristik "eine allgemeine Suchstrategie, die zu einer richtigen Antwort führen kann." (Woolfolk 2008, S. 365) Verglichen wird sie auch mit einer "Daumenregel [...], [die] zur Problemlösung eingesetzt werden kann, ohne [dabei] eine Lösung zu garantieren." (Wessells 1994, S. 356) Zusammengefasst bezeichnet sich die Heuristik also als "Theorie und Praxis des Problemlösens." (Stiller et al. 2021, S. 16) Bei der näheren Auseinandersetzung mit Lösungswegen von Problemen formulierte bereits Pólya Heurismen. Definiert wird ein Heurismus als "wiederkehrendes spezifisches, planvolles, organisiertes Vorgehen zum Auffinden eines Weges zur Lösung eines Problems." (Stiller et al. 2021, S. 16) Bei dem Auffinden eines solchen Weges ist eine Kombination aus mehreren Heurismen notwendig (vgl. Stiller et al. 2021, S. 16). Bruder und Collet (2011) unterscheiden hierbei zwischen heuristischen Hilfsmitteln, heuristischen Strategien, heuristische Prinzipien und heuristische Regeln (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 36).

#### 3.4.1 Heuristische Hilfsmittel

Zu Beginn werden die heuristischen Hilfsmittel betrachtet. Diese unterstützen Pólyas erste Phase *Verstehen des Problems* (siehe Kapitel 3.3), da die Hilfsmittel helfen das Problem zu verstehen und zu strukturieren. Im Fokus steht hierbei die Frage, wie die "Problemstellung veranschaulich[t] oder anders dargestell[t]" (Bruder und Collet 2011, S. 46) werden kann.

So kann beispielsweise die *informative Figur*, besser bekannt unter dem Begriff Skizze, helfen das Problem zu verstehen, indem die Informationen aus der Aufgabe visualisiert werden. Durch die Visualisierung besteht die Möglichkeit

Beziehungen und andere relevante Aspekte aus der Aufgabe zu erkennen, die zuvor nicht ersichtlich wurden. Auch bei der zweiten Phase des Problemlöseprozesses nach Pólya können *informative Figuren* hilfreich sein, um einen möglichen Lösungsplan festzuhalten (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 46 ff.).

Ein weiteres Hilfsmittel stellt die *Tabelle* dar. Diese kann bei der heuristischen Strategie des *systematischen Probierens* hilfreich sein (vgl. Zöttl 2010, S. 52; Bruder und Collet 2011, S. 56). In einer Tabelle können die Daten und Informationen aus der Aufgabenstellung sowohl sinnvoll reduziert und strukturiert als auch bei der Phase *Ausführung des Plans* genutzt werden, indem systematisch mithilfe der Tabelle nach einer Lösung gesucht wird (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 56 ff.). Als Beispiel zur Veranschaulichung eignet sich die Beine-Aufgabe mit den Hühnern und den Pferden: Es gibt in einem Stall 80 Tiere mit insgesamt 200 Beinen. Wie viele Hühner und Pferde gibt es?

| Pferde | Hühner | Tiere | Beine |
|--------|--------|-------|-------|
| 79     | 1      | 80    | 318   |
| 50     | 30     | 80    | 260   |
| 40     | 40     | 80    | 240   |
| 30     | 50     | 80    | 220   |
| 20     | 60     | 80    | 200   |

Tabelle 1: Tabelle als Hilfsmittel bei der Lösung der Beine-Aufgabe Quelle: Eigene Darstellung

Bei dieser Aufgabe wird eine Tabelle mit vier Spalten genutzt, um eine Übersicht über die jeweilige Anzahl der Tiere, der Summe der Tiere und die Summe der Beine zu erhalten (siehe Tabelle 1). Nachdem in der zweiten Zeile ersichtlich wird, dass es zu viele Beine sind, geht die problemlösende Person in Zehner-Schritten bei der Anzahl der Pferde nach unten und verändert die Hühner entsprechend. Nachdem sich die Anzahl der Beine schrittweise annähert, wird in der sechsten Zeile das Ergebnis gefunden und der Suchprozess abgeschlossen. Somit dient die Tabelle bei der Lösung der Aufgabe als eine Hilfe zur Übersicht der Suchprozesse bis die endgültige Lösung gefunden wird (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 57).

Das angeeignete Wissen als *heuristisches Hilfsmittel* steht bei dem *Wissensspeicher* im Mittelpunkt. Die Schlüsselfrage hier lautete: "Wie kann ich vorgehen, wenn ich eine für mich schwierige Mathematikaufgabe lösen will?" (Bruder und Collet 2011, S. 62). Um diese Frage zu beantworten, greift die bearbeitende Person auf ihr Wissen mit Begriffen, Formeln und Verfahren zurück, die innerhalb des Lebens gelernt wurde. Bruder und Collet (2011) vergleichen den Wissensspeicher mit einem Merkheft, indem alle wichtigen Begriffe und Verfahren notiert werden. So beinhaltet der Wissensspeicher auch Heurismen, die das Individuum kennengelernt hat und verknüpft diese zu ihrem eigenen Problemlösemodell (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 61 f.).

Der *umstrukturierte Wissensspeicher* besteht ebenfalls wie der *Wissensspeicher* aus erworbenem Wissen. Der wesentliche Unterschied liegt hier bei der Strukturierung des Wissensspeichers. So werden mathematischen Zusammenhängen nach Voraussetzungen sowie zugeordneten Behauptungen sortiert, sodass eine Übersicht über den kompletten Themenbereich als Endergebnis entsteht (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 62 f.).

Lösungsgraphen als heuristisches Hilfsmittel werden bei Aufgaben mit mehrschrittigen Lösungswegen angewendet, um einen Überblick zu erhalten. Dadurch können die Voraussetzungen der Aufgabe und das Ziel sowie die Zwischenziele mithilfe des Lösungsgraphen in Einem dargestellt werden (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 64 ff.).

Das letzte heuristische Hilfsmittel ist eine Gleichung. Besonders geeignet ist diese zur reduzierten Darstellung der Informationen des Aufgabentextes, während der Phase des Verstehens der Aufgabe nach Pólya. Im Vergleich zu den vorhergenannten Hilfsmitteln ist die Gleichung das am "anspruchsvollste heuristische Hilfsmittel" (Bruder und Collet 2011, S. 67) mit einer Gefahr die Aufgabenstellung falsch in einer Gleichung wiederzugeben. Daher ist es relevant, dass die bearbeitende Person sich ausreichend mit der Aufgabenstellung befasst sowie über das nötige Fach- und Strategiewissen verfügt (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 67 f.).

#### 3.4.2 Heuristische Strategien

Von Problemlösestrategien wird gesprochen, wenn "bei der Lösung von Problemen bestimmte geplante Handlungssequenzen angewendet werden und der Zielzustand über ein zielgerichtetes Verfahren erreicht wird" (Zöttl 2010, S. 50). Im Gegensatz zu den *heuristischen Hilfsmitteln* unterstützen die *Strategien* die bearbeitende Person in der Phase *Ausdenken eines Planes*. Nachdem das Problem verstanden wurde, werden die heuristischen Strategien angewendet, um den Prozess der Lösungsfindung zu fördern. Hauptsächlich dienen sie als Hilfe zur Orientierung und Unterstützung, jedoch nicht als Lösungsgarantie (vgl. Stiller et al. 2021, S. 32). Dabei sind die Strategien flexibel einsetzbar und können nicht nur bei mathematischen Problemen angewendet werden (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 68 f.).

Ein Kind bekommt das Spiel Rush Hour vorgelegt und soll versuchen das rote Auto durch den Stau zu der Ausfahrt zu lotsen. Hierfür ist es nötig die anderen Autos so zu verschieben, dass sein Auto Richtung Ausfahrt kommt. Zu Beginn wird es versuchen die Autos beliebig zu verschieben. Dies ist noch keine heuristische Strategie. Erst wenn es versucht, gezielt die Autos direkt vor ihm so zu verschieben, dass er das Auto immer weiter zur Ausfahrt bewegen kann, wird diese Strategie als Systematisches Probieren bezeichnet. Der Unterschied zwischen den beiden Arten von Probieren liegt darin, dass Muster erkannt werden und somit eine Strukturierung des Problems erfolgt. Wie bei dem genannten Beispiel wird diese Strategie bevorzugt auf der enaktiven oder ikonischen Ebene nach Bruner angewendet (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 70 ff.). Bruner unterscheidet zwischen der enaktiven (handelnden), der ikonischen (bildlichen) und der symbolischen (mathematische Zeichen oder verbale Äußerung) Darstellungsebene. Im Laufe der Entwicklung von Fähigkeiten arbeiten Kinder zuerst auf der enaktiven Ebene bis sie über die ikonische bei der symbolischen Ebene ankommen (vgl. Zech 1996, S. 104 f.).

Beim *Vorwärtsarbeiten* wird versucht von den gegebenen Informationen hin zum gesuchten Ziel zu arbeiten, also eine Aufgabenbearbeitung mit Blickrichtung zum Ziel (vgl. Grieser 2013, S. 118). Bei der Anwendung entstehen so schrittweise Zwischenziele die zum Abschluss das gesuchte Ziel erreichen. Diese Strategie findet im Alltag häufig Anwendung, beispielsweise wenn eine Reise ansteht und

der Koffer noch nicht gepackt ist. In der Primarstufe lernen Schüler:innen *Vorwärtsarbeiten* als eine der ersten Problemlösestrategien kennen (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 76 ff.). Im Fokus steht hier die Frage: "Was kann ich aus dem folgern, was ich schon weiß?" (Bruder und Collet 2011, S. 76)

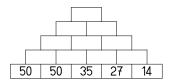


Abbildung 6: Rechenmauer mit Basissteinen Quelle: Eigene Darstellung

Ein Beispiel für die genannte Strategie ist in Abbildung 6 dargestellt und stellt eine Rechenmauer mit Basissteinen dar. Mit der Leitfrage was daraus gefolgert werden kann, addieren die Kinder die Basissteine und rechnen schlussendlichen den Wert des Zielsteins aus.

Im Vergleich zum *Vorwärtsarbeiten* steht das entgegengesetzte Arbeiten vom gesuchten Ziel hin zu den gegebenen Informationen beim *Rückwärtsarbeiten* im Mittelpunkt (vgl. Grieser 2013, S. 118). Dabei lautet die Schlüsselfrage: "Wie kann ich das Ziel erreichen?" (Grieser 2013, S. 118) Auch diese Strategie findet im Alltag oft Anwendung. Beispielsweise wenn etwas nicht wiedergefunden wird und somit überlegt werden muss, wo der vermisste Gegenstand als letztes gesehen wurde und die ab dem Moment erledigten Tätigkeiten Schritt für Schritt nachvollzogen werden. Jedoch benötigt es beim Bearbeiten von Aufgaben mit der Strategie des *Rückwärtsarbeiten* die Fähigkeit reversibel denken zu können und die Formulierung eines klaren Zieles (vgl. Rasch 2001, S. 54; Bruder und Collet 2011, S. 79).

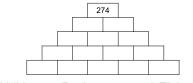


Abbildung 7: Rechenmauer mit Zielstein Quelle: Eigene Darstellung

Diese Strategie wird ebenfalls in der Primarstufe thematisiert. Beispielsweise bei der Beschäftigung mit einer Rechenmauer wie in Abbildung 7. Die Schüler:innen haben den Zielstein gegeben und vervollständigen nun mithilfe von Subtraktion die restlichen Steine der Rechenmauer, bis sie bei den Basissteinen angekommen sind.

Die beiden zuletzt genannten heuristischen Strategien lassen sich kombinieren, zu einem kombinierten Vorwärts- und Rückwärtsarbeiten. Hierbei kann zwischen den beiden Strategien abgewechselt werden, wodurch Zwischenziele von dem Rückwärtsarbeiten für das Vorwärtsarbeiten entstehen und umgekehrt (vgl. Dörner 2002, S. 237 ff.).

Die heuristische Strategie der Analogieschlüsse beschäftigt sich mit der "Aktualisier[ung] und Durchmuster[ung] bisheriger Aufgabenlöseerfahrungen im Hinblick auf mögliche Ähnlichkeiten (Analogien) zum vorliegenden Problem." (Bruder und Collet 2011, S. 83) Bei der Anwendung dieser Strategie wird das vorliegende Problem auf Ähnlichkeiten zu einer bereits gelösten Aufgabe untersucht. Erweist sich die Untersuchung als erfolgreich, gilt es die damals angewendeten Vorgehensweise ins Gedächtnis zu rufen und zu schauen, ob diese für das vorliegende Problem ebenfalls geeignet ist. Falls die Problemstellung keine direkte Ähnlichkeit aufweist, kann es sein dass die Teilprobleme einen Analogieschluss zulassen (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 83 f.).

Als letzte heuristische Strategie wird die Rückführung von Unbekanntem auf Bekanntes aufgeführt. Diese umfasst ein "Umstrukturieren, Erweitern oder Aussondern von Informationen der Aufgabe mit dem Ziel, Analogieschlüsse zu ermöglichen." (Bruder und Collet 2011, S. 84) So kann eine Problemaufgabe umstrukturiert werden, um sie in einfachere Teilaufgaben zu zerlegen. Diese Umstrukturierung kann somit die Rückführung von einer unbekannten Problemaufgabe auf einfachere bekannte Teilaufgaben ermöglichen (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 84).

#### 3.4.3 Heuristische Prinzipien

Die heuristischen Prinzipien sind im Vergleich zu den eben genannten Strategien Vorgehensweisen, die stärker an den fachlichen Inhalt gebunden sind und "die mit den Beweglichkeitsqualitäten des Denkens Aspektwechsel und Aspektbeachtung korrespondieren." (Bruder und Collet 2011, S. 87) Trotz der stärkeren Gebundenheit an die Fachinhalte lassen sich Bezüge zum Alltag herstellen. Im Folgenden wird auf die heuristischen Prinzipien näher eingegangen, die für den Mathematikunterricht der allgemeinbildenden Schulen interessant sind (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 87 f.).

Das Prinzip Zerlegen und Ergänzen anzuwenden, bietet sich an, wenn ein Problem im Gesamten als zu groß empfunden wird und daher in kleinere Teilprobleme zerlegt wird. Genannt wird das Vorgehen auch Zerlegen in Teilprobleme (vgl. Sill 2019, S. 63). Durch die Bearbeitung und das Lösen der Teilprobleme wird zeitgleich auch das Problem in der Gesamtheit erfolgreich bearbeitet (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 193). Das Prinzip wird auch als Heurismus der Modularisierung oder als Divide-Conquer-Glue-Strategie bezeichnet. Das Vorgehen bei der Divide-Conquer-Glue-Strategie lautet:

"Man zerlege das Problem P in Subprobleme  $P_1$ , …,  $P_n$  ('Divide'). Man löse die Suprobleme  $P_1$ , …,  $P_n$  ('Conquer'). Man kombiniere die Lösungen der Subprobleme zu einer Lösung des Ausgangsproblems P ('Glue')." (Schwarz 2018, S. 236)

Die *Modularisierung* ist eine erfolgreiche Methode aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz und kann als Problemlösemethode in der Mathematik angewendet werden (vgl. Winter 2002, S. 107; Beckmann 2003, S. 32; Schwarz 2018, S. 236).

Ein weiteres heuristisches Prinzip ist die Fallunterscheidung, bei der eine Problemaufgabe vollständig zerlegt wird. Die Einzelfälle werden von der problemlösenden Person untersucht und gelöst, so dass die einzelnen Lösungen in der Gesamtheit die Lösung der Problemaufgabe ergeben. Die Fallunterscheidung gilt als ein Spezialfall des Zerlegens (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 95 f.).

Bei dem *Prinzip der Invarianz* "geht es um das Erkennen, die Suche nach oder die Konstruktion von Konstanten, Bezugsgrößen oder Gemeinsamkeiten in den Informationen der Aufgabenstellung." (Bruder und Collet 2011, S. 96) Eine der Hauptfragen lautet: "Was bleibt gleich?" (Sill 2019, S. 193) Ein Beispiel für eine Aufgabe zur Anwendung des Prinzips stellen Altersrätsel dar: Klaus ist 7 Jahre jünger als Sabine. Zusammen sind sie 43 Jahre alt. Wie alt ist Klaus und wie alt ist Sabine? Hier ist die Invariante, also das Gleichbleibende, der Altersunterschied zwischen Sabine und Klaus (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 96 f.).

Das *Extremalprinzip* richtet den Fokus auf das Optimieren von Entscheidungen, indem nach am Rande liegenden Elementen gesucht wird, mit denen der weitere Lösungsweg geplant werden kann. Dies hat den Hintergrund mit einem möglich

kleinen Aufwand die Lösung der Aufgabe zu finden (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 98 ff.).

Mit der "Suche nach Symmetrien [...] zwischen den Elementen der durch die Problemstellung gegebenen Informationsmenge" (Bruder und Collet 2011, S. 100) setzt sich das *Symmetrieprinzip* auseinander. Wenn solche Musteranalogien gefunden wurden, können diese für die weitere Aufgabenbearbeitung genutzt werden (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 100 ff.).

Bei dem letzten zu nennenden *heuristischen Prinzip* wird das Problem in einem innermathematischen Modellierungsprozess erweitert. Um *das Transformations-prinzip* anwenden zu können, benötigt es fortgeschrittene mathematische Fähigkeiten und Kenntnisse. Diese werden erst in den höheren Klassenstufen erworben (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 103 f.).

#### 3.4.4 Heuristische Regeln

Heuristische Regeln sind Empfehlungen, wie ein Problem planvoll gelöst werden kann. Pólya unterscheidet bei den heuristischen Regeln zwischen allgemeinen und speziellen Regeln. Als allgemeine Regeln werden Handlungsanweisungen verstanden, die "im Allgemeinen für jede Problemaufgabe Gültigkeit besitzen." (Bruder und Collet 2011, S. 104) Die speziellen Regeln geben für einen gewissen Themenbereich, wie beispielsweise Treffpunkt- oder Prozentrechenaufgaben, der problemlösenden Person Empfehlungen an die Hand (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 104 ff.).

Im Vergleich zu den anderen drei Heurismen sollen heuristische Regeln nicht explizit gelehrt werden. Stattdessen bietet es sich an, dass die Schüler:innen gemeinsam eigene heuristische Regeln durch die Reflexion von eigenen Problemlöseerfahrungen aufstellen (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 109 ff.).

#### 3.5 Problemlösen und Algorithmen

In Kapitel 3.4 wurden *Heurismen* vorgestellt, die schnell zu einer Lösung eines Problems führen können, aber nicht immer zielführend sind. Im Gegensatz dazu stehen *Algorithmen*. Definiert wird der Begriff als ein "Schritt-für-Schritt-Verfahren beim Problemlösen" (Woolfolk 2008, S. 365), das mit Sicherheit zu einer Lösung des Problems führt (vgl. Hussy 1998, S. 106 f.). So benötigt die problemlösende Person kein Hintergrundwissen zu dem Problem und wie man dieses löst, denn ein *Algorithmus* ist nach Wessells (1994) "eine Lösungsmethode, die immer einen bestimmten Problemtyp löst, selbst wenn der[:die] Lösende gar nicht weiß, warum diese Methode funktioniert." (Wessells 1994, S. 356)

Ein klassisches Beispiel eines *Algorithmus* ist ein Kochrezept. Gegeben sind die Zutaten und mithilfe des Algorithmus in Form des Rezepts wird eine Speise zubereitet. Harel und Feldman (2010) bezeichnen die Zutaten als Eingaben, die Speise als Ausgabe und das Rezept als Algorithmus (vgl. Harel und Feldman 2010, S. 5 f.). In der untenstehenden Abbildung wird der Prozess veranschaulicht.



Abbildung 8: Darstellung des Prozesses bei der Zubereitung einer Speise Quelle: In Anlehnung an Harel und Feldman 2010, S. 5

Algorithmen begegnen uns nicht nur beim Kochen sondern auch beim Zähneputzen oder beim Reifenwechseln und sind somit ein wesentlicher Bestandteil unseres Lebens (vgl. Harel und Feldman 2010, S. 6). Auch im Bereich der Mathematik sind Algorithmen von Bedeutung. Bereits in der Grundschule sammeln die Schüler:innen erste Erfahrungen, indem sie beispielsweise die Verfahren der schriftlichen Grundrechenarten kennen- und anwenden lernen (vgl. Ziegenbalg 2015, S. 324).

Das Arbeiten mit Algorithmen sowie die Methoden des algorithmischen Problemlösens sind im Spektrum der Algorithmik enthalten (vgl. Ziegenbalg 2015, S. 303). Algorithmik und die dahin enthaltenen Algorithmen gelten als "Kern der Informatik" (Harel und Feldman 2010, S. 6). Die Informatik wird als eine wissenschaftliche Disziplin bezeichnet, "die sich mit der systematischen und automatischen Verarbeitung, Speicherung und Übertragung von Daten aus Sicht der Hardware, der Software, der Grundlagen und Auswirkungen befasst." (Schubert und Schwill 2011, S. 2) Diese Wissenschaft gehört, seitdem Computer und andere digitale Endgeräte unseren Alltag prägen, zu der Lebenswirklichkeit der Kinder. Denn "Informatik [ist] überall dort, wo Abläufe automatisiert gesteuert und geregelt [...], Daten digital gespeichert und ausgegeben [...]. Daten übertragen [...] oder Daten verändert und berechnet werden" (Bergner et al. 2018, S. 40).

Eine Handlungsanweisung gilt als Algorithmus, wenn folgende Eigenschaften nach Rimscha (2008) erfüllt sind:

- Die erste Eigenschaft eines Algorithmus ist die Allgemeingültigkeit. Die entwickelte Handlungsanweisung soll nicht nur bei dem vorliegenden Problem zu einer Lösung führen, sondern auch bei Problemen mit einer gleichartigen Aufgabenstellung (vgl. Rimscha 2008, S. 3).
- Neben der Allgemeingültigkeit besitzt ein Algorithmus die Eigenschaft der Ausführbarkeit. Damit ein Algorithmus diese Eigenschaft erfüllt, "müssen endlich viele Anweisungen eindeutig, verständlich und in einer klaren Reihenfolge gegeben sein." (Rimscha 2008, S. 3)
- 3. Als letzte Eigenschaft wird die *Endlichkeit* eines Algorithmus aufgeführt. Die Handlungsanweisung sollte also ein Ende haben, an dem die Berechnung zu einer Lösung gekommen ist (vgl. Rimscha 2008, S. 3 f.).

Wie bereits am Anfang des Kapitels erwähnt, eignen sich Algorithmen zur Lösung von Problemen. Darauf wird im Folgenden näher eingegangen.

#### 3.5.1 Algorithmische Probleme

Als *algorithmische Probleme* werden Probleme bezeichnet, die mithilfe eines Algorithmus gelöst werden können. Ein solches Problem gilt als gelöst, wenn ein entsprechender Algorithmus entwickelt wurde (vgl. Harel und Feldman 2010, S. 18). Im Bereich der Informatik ist ein solches Problem definiert durch "die Beschreibung der Menge zulässiger Eingaben […] und die Beschreibung der Funktion, die jeder zulässigen Eingabe die nicht leere Menge korrekter Ausgaben (Antworten, Ergebnisse) zuweist" (Wegener 2003, S. 13).

#### 3.5.2 Lösen von algorithmischen Problemen

Ein algorithmisches Problem lässt sich mit einem "Algorithmus mit elementaren Anweisungen, die Aktionen aus der vorher vereinbarten Menge beschreiben" (Harel und Feldman 2010, S. 19), lösen. Jedoch wird das Problem nur durch den Algorithmus gelöst, wenn die Eingabe zulässig und die korrekte Ausgabe am Ende gegeben ist. Eine Eingabe ist dann zulässig, wenn sie dem Zweck des Algorithmus entspricht. Bei dem Beispiel aus Abbildung 4 kann die Eingabe dementsprechend keine Radmutter sein, da diese sich nicht als Zutat einer Speise eignet (vgl. Harel und Feldman 2010, S. 18 ff.).

Das Vorgehen bei der Lösung eines algorithmischen Problems im Bereich der Informatik ist in mehrere Schritte untergliedert. Der erste Schritt ist die Analyse des Problems. Darauf folgt das Herausfinden eines möglichen Lösungsweges und die Entwicklung eines Algorithmus. Hierfür ist es wichtig, dass die problemlösende Person die Problemstellung genaustens analysiert und verstanden hat. In Folge dieses Schrittes entsteht ein Algorithmus, der im darauffolgenden Schritt in ein Programm mithilfe einer Programmiersprache übersetzt wird. Diese Aktivität wird auch *Codierung* genannt. Nach dieser Phase der Problemlösung wird der Computer eingesetzt, um die Lösung zu erstellen. Hierbei finden mehrere kleine Prozesse statt, wie "das Erstellen (Editieren) des Programms, das Prüfen auf syntaktische Korrektheit [...] sowie das Testen des Programms" (Richter et al. 1993, S. 31). Während des Prozesses kann es zu Fehlern kommen, weshalb es sein kann, dass einige Schritte wiederholt werden müssen bis am Ende die korrekte Lösung als Endprodukt produziert wird (vgl. Richter et al. 1993, S. 30 f.).

#### 4 Problemlösen in der Grundschule

Es ist von Bedeutung, dass die Kinder "Problemlösen von Anfang an" (Bruder und Collet 2011, S. 110) lernen, sodass das Ziel des Problemlösens nicht die Lösung an sich ist, sondern der gesamte Prozess des Problemlösens (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 110). Zudem ist nach Edelmann und Wittmann (2012) die Erhöhung der Denkfähigkeit nur im Kontext mit der Bearbeitung von Problemen gegeben, weshalb es vonnöten ist Probleme im Unterricht zu lösen (vgl. Edelmann und Wittmann 2012, S. 194). Denn "Problemlösendes Denken entwickelt sich nicht als Zusatzeffekt beim Wissenserwerb." (Edelmann und Wittmann 2012, S. 194)

In diesem Kapitel wird Problemlösen im Kontext der Grundschule betrachtet. Hierfür wird in Kapitel 4.1 der Kompetenzbegriff und der Bezug zu den Bildungsstandards sowie dem Bildungsplan des Landes Baden-Württemberg näher betrachtet, bevor im selben Kapitel Aspekte des problemlösenden Mathematikunterrichts thematisiert werden. Darauf folgt im nächsten Abschnitt ein Vergleich der beiden mathematischen prozessbezogenen Kompetenzen Problemlösen und Modellieren sowie die Vorstellung des informatischen Modellierens. Zum Abschluss wird in Kapitel 4.3 der Lerngegenstand Blue-Bot vorgestellt.

#### 4.1 Problemlösen als Kompetenz

Wenn eine Person verschiedenartige Probleme erfolgreich bewältigen kann, wird von einer guten Problemlösekompetenz gesprochen. Doch wie wird eine Kompetenz definiert und wodurch zeichnet sich die Problemlösekompetenz aus? Diese Fragen werden in folgendem Kapitel näher beleuchtet.

Der Ursprung des Begriffs Kompetenz findet sich in dem lateinischen Wort competere, dass übersetzt mehrere Bedeutungen hat, unter anderem passen oder zu etwas fähig sein. Weinert (2001) definiert den Kompetenzbegriff folgendermaßen:

"Kompetenzen sind die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können" (Weinert 2001, S. 27 zit. n. Schubert und Schwill 2011, S. 111)

Grassmann et al. (2020) bezeichnen ein Kind als kompetent, wenn es in der Lage ist und dementsprechend fähig die Tätigkeit auszuführen (vgl. Grassmann et al. 2020, S. 14). So "äußern sich [Kompetenzen] in Tätigkeiten, in denen ein Kind Leistungsanforderungen bewältigt." (Grassmann et al. 2020, S. 14)

Als Problemlösekompetenz wird "die Fähigkeit und Fertigkeit, Probleme zu lösen" (Stiller et al. 2021, S. 218) definiert. Dabei ist die Fähigkeit Probleme zu lösen nicht an einen Fachbereich gebunden, sondern findet auch in alltäglichen Situationen des Lebens Anwendung (vgl. Stiller et al. 2021, S. 180). Des Weiteren hilft es in Problemsituationen flexibel agieren zu können, indem komplex und vernetzt gedacht wird (vgl. Wessells 1994, S. 338).

Nach der Veröffentlichung von den Ergebnissen der PISA-Studie der OECD (Organisation for Economic Cooperation und Development) aus dem Jahr 2000 kam es zu einer Umwälzung in der Bildungspolitik. Die PISA-Studie ist eine internationale Vergleichsstudie bei dem Deutschland das erste Mal im Jahr 2000 teilgenommen hat. In diesem Jahr standen im Mittelpunkt der Studie die Lesekompetenz der 15-jährigen Teilnehmer:innen. Zusätzlich gab es Testteile zum Fachbereich Mathematik und den Naturwissenschaften. Die Auswertung der Studie ergab, dass die deutschen Schüler:innen sich im internationalen Vergleich im unteren Mittelfeld bewegen. Nach der Veröffentlichung der für die Gesellschaft und Bildungspolitik erschreckenden Ergebnisse wurde die Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (abgekürzt: KMK) einberufen. Im Rahmen dieser Ständigen Konferenz der Kultusminister entstanden die 2003 veröffentlichten Bildungsstandards. In der nächsten PISA-Stduie 2003 lag der Fokus der Studieninhalte bei den mathematischen Fähigkeiten und Fertigkeiten. Dabei erfolgte auch eine Testung der Problemlösefähigkeit. Die Ergebnisse ergaben, dass 40% der Schüler:innen auf der untersten Stufe der Problemlösekompetenz-Skala einzuordnen sind (vgl. Stiller et al. 2021, S. 182 ff.).

Die von der Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland beschlossenen Bildungsstandards gelten bundesweit und wurden für den Primarbereich, den Hauptschulabschluss, den Mittleren Schulabschluss und die Allgemeine Hochschulreife verfasst (vgl. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2022b). Der Fokus in dieser Arbeit liegt auf den Bildungsstandards des Primarbereichs.

Die Bildungsstandards der Grundschule beinhalten inhaltliche und allgemeine mathematische Kompetenzen, über die Schüler:innen am Ende der vierten Klasse verfügen sollten.

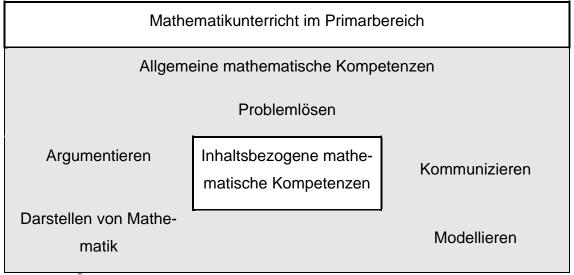


Abbildung 9: Übersicht der allgemeinen Kompetenzen des Mathematikunterrichts Quelle: In Anlehnung an Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2005, S. 7

Die fünf allgemeinen mathematischen Kompetenzen sind *Problemlösen, Argumentieren, Kommunizieren, Darstellen von Mathematik* und *Modellieren* (siehe Abbildung 9).

2022 veröffentlichte das Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland eine überarbeitete Version der Bildungsstandards für das Fach Mathematik des Primarbereichs aus dem Jahr 2004. In Folge einer Bedarfsanalyse wurde ein hoher Entwicklungsbedarf bei den Bildungsstandards festgestellt, weshalb eine Weiterentwicklung beauftragt wurden. Die überarbeiteten Bildungsstandards aus 2022 gewährleisten laut Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2022a) "eine deutlich höhere stufenübergreifende Konsistenz." (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2022a, S. 3)

Die allgemeinen beziehungsweise prozessbezogenen Kompetenzen heißen nach der Weiterentwicklung: mathematisch argumentieren, mathematisch kommunizieren, Probleme mathematisch lösen, mathematisch modellieren, mathematisch darstellen und mit mathematischen Objekten und Werkzeugen arbeiten (vgl. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2022a, S. 9 ff.).

Neben den allgemeinen und inhaltsbezogenen mathematischen Kompetenzen beinhaltet die aktuelle Fassung der Bildungsstandards Kompetenzen für die digitale Welt. Hinsichtlich der digitalen Bildung hat das Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2017) die Strategie Bildung in der digitalen Welt veröffentlicht. Denn durch die zunehmende Digitalisierung ist es nötig, dass die Schüler:innen Fähigkeiten und Fertigkeiten für einen Umgang in der digitalen Welt erwerben (vgl. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2017, S. 10 ff.). Bei der Entwicklung dieser Kompetenzen leistet das Fach Mathematik einen wichtigen Beitrag, indem Fertigkeiten und Fähigkeiten für die Orientierung in der digitalen Welt entwickelt werden. Im Rahmen des Unterrichts kann die digitale Bildung "realisiert werden, indem (1) fachliche Kompetenzen (unter anderem auch) digital gefördert werden, (2) wichtige informatische Kompetenzen für eine Teilhabe in der digitalen Welt "unplugged", d.h. in nichtinformatischen Kontexten gefördert werden und (3) fachliche Kompetenzen für die kritische Reflexion und Einordnung von Informationen in verschiedenen Darstellungen genutzt werden." (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2022a, S. 8) Als wichtige informatische Kompetenzen werden neben dem strukturierten Zerlegen und Lösen von Problemen auch das Modellieren von Problemen sowie in Bezug auf Algorithmen das Verstehen und Anwenden dieser. Zusätzlich wird der kritische Umgang mit Informationen hervorgehoben, da diese Kompetenz von hoher Relevanz beim Agieren in der digitalen Welt ist (vgl. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2022a. S. 8).

Die Bildungspläne der einzelnen Bundesländer wurden auf der Basis der Bildungsstandards erstellt. So auch der Bildungsplan von Baden-Württemberg aus

dem Jahr 2016. Dieser zeichnet sich durch die eng miteinander verbundenen prozessbezogenen- und inhaltsbezogenen Kompetenzen aus. Im Mittelpunkt des Mathematikunterrichts der Grundschule steht dabei die Entwicklung der prozessbezogenen Kompetenzen mit dem Ziel ein grundlegendes mathematisches Verständnis aufzubauen. Diese können jedoch nur im Kontext mit den inhaltsbezogenen Kompetenzen erworben werden, wodurch eine Trennung der Verbindung zwischen den beiden Kompetenzbereichen nicht möglich ist. Im Laufe der ersten vier Schuljahre sollen die Kinder ausreichend die Möglichkeiten bekommen die fünf allgemeinen Kompetenzen Kommunizieren, Argumentieren, Problemlösen, Modellieren und Darstellen auszuüben (vgl. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2016, S. 5 f.).

Die Schüler:innen erwerben die Kompetenz des Problemlösens, indem sie "die Bereitschaft und die Fähigkeit entwickeln, Probleme zu erfassen, zu beschreiben, unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten auszuprobieren, zunehmend zu systematisieren und Lösungsstrategien zu finden – allein und gemeinsam." (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2016, S. 6) Bei der Auseinandersetzung mit Problemen lernen die Kinder ihre erworbenen mathematischen Kenntnisse bei problemhaltigen Aufgaben anzuwenden, indem sie geeignete heuristische Strategien nutzen sowie Analogieschlüsse erkennen und diese auf ähnliche Situationen übertragen (vgl. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2016, S. 11).

Bei der Ausbildung von Problemlösefähigkeiten in der Mathematik wird zwischen direkten und indirekten Fördermaßnahmen unterschieden. Als direkte Fördermaßnahme wird das Lernen über Problemlösen bezeichnet. Im Fokus steht hier die "Vermittlung, nachfolgendes Üben und Reflektieren von heuristischen Vorgehensweisen an speziell hierfür ausgewählten Problemen." (Heinrich et al. 2015, S. 291) Hingegen beinhalten das indirekte Fördern, welches auch Lernen durch Problemlösen genannt wird, eine bewusste Gestaltung der Lernumgebung, sodass die Kinder zum Lösen von Problemaufgaben angeregt werden (vgl. Heinrich et al. 2015, S. 291).

Um die Problemlösekompetenz innerhalb des Mathematikunterrichts zu fördern ist eine Grundvoraussetzung der problemlösende Unterricht. Eine Zusammenstellung von Maßnahmen für ebendiese Art von Unterricht stellen Heinrich et al.

(2015) vor. Neben der Bearbeitung von vielen verschiedenen Arten von Problemlaufgaben, kann auch das Kennenlernen von Teilhandlungen des Problemlöseprozesses und das damit verbunden Üben als eine Maßnahme genannt werden. Des Weiteren bietet das Lernen und Anwenden von Heurismen Unterstützung bei der Ausbildung der Problemlösefähigkeiten. Zudem kann der Austausch
mit anderen Kindern durch kooperatives Lernen im Rahmen einer geeigneten
Lernumgebung hilfreich sein. Eine positive Lernatmosphäre durch beispielsweise
genügend Zeit zur Bearbeitung zu schaffen, ist ebenfalls eine relevante Maßnahme zur Förderung der Problemlösekompetenz. Weitere Aspekte sind eine
gute Fehlerkultur, indem Fehler als eine Chance gesehen werden sowie das Reflektieren der bei der Bearbeitung angewandten Problemlösetätigkeiten (vgl.
Heinrich et al. 2015, S. 291 f.).

Zur erfolgreichen Förderung der Problemlösefähigkeit ist es wichtig nicht die einzelnen Maßnahmen einzeln anzuwenden, sondern sie zu kombinieren (vgl. Heinrich et al. 2015, S. 292).

Ein aus vier Phasen bestehendes Unterrichtskonzept zum Problemlösenlernen betrachten Bruder und Collet (2011): Gewöhnen an Heurismen, Bewusstmachen heuristischer Elemente und Einsicht in deren Wirksamkeit, Zeitweilige bewusste Übung und Anwendung sowie Schrittweise bewusste Kontexterweiterung für den Einsatz der Heurismen und zunehmend unterbewusste Nutzung (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 114).

In der ersten Phase sollen die Schüler:innen an Heurismen sowie an eine strukturierte Bearbeitung von Problemaufgaben mithilfe von Fragen herangeführt werden. Hierfür nimmt die Lehrkraft eine Vorbildfunktion ein und gibt den Kindern Fragen vor, die sie zu Beginn der Bearbeitung beantworten sollen. Durch diese Phase wird die Verinnerlichung der Fragen vonseiten der Schüler:innen bezweckt, sodass diese sich bei der selbstständigen Bearbeitung Fragen wie Worum geht es? oder Welche Methoden und Techniken stehen mir zur Verfügung? automatisch beachten und beantworten. Doch nicht nur am Anfang, sondern auch nach Abschluss der Aufgabe gilt es "herauszuarbeiten, worin der Lernzuwachs bei dieser Aufgabe besteht." (Bruder und Collet 2011, S. 115) Die Fragen der Phase des Unterrichtskonzepts orientieren sich an dem in Kapitel 3.3 ausführlich betrachteten Prozessmodell von Pólya. So lässt sich der zu

betrachtenden Lernzuwachs nach Lösen der Aufgabe in der Phase der *Rückschau* zuordnen (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 114 ff.).

Die zweite Phase beinhaltet die Konfrontation mit Musteraufgaben anhand denen die Schüler:innen bestimmte Heurismen kennen und anwenden lernen. Dabei soll die Notwendigkeit der Hilfsmittel, Strategien oder Prinzipien verdeutlicht werden, sodass die Kinder die Fertigkeiten unabhängig von den Musteraufgaben einsetzen (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 116 ff.).

Das Üben von den in der zweiten Phase kennengelernten Heurismen steht im Fokus der dritten Phase. Mithilfe von Problemaufgaben wenden die Kinder ihre Fertigkeiten an, sodass sie den Nutzen der Anwendung erkennen. Hierbei ist es wichtig differenzierte Aufgaben zur Verfügung zu stellen, um die leistungsschwachen Kinder mit schweren Aufgaben nicht zu überfordern sowie die Leistungsstärkeren mit leichten Aufgaben zu unterfordern (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 120 f.).

Die Übertragung von Heurismen in andere Anwendungsfelder und die unterbewusste Nutzung von Heurismen sind Inhalt der vierten und letzten Phase des Unterrichtskonzepts zum Problemlösenlernen. Der zuletzt genannte Aspekt der unterbewussten Anwendung der erlernten Hilfsmittel, Strategien und Prinzipien ist ein Ziel, welches über einen längeren Zeitraum erreicht werden kann. Jedoch stellt es nicht für jede Person ein realistisches Ziel dar (vgl. Bruder und Collet 2011, S. 121).

Die von Heinrich et al. (2015) Maßnahmen zur Förderung der Problemlösefähigkeit und das Unterrichtskonzept heben beide das selbstständige Arbeiten an Problemlöseaufgaben, das Kennenlernen von Teilhandlungen und das Anwenden von Heurismen hervor.

#### 4.2 Problemlösen und Modellieren

Um den Zusammenhang zwischen den beiden allgemeinen mathematischen Kompetenzen zu erkennen, benötigt es zuvor eine genauere Beleuchtung der Modellierung.

Im Bildungsplan des Landes Baden-Württembergs wird Modellieren als Verbindung zwischen Umwelt und der Mathematik gesehen. Die Kompetenz des Modellierens besteht aus mehreren Phasen, die "Strukturieren, Vereinfachen und Übersetzen eines Sachverhalts oder Problems aus der Umwelt in eine mathematische Struktur (Mathematisieren), das Bearbeiten des Problems innerhalb der mathematischen Struktur (im Modell arbeiten), das Übertragen der Lösung auf das reale Problem (Interpretieren) und das Prüfen der Angemessenheit dieser Lösung für das ursprüngliche Problem (Validieren)" (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2016, S. 6) beinhaltet.

Die Phasen des Modellierens werden mit Hilfe des in Abbildung 10 Modellbildungskreislauf von Blum und Leiss (2005) beschrieben.

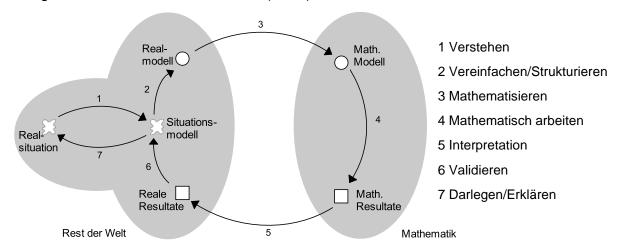


Abbildung 10: Modellierungskreislauf nach Blum und Leiss (2005) Quelle: In Anlehnung an Tropper 2019, S. 32

In der ersten Phase des Modellbildungskreislaufes ist eine *Realsituation* gegeben. Durch Verstehen entsteht ein mentales Modell der Situation, welches mithilfe von Vereinfachen und Strukturieren der Situation zu einem Realmodell konstruiert wird. Ist das Realmodell gegeben, wird es durch Mathematisieren zu einem mathematischen Modell umgewandelt. Dieses wird mithilfe von Variablen, Termen oder Gleichungen dargestellt. Innerhalb des Bereichs der Mathematik erfolgt der nächste Schritt, der das mathematische Arbeiten umfasst. In dessen

Rahmen werden mathematische Resultate durch das Anwenden von Fähigkeiten und Wissen entwickelt. Darauf folgt die Interpretation des mathematischen Resultats in Bezug auf die reale Problemstellung. Nach der Interpretation werden die realen Resultate geprüft, ob diese "zu einer adäquaten Beantwortung beitragen" (Tropper 2019, S. 34) können. Ist die Validierung nicht zufriedenstellend, kann der Modellbildungskreislauf mehrmals durchlaufen werden. Sollte die Prüfung positiv verlaufen sein, erfolgt zum Abschluss die Darlegung und Erklärung der Aufgabenlösung (vgl. Tropper 2019, S. 33 ff.).

Bei der oberflächlichen Betrachtung von Problemlösen und Modellieren lassen sich viele Gemeinsamkeiten finden. In Kapitel 3.3 wurden bereits die Phasen des Problemlöseprozesses nach Pólya vorgestellt. Der erste Schritt lautet dort *Verstehen der Aufgabe* und überschneidet sich somit mit der ersten Phase des Modellbildungskreislaufes. Nach Greefrath (2010) beschreibt das Modell von Pólya das Vorgehen sowohl bei Modellierungs- als auch bei Problemaufgaben, da bei beiden Aufgabentypen das richtige Lösungsverfahren noch herausgefunden werden muss. Die beiden ersten Schritte des Modellierungskreislaufes werden in Pólyas *Verstehen der Aufgabe* zusammengefasst und finden somit im Bereich *Rest der Welt* statt. Das Mathematisieren und mathematischen Arbeiten entsprechen dem Ausdenken eines Planes und dessen Ausführung. Als letzte Phase des Problemlöseprozesses kann die Rückschau der Phase des Interpretierens und Validierens zugeordnet werden (vgl. Greefrath 2010, S. 17 f.; Rieß 2018, S. 262).

Der größte Unterschied besteht darin, dass "Modellieren im Allgemeinen mit außermathematischen Fragestellungen verbunden wird" (Rieß 2018, S. 261) und Problemlösen sowohl in inner- als auch außermathematischen Kontexten auftreten kann (vgl. Rieß 2018, S. 261).

Der Modellbildungsprozess findet sich auch im Fachbereich der Informatik mit dem Fokus auf dem Lösen von Problemen aus der realen Welt. Als Ausgangspunkt dient eine Realsituation. Diese wird im Rahmen einer Analyse verstanden und verallgemeinert, sodass ein Modell entsteht. Durch die Analyse wird der Fokus auf einen bestimmten Zweck gelegt, um das Wesentliche zu abstrahieren. Im nächsten Schritt wird das Modell in die informatische Welt übertragen, indem eine Mathematisierung und Formalisierung stattfinden. Dies ist die wichtigste

Phase des informatischen Modellbildungsprozesses, da in einem "Informatiksystem [...] alle Schritte, die automatisiert ablaufen sollen, eindeutig bestimmt und beschrieben" (Bergner et al. 2018, S. 45) werden müssen. Im Anschluss erfolgt eine Konkretisierung des mathematisierten und formalisierten Modells, indem "aus dessen abstrakter Beschreibung (der sog[enannten] Spezifikation) ein konkretes Programm erstellt wird, das auf einem Computer ausgeführt werden kann." (Bergner et al. 2018, S. 46) Indem das konkrete Programm angewendet wird, können Erkenntnisse für die reale Welt getroffen werden (vgl. Bergner et al. 2018, S. 44 ff.).

# 4.3 Blue-Bot als Lerngegenstand

Im Rahmen dieser Masterarbeit arbeiten die Kinder mit einer Lernumgebung, in der ein Roboter als Lerngegenstand dient. Daher wird im Folgenden der Begriff *Roboter* geklärt und der Blue-Bot als Lerngegenstand vorgestellt.

Als Roboter wird eine Maschine bezeichnet, deren Handlungen durch den Menschen bestimmt werden. Solche von Robotern ausgeführte Handlungen sollen die Arbeit von den Menschen übernehmen (vgl. Siegert und Bocionek 1996, S. 1). Nach dieser Definition sind nicht nur Maschinen wie in den Transformers-Filmen Roboter, sondern auch einfache Haushaltsmaschinen wie eine Waschmaschine (vgl. Curzon und McOwan 2018, S. 82).

Roboter können in der Grundschule als Lerngegenstand eingesetzt werden, da so die Lebenswirklichkeit der Kinder aufgegriffen wird und Roboter die Möglichkeit bieten, digitale Medien in den Unterricht zu integrieren (vgl. Wassermann 2022). Zudem werden die Fähigkeiten der Lernenden in den Bereichen der Mathematik, Computerprogrammierung und dem Problemlösen durch den Umgang mit Robotern gefördert. Deshalb ist es wichtig, dass dieses Medium bereits in der Grundschule eingesetzt wird (vgl. Scaradozzi et al. 2015, S. 3838 f.).

Der Blue-Bot wird der Kategorie *Lernroboter* (englisch: *Educational Robot*) zugeordnet. Diese Art von Roboter wird wiederrum unterschieden in *Build Bots* und *Use Bots*. Ein Beispiel für Build Bots ist Lego Mindstorms. Hier dürfen die Kinder
den Roboter erst zusammenbauen und lernen infolgedessen die zugrundeliegenden mechanischen Strukturen kennen. Im Vergleich dazu sind *Use Bots* bereits

fertig und können direkt genutzt werden (vgl. Catlin et al. 2018, S. 4 ff.). Blue-Bot ist nach dieser Aufteilung ein *Use Bot*.

Blue-Bot ist ein käferartiger Bodenroboter von der Firma TTS, der bereits im Kindergarten eingesetzt werden kann. Er verfügt auf seinem Rücken über sieben Tasten, mit denen er programmiert werden kann. Vier davon sind Richtungstasten, die ihn vorwärts- und rückwärtsgehen, um 90° nach links- und um 90° nach rechtsdrehen lassen. Mit Hilfe der Tasten lässt sich eine Abfolge von mehreren Bewegungen speichern und durch die Taste GO beginnt Blue-Bot die Befehle auszuführen. Zusätzlich verfügt er über eine Pause-Taste, die ihn während der Ausführung der Programmierung anhalten lässt. Da sich Blue-Bot die eingegebenen Befehle merkt und die neuen Befehle nach den vorherigen Befehlen ausführt, bietet die Löschen-Taste die Möglichkeit die gesamte Programmierung zu löschen. Im Anschluss kann Blue-Bot neu programmiert werden (vgl. Arnulf Betzold GmbH 2022a). Neben dem direkten Programmieren an dem Roboter selbst, lässt er sich per Bluetooth mithilfe einer Programmierleiste und dazugehörigen Karten steuern. Auf den Karten sind die Tasten mit den jeweiligen Bewegungen abgebildet. Indem diese in die Vertiefungen der Programmierleiste gelegt werden und anschließend die Programmierung gestartet wird, führt Blue-Bot die mit den Karten gelegten Befehle aus. Nach jeder ausgeführten Programmierung können die Befehlee erneut individuell in der Programmierleiste angeordnet werden (vgl. Arnulf Betzold GmbH 2022b). Neben der manuellen Programmierung an Blue-Bot direkt und der Programmierung mit der Programmierleiste, besteht die Möglichkeit per App von einem Tablet oder iPad den Use Bot zu steuern.

Zum Einstieg eignet sich die App *Blue-Bot* von der TTS Group. Bei der Anwendung der App gibt es drei Modi: Steuerungs-Modus, Forscher-Modus und den Challenge-Modus. Wird der erste Modus gewählt, kann der mit Bluetooth verbundene Blue-Bot direkt mit der App gesteuert werden. Im Forscher-Modus können die Kinder zwischen vier Themen auswählen, die sie erforschen wollen. Von dem Thema *Schritt für Schritt* über *Wiederholungen* hin zu *45 Grad Drehungen* bietet die App die Möglichkeit die Fähigkeiten von Blue-Bot zu erforschen. Im Rahmen des letzten Modus können die Kinder *Challenges* absolvieren, indem sie Blue-Bots Weg von A nach B mit weniger Knöpfen programmieren oder Hindernisse

den Weg zu B versperren, weshalb eine alternative Route programmiert werden darf (vgl. TTS Group 2017).

Für ältere Kinder wird die App *Blue's Blocs* von der TTS Group zur Verfügung gestellt. Mithilfe der App können die Schüler:innen Blue-Bot "mit erweiterten Funktionen programmieren, die Entscheidungsfindung, numerische Funktionen, Boolesche Operatoren und die Einführung von Variablen umfassen." (TTS Group 2021) Dabei wird die sogenannte *Blockprogrammierung* angewendet. Diese "basiert auf vorgefertigten Blöcken mit Anweisungen (Codes), die in eine bestimmte Anordnung gebracht, die Ausführung eines Programms bestimmen können." (Eppendorf und Marx 2020, S. 230) Da bei der Blockprogrammierung Lösungen für Probleme durch eine Abfolge von Befehlen entwickelt werden, trägt dies zur Förderung des problemlösenden und des algorithmischen Denkens bei (vgl. Eppendorf und Marx 2020, S. 229 ff.).

# 5 Der empirische Teil

Im Rahmen der Masterarbeit findet eine qualitative Interventionsstudie statt, die innerhalb von sechs Terminen die Entwicklung der Problemlösekompetenz betrachtet. Zu Beginn erfolgt die Darstellung der für die Intervention gestalteten Lernumgebung und die darin enthaltenen Termine mit ihren methodisch-didaktischen Überlegungen sowie den geförderten Kompetenzen in Kapitel 5.1. Im Anschluss wird in Kapitel 5.2 die Datenerhebung mit der Stichprobe, den Rahmenbedingungen und den Erhebungsinstrumenten näher erläutert. Das abschließende Kapitel 5.3 thematisiert die qualitative Inhaltsanalyse als Methode der Datenauswertung, deren Gütekriterien und die methodische Vorgehensweise.

# 5.1 Die Lernumgebung

Für die Untersuchung der Entwicklung der Problemlösekompetenz wurde eine Lernumgebung mit dem Lerngegenstand Blue-Bot entwickelt, der in Kapitel 4.3 ausführlich thematisiert wurde. Lernumgebungen geben den "Rahmen für das selbstständige Arbeiten von Lerngruppen oder individuell Lernenden [vor]. Sie organisieren und regulieren den Lernprozess über Impulse, wie z. B. Arbeitsanweisungen." (Beyer et al. 2023, S. 77) Damit stellt eine Lernumgebung ein spezifisches "Arrangement von Unterrichtsmethoden[,] Unterrichtstechniken[,] Lernmaterialien [sowie] Medien" (Reinmann und Mandl 2001, S. 615) dar.

#### 5.1.1 Geförderte Kompetenzen

Die im Rahmen der Lernumgebung geförderten Kompetenzen stammen aus den Fachbereichen der Mathematik und Informatik. Im Folgenden folgt ein Überblick.

In Bezug auf die von der Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2022a) weiterentwickelten Bildungsstandards werden innerhalb der Lernumgebung die prozessbezogenen Kompetenzen des *mathematischen argumentieren*, *mathematischen kommunizieren* und *Probleme mathematisch lösen* gefördert (vgl. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2022a, S. 10 f.). Diese prozessbezogenen Kompetenzen finden sich ebenfalls im Bildungsplan des Landes Baden-Württemberg (vgl. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2016, S. 10 f.).

Durch das kooperative Arbeiten äußern Schüler:innen ihre Gedankenvorgänge laut und können so gemeinsam eine Lösung für die Aufgaben entwickeln. Mithilfe des *Kommunizierens* und *Argumentierens* setzen sie sich mit den Äußerungen der anderen Gruppenmitglieder auseinander und können ihre eigenen Lösungsvorschläge begründen. Ein wesentlicher Aspekt des *Argumentierens* ist das Hinterfragen von Lösungswegen hinsichtlich ihrer Korrektheit. Im Rahmen der prozessbezogenen Kompetenz arbeiten die Kinder an Problemaufgaben und entwickeln mögliche Lösungsideen. Diese setzen sie um und überarbeiten sie gegebenenfalls (vgl. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg 2016, S. 10 f.; Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2022a, S. 10 f.).

Das räumliche Vorstellungsvermögen ist eine inhaltsbezogene Kompetenz der Leitidee Raum und Form, die innerhalb der Lernumgebung gefördert wird. So sollen Kinder "über räumliches Vorstellungsvermögen verfügen [und] räumliche Beziehungen erkennen, beschreiben und nutzen" (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2005, S. 10). Raumvorstellung wird als die Fähigkeit definiert, "in der Vorstellung räumlich zu sehen und räumlich zu denken" (Maier 1999, S. 14). Das heißt die Sinneseindrücke werden nicht nur registriert, sondern auch gedanklich verarbeitet. Außerhalb der Schule ist die räumliche Vorstellung zum Beispiel wichtig beim Bewegen im Straßenverkehr und beim Lesen von Stadtplänen. Innerhalb der Schule wird die räumliche Wahrnehmung nicht nur im Fach Mathematik in Gebrauch genommen, sondern wird fächerübergreifend zudem in Deutsch beim Schriftspracherwerb und im Sportunterricht benötigt (vgl. Franke und Reinhold 2016, S. 80). Die räumlich-visuellen Fähigkeiten werden im Laufe des Lebens eines Menschen ausgebildet und werden als bedeutsame Dimension der Intelligenz angesehen, da sie ein hohes Maß an Komplexität aufweist und eine Bündelung von mehreren Teilfähigkeiten ist. Durch die Zusammenfassung von der 3-Faktoren-Hypothese nach Thurstone und dem Kategoriensystem nach Linn und Petersen entstehen die fünf wesentlichen Komponenten der räumlich-visuellen Qualifikationen: Räumliche Wahrnehmung, Veranschaulichung (oder räumliche Visualisierung), Vorstellungsfähigkeit von Rotationen, räumliche Beziehungen und räumliche Orientierung (vgl. Maier 1999, S. 51). Bei dem Umgang mit Blue-Bot werden vor allem die Aspekte der *Vorstellungsfähigkeit von Rotationen* und die *räumliche Orientierung* gefördert. Ersteres ist relevant, wenn es nötig ist, dass die Kinder sich in Blue-Bot hineinversetzen, um den nötigen Befehl auszuwählen. Die räumliche Orientierung ist während der Vorstellung des Fahrtweges von Blue-Bot und der anschließenden Programmierung wichtig. So gilt es hier nicht von der eigenen Perspektive auszugehen, sondern sich auch wie bei der Vorstellungsfähigkeit von Rotationen in die Position von Blue-Bot hineinzuversetzen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das räumliche Vorstellungsvermögen im Umgang mit Blue-Bot geschult wird. Zu Beginn planen die Kinder im Kopf den Fahrtweg von Blue-Bot. Nach diesem Schritt programmieren sie den Weg mithilfe einer Aneinanderreihung von Befehlen. Um diese Befehle für alle Personen verständlich nennen zu können, ist es von Bedeutung, dass die Begriffe der Lagebeziehungen beherrscht werden, wie beispielsweise: links, rechts, oben, unten, vorne, hinten (vgl. Franke und Reinhold 2016, S. 212). Schwierigkeiten können hier bei der Rechts-Links-Orientierung aufkommen (vgl. Franke und Reinhold 2016, S. 213). Auch lernen sie die Bezeichnung einer Drehung nach rechts oder nach links um 90° kennen. Diese Begriffe wenden sie bei der Planung der Fahrtwege an (vgl. Schuler und Dreher, S. 9).

Im Fachbereich der Informatik werden mit der Lernumgebung folgende prozessbezogenen Kompetenzen für informatische Bildung im Primarbereich der Gesellschaft für Informatik gefördert: *Strukturieren und Vernetzen* sowie *Kommunizieren und Kooperieren* (vgl. Best et al. 2019, S. 8 f.). Inhalt der erstgenannten Kompetenz ist das Strukturieren von Sachverhalten, sodass diese im Anschluss in Beziehung gesetzt werden können. Hierfür wenden die Schüler:innen informatische Prinzipien an, wie das Zerlegen in Teilprobleme (vgl. Stiftung "Haus der kleinen Forscher" 2018, S. 151; Best et al. 2019, S. 8). *Kommunizieren und Kooperieren* findet sich sowohl in den mathematischen Kompetenzen als auch in denen der Informatik. Während der Bearbeitung der Aufgaben ist es von Relevanz, dass sich die Kinder über ihre Denk- und Vorgehensweisen austauschen und kooperativ arbeiten (vgl. Stiftung "Haus der kleinen Forscher" 2018, S. 151 f.; Best et al. 2019, S. 9).

Algorithmen und Informatiksysteme sind die beiden inhaltsbezogenen Bereiche, die innerhalb der Lernumgebung thematisiert werden. Informatiksysteme sind ein wesentlicher Teil des Alltags der Menschen. Als solche werden Computer, Smartphones aber auch der Fernseher oder Blue-Bot bezeichnet. Mithilfe von diesen Systemen können Kinder konkrete Erfahrungen sammeln, indem sie damit interagieren. Beispielsweise im Umgang mit Blue-Bot besteht die Möglichkeit, ihn mithilfe der Tasten auf seinem Rücken zu steuern. Untereinander sind Informatiksysteme "häufig miteinander vernetzt und kommunizieren mittels [Datenaustausch]" (Stiftung "Haus der kleinen Forscher" 2018, S. 144). Für die effiziente Nutzung ist es vonnöten, dass der Mensch mit dem Informatiksystem kommuniziert. Hierfür eignet sich beispielsweise der Display oder die Tasten auf dem Rücken von Blue-Bot (vgl. Stiftung "Haus der kleinen Forscher" 2018, S. 144; Best et al. 2019, S. 10 f.). Im Umgang mit Blue-Bot entwickeln die Kinder selbstständig Algorithmen, um zu einer Lösung des Problems zu gelangen (vgl. Best et al. 2019, S. 9 f.). Da das Thema Algorithmen bereits in Kapitel 3.5 ausführlicher eingegangen wurde, wird hier auf eine nähere Betrachtung verzichtet.

Durch das Lösen von algorithmischen Problemen wird das algorithmische Denken gefördert. Dieses wird definiert als "das Denken in Algorithmen" (Curzon und McOwan 2018, S. 4) und ist ein Bestandteil des informatischen Denkens. Das informatische Denken wird im englischen als computational thinking bezeichnet und "bezieht sich auf die Fähigkeit einer Person, Aspekte realweltlicher Probleme zu identifizieren, die für eine [informatische] Modellierung geeignet sind, algorithmische Lösungen für diese (Teil-)Probleme zu bewerten und selbst so zu entwickeln, dass diese Lösungen mit einem Computer operationalisiert werden können." (Beyer et al. 2023, S. 75) Das informatische Denken setzt sich neben dem algorithmischen Denken aus weiteren vier Kompetenzen zusammen: Zerlegung, Generalisierung, Evaluieren und Abstraktion. Kombiniert tragen die fünf Kompetenzen bei der Bearbeitung eines Problems zur Lösungsfindung bei und lassen Parallelen zum Modellierungsprozesses aus der Informatik erkennen (siehe Kapitel 4.2). Bei der ersten Kompetenz Zerlegung wird das Problem in Teilprobleme unterteilt, wodurch die Lösung einfacher gefunden werden kann. Darauf folgt die Generalisierung. Hier steht das Erkennen von Mustern im Fokus, indem die Teilprobleme auf bekannte Muster hin untersucht werden. Im nächsten Schritt wird

zur Lösung des Problems mit Hilfe des *algorithmischen Denkens* ein Algorithmus entwickelt. Anschließend erfolgt die Ausführung des Algorithmus und dessen *Evaluierung*. Führt der Algorithmus zu keiner Lösung gilt es, mögliche Fehler zu finden und diese zu beheben. Zum Abschluss steht die Kompetenz der Abstraktion im Mittelpunkt, indem nur die wichtigsten Informationen des Lösungsprozesses wiedergegeben werden (vgl. The Lego Group 2017, S. 6 ff.).

Im Laufe der Termine wenden die Kinder die einzelnen Aspekte des *informatischen Denkens* an. So lösen sie die Aufgaben, indem sie sie in kleinere Teilprobleme zerlegen. Diese zerlegten Aufgabenteile durch algorithmisches Denken bearbeiten und ihre Lösungswege im Anschluss evaluieren sowie auftretende Fehler beheben.

#### 5.1.2 Termin 1

Zu Beginn der Durchführung der Intervention wurden zwei Kleingruppen mit jeweils drei Kindern gebildet, sodass ein kooperatives Lernen ermöglicht wird. Innerhalb dieser Lernform arbeiten Kinder mit unterschiedlichen Fähigkeiten zusammen auf ein Ziel hin, indem die Gruppenteilnehmer:innen in ständiger Kommunikation stehen und somit gemeinsam zu einer Lösung finden (vgl. Woolfolk 2008, S. 508).

Als Einstieg in die Lernumgebung mit dem Blue-Bot als Lerngegenstand wurde die sogenannte *Blockprogrammierung unplugged* gewählt. Bei diesem Spiel werden die Schüler:innen selbst zum Roboter und von den mitspielenden Kindern programmiert. (vgl. Eppendorf und Marx 2020, S. 231). So wird ein spielerischer und handlungsorientierter Zugang zu der Thematik geschaffen. Für die Aufgabe hat die Lehrkraft mit Absperrband ein Raster mit der Größe 4x4 auf den Boden gelegt. Alternativ eignet sich Kreppband. Jedoch wurde von dieser Alternative abgesehen, da der Boden im Klassenzimmer aus braunem Teppichboden besteht und das Absperrband eine bessere Sichtbarkeit gewährleistet. Nachdem per Losverfahren ein Kind der Dreiergruppe zum Roboter benannt wurde, folgte die Aufgabenerklärung durch die Lehrperson. Für die Methode des Losverfahrens wurde sich entschieden, um mögliche Konflikte bei der freien Wahl der Rollen zu vermeiden. Die beiden anderen Kinder sollen den Roboter vom Startpunkt (im linken unteren Kästchen) zu dem Weihnachtsbaum führen, indem sie einen Algorithmus entwickeln. Nachdem die Aufgabe von der Lehrkraft erläutert wurde,

verlässt das Roboterkind den Raum und die Kinder überlegen sich an welchen Platz im Raster sie den Weihnachtsbaum legen. Im Anschluss gilt es eine Abfolge von Befehlen zu entwickeln, um das Roboterkind zu dem Weihnachtsbaum zu lotsen. Um sich den Algorithmus zu merken, haben die Schüler:innern Pfeilkarten zur Hilfe. Dies dient zur Veranschaulichung der mündlich genannten Befehle. Nachdem die beiden Programmierer:innen eine Befehlsfolge entwickelt haben, nehmen sie die Pfeilkarten auf die Hand und das Kind mit der Rolle des Roboters wird wieder in den Raum geholt. Nun nennen die zwei Programmierer:innen dem Roboterkind ihre Befehle. Dabei ist darauf zu achten, dass die programmierenden Kinder nur die Befehle ohne Erklärungen nennen. Während der Durchführung wird den Kindern bewusst, dass Befehle wie nach vorne und nach rechts uneindeutig sind und die ausführende Person nicht genau weiß, was sie machen soll (vgl. Stenz 2015). Daher ist es wichtig, dass die Befehle klar und eindeutig formuliert sind. Zudem gilt es zu beachten, dass die Kinder sich in den Roboter hineinversetzen und somit ihr räumliches Vorstellungsvermögen schulen. Denn wenn sie wollen, dass der Roboter sich aus ihrer Sicht nach rechts dreht, er aber auf sie zuläuft, dann muss er sich nach links drehen. Nachdem das Roboterkind erfolgreich zum Weihnachtsbaum geführt wurde, darf jede:r Schüler:in die Rolle des Roboters übernehmen, sodass sich kein Kind benachteiligt fühlt.

Im Anschluss wird ihnen der eigentliche Lerngegenstand der Lernumgebung vorgestellt. Hierfür wird der Arbeitsplatz der Kinder vom Boden zu den Tischen verlagert. Auf vier zusammengeschobenen Tischen wird zuerst die in DIN A0-Format ausgedruckte Unterlage gelegt und die Schüler:innen verteilen sich darum. Die Unterlage soll eine Schneelandschaft darstellen und besteht aus einem 5x5-Raster. In Anlehnung an ein Schachbrett werden die Zahlen eins bis fünf sowie die Buchstaben A bis E kombiniert, um die Felder zu benennen. Damit die Kinder sich innerhalb des Rasters orientieren können, wird die Bedeutung der Buchstaben-Zahlen-Kombination im Vorhinein geklärt. Daraufhin stellt die Lehrkraft Blue-Bot auf den Tisch und durch das selbstständige Handeln mit Blue-Bot erkunden die Kinder die Funktionen des Bodenroboters. Nach einiger Zeit händigt die Lehrperson den Kindern das Arbeitsblatt *Blue-Bot und seine Tasten* aus, sodass die Kinder die Bedeutung der Tasten schriftlich festhalten. Als Alternative eignen sich Karten mit den Tasten und den Bedeutungen, die die Kinder passend zueinander

zuordnen sollen. Dagegen wurde sich entschieden, da die Alternative mit dem selbstständigen Formulieren der Bedeutung sich als Anlass zum Kommunizieren eignet.

Nachdem Blue-Bot ausreichend erkundet wurde, bekommen die Schüler:innen zum Abschluss eine erste Aufgabe zum Entwickeln eines Weges für Blue-Bot, indem sie ihn zu einem einzelnen Geschenk führen sollen (siehe Abbildung 11).

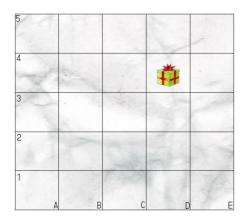


Abbildung 11: Unterlage von Termin 1

Hierfür wird eine Sammelkarte (siehe Anhang) auf den Punkt (4, D) gelegt. Für die Option der Sammel- und Hinderniskarten wurde sich entschieden, da so die Unterlage beliebig gestaltet werden kann und sich somit für einen mehrmaligen Einsatz anbietet.

Zuerst legen die Kinder mithilfe der Aktionskarten den geplanten Weg auf die Unterlage der Aktionskarten, sodass sie einen Überblick über die Befehle bekommen, die sie später manuell in Blue-Bot eingeben. Die Aktionskarten stellen die gleichen Pfeile wie die Tasten auf dem Rücken von Blue-Bot dar. Damit die Pfeile vorwärts und rückwärts nicht verwechselt werden, befindet sich auf jeder Aktionskarte links unten ein kleines Geschenk.

Um die Kinder zum Überlegen und Kommunizieren anzuregen, wird nach dem Finden eines Weges die Frage gestellt, ob es einen kürzeren Weg gibt.

#### 5.1.3 Termin 2

Nachdem die Kinder beim ersten Termin an den vier zusammengeschobenen Tischen mit Blue-Bot arbeiteten und die Kanten der Tische den Roboter am Fahren gehindert haben, wird die Unterlage in den folgenden Terminen auf dem Boden platziert, wodurch die Kinder einen leichteren Zugang zu Blue-Bot haben sowie sich um die Unterlage besser verteilen können.

Im Rahmen des zweiten Termins beschäftigen die Kinder sich mit vorgegebenen Schrittfolgen. Diese sollen sie nachvollziehen, indem sie sich in die Lage von Blue-Bot hineinversetzen und herausfinden, zu welchem der drei Geschenke ihn die Wegbeschreibung führt. Innerhalb der Aufgabe üben die Kinder sich im Umgang mit den Befehlen von Blue-Bot, sodass sie lernen sich in diesen hineinzuversetzen und dessen Bewegungen nachzuvollziehen. Hierfür gilt es jeden einzelnen Befehl zu verstehen und im Kopf auszuführen, damit Blue-Bot am Ende der Befehlsabfolge an dem richtigen Geschenk ankommt. Da die Wegbeschreibung einige Drehungen enthält, wird das räumliche Vorstellungsvermögen und vor allem die Vorstellungsfähigkeit von Rotationen gefördert. Nach dem die Kinder sich auf eins der drei Geschenke geeinigt haben, geben sie den vorgegebenen Algorithmus in Blue-Bot ein. Somit können sie ihre Lösung eigenständig überprüfen. Anschließend entwickeln die Kinder selbstständig einen Algorithmus, der Blue-Bot schneller zu dem verlorenen Geschenk führt.

Bei der zweiten Aufgabe ist eine ähnliche Problemstellung gegeben. Doch diesmal sind Hindernisse in der Form von Bergen und zugefrorenen Seen vorhanden, über die Blue-Bot nicht fahren darf. Erneut sind drei Geschenke gegeben und eine Wegbeschreibung, die Blue-Bot verrät welches Geschenk er einsammeln darf. Doch die Wegbeschreibung ist ohne Hindernisse formuliert, sodass die Kinder den Weg von Blue-Bot nachvollziehen müssen und sich dabei von den Hindernissen nicht verunsichern lassen sollen. Im ersten Schritt gilt es herauszufinden, zu welchem Geschenk Blue-Bot die Beschreibung führt und im zweiten Schritt die Befehlsfolge zu dem einzusammelnden Geschenk zu entwerfen und durch die haptische Programmierung zu überprüfen.

#### 5.1.4 Termin 3

Nachdem die Schüler:innen in den beiden ersten Terminen Blue-Bot haptisch programmiert haben, wird ihnen zu Beginn des dritten Termins die Programmierleiste und die dazugehörigen Karten vorgestellt. Die Lehrkraft erklärt die wichtigsten Funktionen der Programmierleiste und worauf die Kinder zu achten haben. Im Anschluss lernen die sie für den Termin vorgesehene Aufgabe kennen.



Abbildung 12: Unterlage von Termin 3

Die Unterlage wird nach dem Vorbild von Abbildung 12 gestaltet, indem die Sammel- und Hinderniskarten auf die jeweiligen Positionen im Feld gelegt werden. Die Aufgabe der Kinder besteht darin, die drei Geschenke einzusammeln und anschließend im Geschenkesack zu verstauen. Um es schwieriger zu gestalten, sind Hindernisse platziert über die Blue-Bot nicht fahren darf. Blue-Bot startet bei der Position des Geschenkesacks und schaut nach rechts. Dieser Startpunkt mit dem Blick Richtung Berg wurde gewählt, da so die Kinder nicht beeinflusst werden zu welchem Geschenk sie als erstes fahren. Würde Blue-Bot beispielsweise nach unten schauen, wären die Kinder dazu geneigt zuerst zu dem roten Geschenk zu fahren.

Zu Beginn der Aufgabe ist es wichtig, dass die Kinder sich darauf einigen welches Geschenk sie als erstes einsammeln und somit dazu angeregt werden, die große Aufgabe in kleinere Aufgaben zu zerlegen und damit das Prinzip des Zerlegens in Teilprobleme anzuwenden.

Zuerst sollen sie die Abfolge von den Befehlen mithilfe der Aktionskarten legen, um sie anschließend mit den Karten der Programmierleiste in dieselbige zu legen. Die Aktionskarten sind für die Veranschaulichung des gesamten Wegs von

Blue-Bot gedacht, um nach dem Abschließen der Aufgabe das Ergebnis auf das Arbeitsblatt zu übertragen.

Gruppe 1 bearbeitet die Aufgabe schnell, weshalb von der durchführenden Person auf die Schnelle eine Schwierigkeit eingebaut wurde. So darf sich Blue-Bot nun nicht mehr nach links drehen, während er die drei Geschenke einsammelt und im Geschenkesack verstaut.

#### 5.1.5 Termin 4

Im Rahmen von dem vierten Termin steht das Zerlegen von Teilproblemen und das algorithmische Denken im Vordergrund. Dafür arbeiten die Kinder erneut mit der Programmierleiste und an einer Unterlage mit mehreren Hinderniskarten, siehe Abbildung 13.

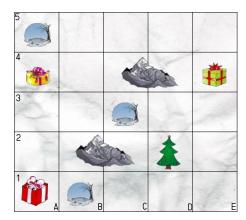


Abbildung 13: Unterlage von Termin 4

Hier lautet die Aufgabenstellung, dass die Kinder Blue-Bot helfen sollen die Geschenke einzusammeln und unter den Weihnachtsbaum zu legen. Jedoch besteht hier die Schwierigkeit, dass Blue-Bot nur in der Lage ist ein Geschenk zu tragen und daher mehrmals laufen muss.

Gemeinsam sollen die Kinder überlegen, welche Befehle sie aneinanderreihen damit sie Blue-Bot zu den einzelnen Geschenken leiten und anschließend wieder zurück zum Weihnachtsbaum. Die entwickelten Lösungswege werden auf einem separaten Arbeitsblatt mithilfe von gezeichneten Pfeilen festgehalten.

Nach der erfolgreichen Bearbeitung der Aufgabe bekommen die Schüler:innen die Aufgabe Blue-Bot erneut vom Weihnachtsbaum zum roten Geschenk zu führen und wieder zurück. Da sich der Lernroboter leider verletzt hat, kann er sich nicht mehr nach links um 90° drehen. Diese Aufgabe wurde gewählt, um die Fähigkeiten im Programmieren, die die Kinder nach den bisherigen Terminen

gewonnen haben, zu fördern und eine Aufgabe aus der Zone der nächsten Entwicklung nach Wygotski zu wählen.

#### 5.1.6 Termin 5

Beim vorletzten Interventionstermin wird Blue-Bot in der Aufgabenstellung auf eine Mission geschickt, drei Geschenke einzusammeln. Da es sehr kalt im Land von Blue-Bot und dem Weihnachtsmann ist, kann der käferartige Helfer nur fünf Befehle ausführen, bis er sich an einem Kamin aufwärmen muss. Als Hinweis für die Kinder zählen die Befehle, die auf dem Kamin ausgeführt werden, nicht zu den fünf Befehlen hinzu.

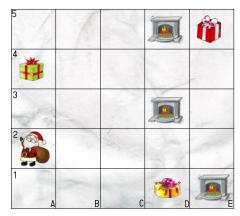


Abbildung 14: Unterlage von Termin 5

Im Vorfeld wurden von der durchführenden Person mehrere alternative Plätze für die Kamine ausprobiert, sich schlussendlich für die drei Positionen der Kamine entschieden. Kamine wurden gewählt, da es in dem Programm *Worksheet Crafter* mit dem die Arbeitsblätter erstellt wurden leider keine Lagerfeuer gab.

Blue-Bot startet auf der Position des Weihnachtsmannes und schaut nach rechts. Dieser Startpunkt wurde gewählt, da so genau mit fünf Befehlen der erste Kamin erreicht werden kann.

Nach der Erklärung der Aufgabe durch die Lehrkraft sollen die Schüler:innen gemeinsam überlegen, welchen Weg Blue-Bot mit den ersten fünf Befehlen gehen soll. Dafür ist es nötig, dass die Kinder verschiedene Lösungswege vorschlagen und gemeinsam abwägen, welcher Weg am sinnvollsten wäre. Somit werden die Kompetenzen Kommunizieren und Argumentieren angewandt. Haben sie sich für einen Weg entschieden, gilt es diesen mit der Programmierleiste zu programmieren. Dieser Prozess wiederholt sich im Laufe der Aufgabenbearbeitung, sodass

die Aufgabe schlussendlich durch die Lösung von mehreren Aufgabenteilen ganzheitlich gelöst wird.

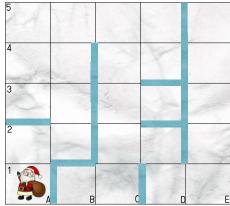
Im Anschluss erfolgt eine Differenzierung der Aufgabe, indem Blue-Bot nicht mehr vorwärtsfahren darf. Somit wird die Schwierigkeit erhöht und die Kinder vor eine Barriere gestellt, die es gilt zu überwinden.

Auf die Aufzeichnung der Lösungswege wird verzichtet, da die Schüler:innen sich hauptsächlich auf die Bearbeitung der Aufgaben konzentrieren sollen.

#### 5.1.7 Termin 6

Zum Abschluss der Intervention sollen die Kinder Blue-Bot durch eine Art Labyrinth zum Weihnachtsmann führen. Hierfür werden mehrere blaue Streifen auf die Unterlage gelegt, sodass Wände entstehen durch die Blue-Bot nicht fahren darf.

Mithilfe der Wände wird eine Problemaufgabe erzeugt, da die Kinder an den vorherigen Terminen freie Wahl für den Weg von Blue-Bot hatten. Diesmal gibt es nur einen Weg der mithilfe von einer Aneinanderreihung von Befehlen individuell gestaltet werden kann. Durch die vermehrte Benutzung von Drehbewegungen innerhalb der entwickelten Algorithmen wird die Vorstellungsfähigkeit von Rotationen in dieser Aufgabe besonders gefördert. Zudem liegt die Zerlegung in Teilprobleme im Fokus, da die Kinder den Weg in mehrere Abschnitte gliedern.





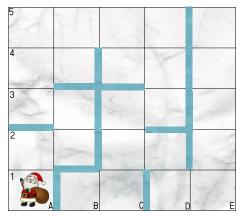


Abbildung 16: Geänderte Unterlage für Termin 6

Bei der ersten Durchführung der Aufgabe fiel der Lehrperson auf, dass die Wände einen einfachen Lösungsweg zulassen, indem Blue-Bot von Punkt (2, C) bis (5, C) durchfahren kann. In Abbildung 15 lässt sich der einfache Weg nachvollziehen. Daher wurde eine Wand verschoben und zwei weitere hinzugefügt,

sodass eine erschwerte Bearbeitung gewährleistet ist. Die veränderte Unterlage ist in Abbildung 16 zu sehen.

Nach der Erklärung der Aufgabe seitens der Lehrkraft, arbeiten die Schüler:innen selbstständig. Zur Programmierung von Blue-Bot wurden keine Angaben gemacht, sodass Kinder selbst wählen konnten, ob sie Blue-Bot haptisch oder mit der Programmierleiste programmieren wollen.

Auch bei dieser Aufgabe wird nach erfolgreichem Finden eines Weges zum Weihnachtsmann die Schwierigkeit erhöht, indem diesmal zwei Bewegungen von Blue-Bot nicht mehr ausgeführt werden können. So kann er sich nicht mehr nach links drehen und vorwärtsfahren. Diese Aufgabe bildet den Abschluss der Intervention, weshalb die Kinder vor eine ihnen bisher unbekannte Situation gestellt werden sollen.

# 5.2 Erhebung der Daten

Die Erhebung der Daten im Rahmen der Interventionsstudie erfolgt mithilfe einer Stichprobe von sieben Kindern. Die Auswahl der Stichprobe sowie die Rahmenbedingungen der Datenerhebung werden in Kapitel 5.2.1 und 5.2.2 betrachtet. Da die erhobenen Daten für die Auswertung in schriftlicher Form benötigt werden, widmet sich das letzte Unterkapitel dem Transkriptionsvorgehen.

## 5.2.1 Auswahl der Stichprobe

Die Lernumgebung wurde mit einer Stichprobengröße von sieben Kindern im Alter zwischen 9 und 10 durchgeführt. Die Schüler:innen stammen alle aus der gleichen vierten Klasse einer Grundschule im Rhein-Neckar-Kreis, einer Region im Nordwesten Baden- Württembergs.

Da die Datenerhebung mithilfe einer Videokamera erfolgte, benötigte die durchführende Person vor der Durchführung der Intervention die Einverständniserklärung der Eltern. Schlussendlich lagen zur Auswahl der Gruppenbildung neun Kinder vor, wovon mit sechs von ihnen jeweils zwei Dreiergruppen gebildet wurden. Die Gruppen wurden ohne vorherige Kenntnisse über die Schüler:innen von der durchführenden Person zusammengestellt. Am Ende ergab sich folgende Zusammenstellung: In Gruppe 1 sind zwei Jungen und ein Mädchen. Davon verfügt ein Junge bereits über Vorkenntnisse hinsichtlich des Umgangs mit Robotern. Gruppe 2 setzt sich aus einem Jungen und zwei Mädchen zusammen. Ab dem

dritten Termin kam zusätzlich noch ein Mädchen dazu. Dieser Entschluss lässt sich dadurch begründen, dass die Gruppe Schwierigkeiten hatte ohne Anregungen der durchführenden Person ins Gespräch zu kommen. In der zweiten Gruppe sind zwei Kinder mit der Diagnose ADHS, wovon das eine zudem eine nachgewiesene Matheschwäche hat.

Da die Schüler:innen alle aus derselben Schulklasse kommen, kann von den gleichen Voraussetzungen ausgegangen werden sowie einer natürlichen Lernumgebung innerhalb der Interventionen, da die Kinder bereits mehrmals kooperativ zusammen gearbeitet haben.

Während der Abschlussphase der durchführenden Lernumgebung wurden in der Klasse die Aufgaben des Känguru-Adventskalender bearbeitet. Dieser setzt sich aus Aufgaben zusammen, die zum Knobeln anregen. So fand für die Schüler:innen neben der Arbeit mit Blue-Bot auch im Mathematikunterricht die Bearbeitung von problemhaltigen Aufgaben statt.

## 5.2.2 Rahmenbedingungen der Datenerhebung

In einem Zeitraum von drei Wochen fanden wöchentlich zwei Interventionen statt, in denen die Kinder mit Blue-Bot arbeiteten. Innerhalb der sechs Termine wurde in einem Zimmer der Nachmittagsbetreuung die Datenerhebung durchgeführt. Dort konnten die Schüler:innen sich auf die Aufgaben konzentrieren und wurden von keinen unvorhergesehenen Störungen beeinflusst.

Der zeitliche Rahmen der Termine war nicht festgelegt, weshalb den Kindern die Bearbeitung ohne zeitlichen Druck gewährleistet war. Die Länge der Termine lag zwischen 15 und 46 Minuten.

Jedoch kam es während der Durchführung von dem zweiten Termin bei Gruppe 2 zu einer zeitlichen Kürzung, da der Schulsozialarbeiter ein Klassengespräch mit der gesamten Klasse durchführen wollte. Infolgedessen kam es zu einer Unterbrechung der Intervention, die im dritten Termin wieder aufgenommen wurde.

Beim dritten Termin kam es zu einem Hinzufügen eines weiteren Kindes in der zweiten Gruppe, weshalb zu Beginn die bereits sich auskennenden Kinder eine Einführung ins Thema Blue-Bot gaben. Wegen einer Krankheit war leider Kind 6 an diesem Tag verhindert, daher bestand die Gruppe an diesem Termin nur aus

drei Mitgliedern. Als an Termin 4 Kind 6 wieder anwesend war, bekam es eine gesonderte Einführung in die Handhabung der Programmierleiste.

Für die Erhebung der Daten wurde sich für eine Aufzeichnung mit einer Videokamera entschieden, da so auch die Handlungen der Schüler:innen festgehalten und im Anschluss relevante Handlungen in der Transkription notiert werden konnten. Der Fokus der Videokamera lag dabei auf der Unterlage, um die Handlungen mit Blue-Bot aufzunehmen. Da die Kamera automatisch die Videos in viertelstündige Abschnitte gegliedert hat, welche teilweise vom Schnittprogramm nicht zusammengefügt werden konnten, sind einzelne Termine in zwei Sequenzen unterteilt.

Die Kinder arbeiten kooperativ zusammen, sodass die Lehrkraft nur unterstützend zur Seite steht und den Kindern hilft, wenn sie Hilfe benötigen. Dabei ist es wichtig, dass ein gutes Mittelmaß an Hilfe und selbstständiges Arbeiten von Seiten der Kinder gefunden wird. So soll die lehrende Person "dem Schüler vorsichtig und *unaufdringlich* helfen." (Pólya 2010, S. 14) Zu Beginn der Intervention wurde das Geschehen von der durchführenden Person angeleitet, damit die Einführung in die Lernumgebung gesichert werden konnte. Im Verlauf der Termine übernahm sie jedoch eine überwiegend passive Haltung, die nur zur Erklärung der Aufgabe, Klärung von Konflikten und bei Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Aufgabe den Kindern zur Hilfe kam.

#### 5.2.3 Transkription der erhobenen Daten

Für die Auswertung der Daten benötigt es eine Überführung der auditiven Form in eine schriftliche Form. Dieser Prozess wird als Transkription bezeichnet und gilt als unverzichtbar für eine anschließende Auswertung (vgl. Hussy et al. 2013, S. 246). Allerdings ist es wichtig anzumerken, dass die Aufzeichnungen durch die Erstellung des Transkripts stark reduziert werden (vgl. Fuß und Karbach 2014, S. 25). Damit dennoch eine einheitliche Transkription der erhobenen Daten erfolgt, gilt es im Vorfeld Regeln festzulegen (vgl. Fuß und Karbach 2014, S. 18). Die Regeln der für diese Arbeit erhobenen Daten werden im Folgenden betrachtet.

Als Art des Transkripts wurde das einfache wissenschaftliche Transkript gewählt, das auch als *Grundtranskript* bezeichnet wird. In dieser Art von Transkription wird

jedes Wort verschriftlicht, sodass die genaue Entwicklung eines Gesprächs sichtbar wird und keine Wertung der Gesprächsinhalte stattfindet (vgl. Fuß und Karbach 2014, S. 17 f.).

Die sprechende Person wird am Anfang eines Absatzes mit *K* für *Kind* und *I* für *leitende Person* gekennzeichnet. Damit die Daten der Kinder anonymisiert werden, erfolgt eine Zuordnung von Zahlen zu den einzelnen Kindern. So sind Kind 1, 2 und 3 Teil der ersten Gruppe und Kind 4, 5, 6 sowie ab dem dritten Termin Kind 7 in der zweiten Gruppe.

Die Sprache der aufgezeichneten Personen wird leicht geglättet. Im Rahmen dessen wird der Dialekt korrigiert und die umgangssprachlichen Ausdrucksweisen sowie Fehler im Ausdruck und im Satzbau beibehalten (vgl. Fuß und Karbach 2014, S. 40). Sprechpausen werden ab einer Länge von drei Sekunden im Transkript vermerkt, indem die Dauer in Klammern notiert wird (vgl. Fuß und Karbach 2014, S. 42). Zusätzlich werden Wortabbrüche und unverständliche Äußerungen im Transkript festgehalten. Um eine bessere Lesbarkeit zu ermöglichen, werden grammatikalische Zeichen gesetzt.

Zudem erfolgt die Notation relevanter nonverbale Informationen der Handlungen, die für das Verständnis und zur Beantwortung der Forschungsfrage erforderlich sind (vgl. Hussy et al. 2013, S. 248). Nonverbale Äußerungen wie beispielsweise lachen, sind wie folgt dargestellt: (lacht). Handlungen der Kinder, die notiert wurden, sind auch in einer Klammer aber mit kursiver Schrift gekennzeichnet (*zeigt den Weg von Blue-Bot auf der Unterlage*).

Damit das Finden der Gesprächssequenzen erleichtert wird, befinden sich in den zusammenfassenden Dokumenten vor jedem Absatz eine Nummerierung. Die Zitation einer Gesprächssequenz sieht folgendermaßen aus: (Video 1, Absatz 25).

## 5.3 Datenauswertung nach der qualitativen Inhaltsanalyse

Mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse von Mayring (2015) erfolgt die Auswertung der Daten. Im Rahmen der Inhaltsanalyse werden "Texte systematisch analysier[t], indem [..] das Material schrittweise mit theoriegeleitet am Material entwickelten Kategoriensysteme bearbeitet" (Mayring 2002, S. 114) wird. Es gibt drei Grundformen dieser Methode, die eine unterschiedliche Vorgehensweise haben. Die *Zusammenfassung* hat das Ziel das Material zu reduzieren und damit überschaubarer zu machen. Wenn zusätzliches Material zur Auswertung gesichtet wird, um die Textsequenzen zu untermauern, erfolgt die Anwendung der *Explikation*. Das Ziel der *Strukturierung* ist die Fokussierung auf bestimmte Aspekte, indem das Material mithilfe von zuvor festgelegten Kategorien analysiert wird (vgl. Mayring 2002, S. 115). Letzteres wird als Methode für die Datenauswertung der Transkriptionen genutzt und in Kapitel 5.3.2 näher betrachtet. Zuvor werden die Gütekriterien qualitativer Forschung eingehender beleuchtet.

## 5.3.1 Gütekriterien qualitativer Forschung

Mithilfe der Gütekriterien lässt sich die Qualität der Forschungsergebnisse überprüfen. Die sogenannten *klassischen Gütekriterien* der empirischen Forschung *Objektivität, Reliabilität* und *Validität* sowie deren Bedeutung für die qualitative Forschung werden im Folgenden näher betrachtet.

Das erstgenannte Kriterium, die *Objektivität*, kann in der qualitativen Forschung nicht umgesetzt werden, da die Daten im Kontext einer sozialen Situation erhoben werden (vgl. Hussy et al. 2013, S. 277). Die *Reliabilität* umfasst die "Genauigkeit, die Exaktheit des Vorgehens" (Mayring 2002, S. 142). Jedoch gestaltet sich die Wiederholung von qualitativen Forschungsprozessen zur Überprüfung der Exaktheit des Vorgehens schwierig, da jede erhobene Situation einzigartig ist und eine Veränderung der Studienteilnehmer während der qualitativen Studie vonstattengeht (vgl. Hussy et al. 2013, S. 278). Mit der Gültigkeit der Daten beschäftigt sich das Kriterium der *Validität*. Dabei steht die Frage "ob auch das erfasst wurde, was erfasst werden sollte" (Mayring 2002, S. 141) im Fokus.

Die drei ebengenannten Kriterien werden bevorzugt im Bereich der quantitativen Forschung angewendet, weshalb Mayring (2002) sechs allgemeine Gütekriterien der qualitativen Forschung formuliert hat (vgl. Mayring 2002, S. 144–148):

- (1) Als erstes Gütekriterium wird die Verfahrensdokumentation genannt. Die Relevanz der genauen Dokumentation des angewandten Verfahrens zur Ergebnisfindung wird hierbei hervorgehoben. So ist es wichtig, dass das Vorgehen auf den Forschungsgegenstand angepasst sowie die Methode explizit dafür entwickelt wird. Damit im Nachhinein der Prozess nachvollziehbar ist, benötigt es eine genauste Dokumentation jedes einzelnen Schrittes.
- (2) Das zweite Gütekriterium ist die argumentative Interpretationsabsicherung. Hierunter wird die argumentative Begründung von Interpretationen
  verstanden, die mithilfe des Materials abgesichert und in sich schlüssig
  sein müssen. Dabei gilt es auch alternative Deutungen zu betrachten und
  mit Material zu überprüfen.
- (3) Die Regelgeleitetheit stellt ein weiteres Kriterium dar. Zur leichteren Bearbeitung des Materials bietet es sich an dieses in Einheiten zu unterteilen, die im Anschluss systematisch bearbeitet werden. Zuvor ist es wichtig, dass Regeln festgelegt werden, die im Verlauf des Forschungsprozesses mehrmals überprüft und überarbeitet werden. Durch die Überarbeitung werden die vorher festgelegten Regeln an den Forschungsgegenstand angepasst.
- (4) Das vierte Kriterium ist die *Nähe zum Gegenstand*. Eine qualitative Forschung erfüllt das Kriterium, wenn "möglichst nahe an der Alltagswelt der beforschten Subjekte" (Mayring 2002, S. 146) angeknüpft wird.
- (5) Als vorletztes Kriterium wird die kommunikative Validierung genannt. Darunter wird die Diskussion über die Gültigkeit der Ergebnisse mit den Studienteilnehmern verstanden, wodurch eine Überprüfung und Absicherung der Ergebnisse stattfinden kann.
- (6) Die Triangulation bezeichnet eine Verbindung von unterschiedlichen Theorien, Methoden und Datenquellen, infolgedessen den forschenden Personen die Möglichkeit geboten wird das erforschte Thema aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten.

# 5.3.2 Methodisches Vorgehen

Im Zentrum der qualitativen Inhaltsanalyse steht das systematische Vorgehen, dass sich an festgelegten Regeln orientiert. Hierfür wird ein Ablaufmodell festgelegt, anhand dessen die Datenauswertung stattfindet. Dabei ist es relevant, die Inhaltsanalyse hinsichtlich des Gegenstands sowie der Fragestellung zu variieren. Um diese Anpassung zu gewährleisten, werden Kategorien gebildet. Diese Kategorien werden in einem Kategoriensystem definiert und mit Ankerbeispielen und Kodierregeln versehen, sodass andere Personen die Analyse ebenfalls nachvollziehen können. Zu Beginn der Kategorienbildung ist es nötig sich auf ein Vorgehen festzulegen. Gewählt werden kann zwischen der induktiven und der deduktiven Kategorienbildung (vgl. Mayring 2015, S. 50 ff.). Eine nähere Betrachtung der letztgenannten Bildung der Kategorien erfolgt im Folgenden.

Für die Auswertung der erhobenen Daten wird die strukturierende Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) ausgewählt. In diesem Rahmen ist das Ziel das Herausfiltern "bestimmter[r] Aspekte aus dem Material" (Mayring 2015, S. 67)., um so einen Eindruck des gesamten Materials zu bekommen. Innerhalb dieser Grundform der Inhaltsanalyse kann zwischen der formalen, typisierenden, skalierenden und inhaltlichen Strukturierung unterschieden werden. Für die Beantwortung der Forschungsfrage wird die letztgenannte Technik gewählt, die eine Zuordnung von Inhalten des Materials zu den unterschiedlichen Kategorien beinhaltet. Hierbei erfolgt die Kategorienbildung im Vorfeld und somit deduktiv. Jedoch können währen des Analyseprozesses Kategorien ergänzt sowie überarbeitet werden (vgl. Mayring 2015, S. 67 f.).

Als Grundform der Inhaltsanalyse wird die Strukturierung gewählt, da eine deduktive Kategorienbildung mithilfe der vier Phasen des Problemlöseprozess nach Pólya (siehe Kapitel 3.3) erfolgt. Hierfür wurde sich entschieden, da nach einer von Rott ausgewerteten Studie "etwa zwei Drittel der ausgewerteten Problemlöseprozesse eher linear verlaufen" (Heinrich et al. 2015, S. 287) und die Entwicklung der Problemlöseprozesse im Laufe der Intervention zusätzlich betrachtet wird.

Der erste Schritt des methodischen Vorgehens bildet das Festlegen des Kategoriensystems. Dieses setzt sich aus übergeordneten Hauptkategorien und

dazugehörigen Subkategorien zusammen. Für jede Subkategorie wird eine Definition formuliert, um eine einheitliche Zuordnung der einzelnen Textstellen zu ermöglichen. Des Weiteren werden Beispieltextstellen als Ankerbeispiele festgehalten, sodass der Kategorienbereich veranschaulicht wird. Die Abgrenzung der einzelnen Kategorien erfolgt durch Kodierregeln, die die eindeutige Zuordnung der Textstellen unterstützen (vgl. Ramsenthaler 2013, S. 31).

Im Anschluss an die Festlegung der Kategorien nach den vier Phasen von Pólya wurde eine erste Sichtung des gesamten Materials durchgeführt, bei dem neben Rechtschreibfehlern auch nach möglichen zu ergänzenden Subkategorien geschaut wurde. Nach der Vervollständigung des Kategoriensystems folgte die Zuordnung der Textpassagen mithilfe der zur qualitativen Datenanalyse geeigneten Software *MAXQDA 2022* den unterschiedlichen Kategorien. Um diese Aufteilung zu überprüfen, fand mit einem Abstand von zwei Tagen eine erneute Sichtung der gesamten Transkriptionen statt.

Darauf wurden die einzelnen Textstellen den jeweiligen Kategorien und Subkategorien tabellarisch gruppiert, so dass eine übersichtliche Darstellung ermöglicht wird. Zusätzlich erfolgte eine Visualisierung der Reihenfolge der einzelnen Haupt- und Subkategorien pro Termin durch eine sogenannte *Codeline*, um die Veränderung des Problemlöseprozesses sowie die Entwicklung des heuristischen Prinzips zu veranschaulichen. Die *Codeline* bietet einen Überblick über die Kategorien innerhalb eines Dokuments, indem in der X-Achse die Absätze der Textabschnitte und in der Y-Achse, die einzelnen Kategorien dargestellt sind. Hierdurch wird ein visueller Überblick über die Reihenfolge, mögliche Überschneidungen und Wiederholungen der Kategorien innerhalb des Termins gegeben.

Im Anhang ist das vollständig überarbeitete Kategoriensystem zu finden. Aufgrund des großen Umfangs der Ergebnisse des Kategoriensystems befindet sich dies auf dem beigelegten Datenträger.

Nachdem die Datenauswertung der qualitativen Inhaltsanalyse ausführlich beleuchtet wurde, folgt im nächsten Kapitel die Darstellung der Ergebnisse, deren Interpretation sowie die Diskussion der Methode.

## 6 Diskussion

Wie wirkt sich die Arbeit mit Blue-Bot auf das heuristische Prinzip des Zerlegens in Teilprobleme von Viertklässlern aus und wie verändert sich der Problemlöseprozess im Verlauf der Intervention?

Diese beiden Fragen sind die Forschungsfragen der vorliegenden Masterarbeit und sollen mit den in Kapitel 6.1 dargestellten Ergebnissen beantwortet werden. Hierfür erfolgt auf der Basis von den Ergebnissen die Interpretation entlang der Forschungsfragen. Den Abschluss bildet die Diskussion der Methode und der damit einhergehenden Grenzen der Forschung.

# 6.1 Darstellung der Ergebnisse

Die mithilfe der strukturierten Inhaltsanalyse gewonnenen Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt. Um einen besseren Überblick zu gewinnen, erfolgt eine Gliederung gemäß den einzelnen Terminen der durchgeführten Intervention. Durch diese Aufteilung wird sowohl die Entwicklung des heuristischen Prinzips Zerlegen in Teilprobleme als auch die Veränderungen des Problemlöseprozesses im Verlauf der Intervention ersichtlich. Um einen Vergleich zwischen den beiden Gruppen zu ermöglichen, werden die Ergebnisse von Gruppe 1 und Gruppe 2 getrennt betrachtet.

#### 6.1.1 Termin 1

Zu Beginn der Intervention werden die Kinder selbst zu Robotern, um die Funktionsweise dieser kennenzulernen sowie erste Algorithmen zu entwickeln. Im Anschluss lernen sie den Lerngegenstand Blue-Bot kennen und bearbeiten eine erste Aufgabe mit ihm.

#### Gruppe 1

Im Rahmen des ersten Termins durchlief die erste Gruppe den Problemlöseprozess von Pólya fünf Mal, wie in Abbildung 17 zu sehen ist.



Abbildung 17: Codeline von Video 1

Da zu Beginn von der durchführenden Person die Aufgabenstellung erklärt wurde, erfolgte die Codierung der Kategorie Verstehen der Aufgabe mit den Sub-kategorien Was ist gegeben? Und Wie lautet die Bedingung? lediglich in den ersten Absätzen der Transkription. Die beiden darauffolgenden Kategorien Ausdenken eines Planes und Ausführen des Planes wiederholten sich dreimal nach der Phase des Verstehens. Hier haben die Kinder sich eine Befehlsfolge für das jeweilige Roboterkind ausgedacht und es im Anschluss zu dem Weihnachtsbaum geführt. Innerhalb der Kategorie Ausdenken eines Planes entwickelten die Kinder Befehlsfolgen wie nachfolgende:

"K2: Sie geht nach vorne. Nach vorne. Dann dreht sie sich. Das müssen wir uns denken. Dann dreht sie sich. Dann so rum. Dann nochmal so rum. Dann nochmal so rum. Nochmal so rum. Dann dreht sie sich. Dann ist sie dahinten (zeigt auf Punkt im Feld). Dann geht sie vor. Dann steht sie da. Vo- Vor. Dann ist sie da. Vor. Dann ist sie da.

K3: Dann ist Stopp.

K2: Ne, aber wir machens noch weiter. (10) Dann drehen. Da. Dann geht sie nach vorne. Das ist der Tannenbaum (zeigt auf eine Pfeilkarte). Dann wieder nach vorne. Dann wieder drehen. Dann wieder nach vorne und dann ist sie da." (Video 2, Absatz 86 ff.)

Auf das Unplugged Programmieren folgte das Kennenlernen von Blue-Bot, bei dem die Kinder selbstständig Blue-Bot erkunden durften. Diese Phase wurde nicht codiert, weshalb in Abbildung 17 zwischen Absatz 96 und 132 keine Kategorien zu finden sind.

Bei der Bearbeitung der ersten Aufgabe mit Blue-Bot durchliefen die Kinder zweimal die Phasen *Verstehen der Aufgabe*, *Ausdenken eines Planes* und *Ausführen des Planes*. Dabei entdeckten sie auch einen Fehler, der sich auf das fehlende Drücken der Löschen-Taste zurückführen ließ (vgl. Video 1, Absatz 213).

Die Phase der *Rückschau* durchliefen die Kinder der ersten Gruppe in diesem Termin nicht.

## Gruppe 2

Der Problemlöseprozess bei der zweiten Gruppe im Verlauf des ersten Termins ließ sich, wie in Abbildung 18 dargestellt, ebenfalls fünfmal finden.



Abbildung 18: Codeline von Video 2

Ebenso wie bei Gruppe 1 wurde die Aufgabenstellung mit den gegebenen Aspekten und den Bedingungen zu Beginn erwähnt. Im Anschluss entwickelten die Schuler:innen selbstständig Befehlsfolgen mit denen sie das Roboterkind zu dem Weihnachtsbaum navigierten. Hierbei kam es dreimal zu einer Fehlebehebung. Beispielsweise schilderte Kind 4 den einen Fehler folgendermaßen: "Sie- sie- diewar- ich glaub, sie war da vorne falsch. Ich glaub, die- die hats hier zweimal nach vorne, ob- obwohl wir nur ein nach vorne hatten." (Video 2, Absatz 22) Infolgedessen kam es zur Klärung von der Relevanz eindeutiger Formulierungen von Befehlen. (vgl. Video 2, Absatz 23).

Zwischen Absatz 101 und 179 erkundeten die Kinder die Funktionen von Blue-Bot, weshalb keine Codierungen vorhanden sind.

Auf die Erkundung von Blue-Bot folgte die erste Aufgabe mit ihm als Lerngegenstand. Infolgedessen durchliefen die Kinder zweimal die ersten drei Phasen.

Auch hier fand die Phase der Rückschau nicht statt.

## 6.1.2 Termin 2

Beim zweiten Termin der Intervention stehen vorgegebene Befehlsfolgen im Fokus, die die Kinder nachvollziehen sollen. Dadurch wird die Bedeutung der Tasten wiederholt und gefestigt sowie das räumliche Vorstellungsvermögen gefördert.

Im Umgang mit den entwickelten Aufgaben kommt die Phase des *Ausdenkens* eines *Planes* selten vor, da die Befehlsfolge bereits vorgegeben ist. Zudem beinhaltet das *Ausführen des Planes* nicht zwingend die direkte Programmierung

Blue-Bots, sondern die extra für diese Aufgaben entwickelte Subkategorie *Ausführungen der vorgegebenen Befehlsfolgen*. Hierbei setzten die Schüler:innen Blue-Bot entsprechend der Wegbeschreibung, um zu dem richtigen Geschenk zu gelangen.

# Gruppe 1

Wie in Abbildung 19 zu sehen ist, weist der Verlauf des zweiten Termins in Gruppe zwei reguläre Problemlöseprozesse auf und zwei irreguläre.

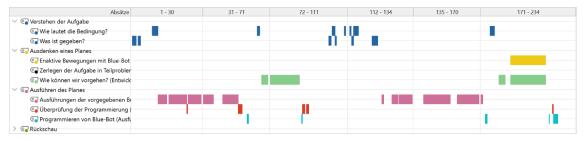


Abbildung 19: Codeline von Video 3

Die beiden irregulären Prozesse sind durch die Ausführung der vorgegebenen Befehlsfolge gegeben. Im Rahmen dieser versuchten die Kinder mit ihrem Finger die Befehle nachzuvollziehen, bis sie Blue-Bot schrittweise entsprechend den Befehlen bewegt haben. Eine Textstelle, vom Versuch die Befehlsfolge mit dem Finger auszuführen, ist folgende:

"K1: Und dann geht er nach vorne. Dann geht er zwei Schritte nach vorne. (B,2), dann (C, 2). (benutzt ihren Finger anstelle von Blue-Bot, um den Weg von Blue-Bot nachzuvollziehen) Dann-K2: Fährt vorne wieder. er nach K1: dreht Dann er erster nach links. Um 90°. K2: Dann fährt er dahin (arbeitet mit K1 auf gedrucktem Feld auf dem Arbeitsblatt).

K1: Nein, dann fährt er hierhin. (D, 2)." (Video 3, Absatz 13 ff.)

Nachdem die Schüler:innen das Ziel der Wegbeschreibung gefunden haben, gaben sie die Befehlsfolge in Blue-Bot ein und überprüften so ihre Lösung.

Anschließend bestand die Aufgabe der Kinder darin, dass sie selbst einen Weg für Blue-Bot entwickeln sollen. In diesem Rahmen fanden die beiden regulären Prozesse statt, jedoch auch hier wieder ohne die Phase der *Rückschau*.

Zusätzlich nutzen die Kinder Blue-Bot als Unterstützung beim *Ausdenken eines Planes*, indem sie ihn entsprechend der von ihnen überlegten Befehlen manuell gesetzt haben.

# Gruppe 2

Ähnlichkeiten der eben beschriebenen Ergebnisse lassen sich in dem Verlauf der zweiten Gruppe finden. Dieser ist in Abbildung 20 zu sehen.

Jedoch kam es während der Durchführung des Termins bei Gruppe 2 zu einer Unterbrechung, weshalb die Aufgaben nicht vollständig bearbeitet werden konnten.



Abbildung 20: Codeline von Video 4

Auch hier sind in der Abbildung zwei irreguläre Problemlöseprozesse dargestellt, die im Zusammenhang mit den oben genannten Gründen stehen.

Aufgrund der Unterbrechung gibt es nur einen regulären Problemlöseprozess mit Verstehen der Aufgabe, Ausdenken eines Planes und dem Ausführen desselbigen sowie ohne die Rückschau.

Während dem Ausführen der vorgegebenen Befehle werden zweimal Fehler erkannt, infolgedessen diese behoben werden. Ein Beispiel ist: "K4: Nein, ich glaub, d- der guckt zu diesem Geschenk (korrigiert Position von Blue-Bot)" (Video 4, Absatz 85).

## 6.1.3 Termin 3

Nachdem die Schüler:innen Blue-Bot kennen- und anwenden gelernt haben, wird die Programmierleiste eingeführt mit deren Hilfe die folgenden Termine gearbeitet wird. Zudem bearbeiten die Kinder im Rahmen der Lernumgebung mit einer Aufgabe, die in mehrere Teilprobleme zerlegt werden kann.

## Gruppe 1

Den Anfang des dritten Termins bildet die Einführung der Programmierleiste, weshalb die ersten Absätze nicht codiert wurden (siehe Abbildung 21).

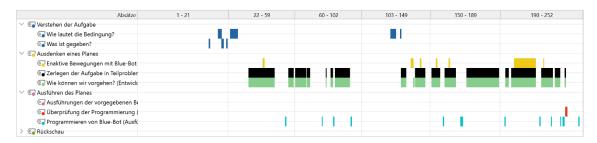


Abbildung 21: Codeline von Video 5

Darauf folgte die Erklärung der zu bearbeitenden Aufgabe und die damit verbundene Phase Verstehen der Aufgabe. Im Anschluss wurde zum ersten Mal der Intervention die Aufgabe in drei Aufgabenteile zerlegt. Zeitgleich mit dem Zerlegen der Aufgabe in Teilprobleme entwickelten die Schüler:innen eine Befehlsfolge, um das erste Geschenk einzusammeln. Dabei zählt das Legen der Karten in die Programmierleiste zum Ausdenken eines Planes. Ein Beispiel für eine Textstelle aus dem fünften Video mit der Zuordnung zu den beiden Subkategorien Zerlegen der Aufgabe und Entwickeln einer Befehlsfolge, stellt diese Äußerung von Kind 1 dar:

"K1: Wir könnten rückwärtsfahren. (K3: Stimmt) (dreht sich mit eigenem Körper so, wie sich Blue-Bot drehen würde) Dann nach links drehen um 90°. Dann nach vorne zwei Schritte (K2 legt die passenden Karten in die Programmierleiste). (dreht sich mit eigenem Körper so, wie sich Blue-Bot drehen würde) Dann nach rechts drehen um 90°." (Video 5, Absatz 91 ff.)"

Nachdem die Kinder eine Befehlsfolge entwickelt haben, führte Blue-Bot diese aus. Dieser Prozess wiederholte sich dreimal, bis die Aufgabe erfolgreich gelöst wurde.

Durch das Verbot der Linksdrehung wurde eine Schwierigkeit eingebaut, wodurch die Kinder insgesamt achtmal die beiden Phasen *Ausdenken eines Planes* und *Ausführen des Planes* durchlaufen. Während der Entwicklung der Befehlsfolge nutzten die Kinder an sechs Textstellen Blue-Bot zur Unterstützung. Zudem mussten sie kurz vor der Lösung der Aufgabe einen Fehler beheben.

## Gruppe 2

Vor der Durchführung des dritten Termins wurde der zweiten Gruppe ein weiteres Kind hinzugefügt, dass von den beiden anderen Kindern mit Blue-Bot vertraut gemacht wurde. Daher erfolgte, wie in Abbildung 22 zu sehen, in den ersten Absätzen keinen Kategorienzuordnung. Durch den großen zeitlichen Rahmen des Termins bei Gruppe 2 besteht der Interventionstermin aus Video 6 und 7. Infolgedessen wird der Verlauf in zwei Codelines dargestellt (siehe Abbildung 22 und 23).

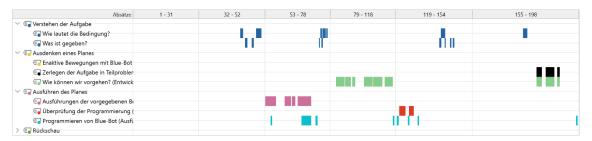


Abbildung 22: Codeline von Video 6

In Abbildung 22 findet sich die Bearbeitung von der zweiten Aufgabe des zweiten Termins sowie die Einführung von Blue-Bot, weshalb einige Absätze keine Codierung aufweisen.

Ein irregulärer und regulärer Problemlöseprozess sind im Rahmen der zweiten Aufgabe mit der vorgegebenen Befehlsfolge entstanden. Bei der Ausführung der eigenen entwickelten Befehlsfolge kam es zu zwei Fehlern, weshalb der Plan korrigiert werden musste. Eine Situation entstand durch den Ruhe-Modus von Blue-Bot, der durch das Drücken einer Taste wieder aktiviert wird. Infolgedessen kam es zu folgender Textpassage:

"K5: Ah, das ist das vom letzten Mal. Aber ich hab doch Löschen gedrückt. I: Ich glaube das Löschen hat Blue-Bot wieder eingestellt und deshalb hättest du nochmal Löschen drücken müssen, aber jetzt lassen wir ihn erstmal fahren und dann dürfen wir das nochmal eingeben." (Video 6, Absatz 123 f.)

Nach der Einführung der Programmierleiste bearbeiteten die Schüler:innen die Aufgabe des dritten Termins. Ein Teil des Prozesses ist bereits in Abbildung 22 dargestellt und wird durch Abbildung 23 vervollständigt.



Abbildung 23: Codeline von Video 7

Während der Auseinandersetzung mit der Aufgabe wiederholen die Kinder fünfmal den Prozess, der aus Entwickeln einer Befehlsfolge und Zerlegen der Aufgabe sowie dem Programmieren von Blue-Bot. Dabei treten zweimal Fehler auf, die die Kinder erkennen und beheben. Des Weiteren nehmen sie beim Entwickeln einer Befehlsfolge zur Unterstützung Blue-Bot zur Hand.

Nach der Fertigstellung der Aufgabe fand ebenso wie bei Gruppe 1 die Phase der *Rückschau* keine Beachtung.

#### 6.1.4 Termin 4

Der Fokus der Aufgabe von diesem Termin liegt auf der Zerlegung der Aufgaben in Teilprobleme.

#### Gruppe 1

In der in Abbildung 24 dargestellten Codeline wird der Verlauf von dem vierten Termin der ersten Gruppe abgebildet.



Abbildung 24: Codeline von Video 8

Zur Bearbeitung der Aufgabe zerlegen die Schüler:innen diese in neun Teilprobleme. Dies findet in einem sich wiederholenden Prozess statt, der aus Zerlegen der Aufgabe, Entwickeln und Ausführen der Befehlsfolge besteht. Dementsprechend kommt diese Kombination aus den drei Subkategorien neunmal vor. Zwischendrin entdeckten die Kinder bei der Überprüfung einen Fehler und behoben diesen im Anschluss.

Beim zweiten Aufgabenteil wiederholt sich der Prozess aus den obengenannten Subkategorien siebenmal, bis die Aufgabe fertiggestellt ist. Auch hier kommt es zu Fehlern und deren Behebung.

Zum Abschluss des Termins wird durch eine Frage der durchführenden Person eine Annäherung an die Kategorie der *Rückschau* erreicht:

"I: Das letztes Mal hattet ihr ja auch eine ähnliche Aufgabe, dass er sich ja auch nicht in eine Richtung drehen konnte. Hattet ihr das Gefühl, dass hat euch bisschen geholfen? jetzt ein K1 und K3: Ja. I: Okay, sehr gut. Und was ist denn jetzt, wenn ihr merkt- Also, bringt euch das was für andere Aufgaben. Wenn ihr also, wenn ihr jetzt vielleicht irähnliche gendwie eine Aufgabe bekommt. K3: Ja, würde, weil wir dann damit schon Erfahrungen haben." (Video 8, Absatz 232 ff.)

## Gruppe 2

Genauso wie beim vorherigen Termin der zweiten Gruppe besteht dieser Interventionstermin aus zwei Videos, weshalb im Folgenden zwei Codelines abgebildet werden (siehe Abbildung 25 und 26).

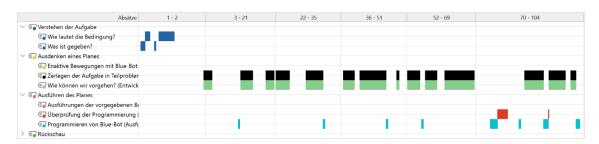


Abbildung 25: Codeline von Video 9

Wie bei der ersten Gruppe wird die Aufgabe von den Kindern in Teilprobleme zerlegt und anschließend bearbeitet. Während der Auseinandersetzung mit der Aufgabe kommt es zur mehrmaligen Wiederholung von den Subkategorien Zerlegen der Aufgabe, Entwickeln und Ausführen der Befehlsfolge. Insgesamt durchläuft die Aufgabe elf Durchführungen der drei Subkategorien. Dabei kommt es auch zu Fehlern, die behoben werden. Eine solche Fehlersituation sah folgendermaßen aus:

"K4: Stopp, stopp.I: Was ist passiert?K6: Doch nach rechts.

K4: Also ich- wir legen ihn noch hier- hier so (stellt Blue-Bot an den Ausgangspunkt).

(K6 tauscht den falschen Befehl auf der Programmierleiste aus)" (Video 9, Absatz 77 ff.)



Abbildung 26: Codeline von Video 10

Die zweite Aufgabe lösten die Teilnehmer:innen der zweiten Gruppe ähnlich. Hierbei kam es zu sieben Wiederholungen innerhalb des Bearbeitungsprozesses.

Die Phase der *Rückschau* kam bei diesem Termin nicht vor, wie in Abbildung 26 zu sehen ist.

#### 6.1.5 Termin 5

Beim fünften Termin der Intervention begibt sich Blue-Bot auf eine Mission, bei denen die Schüler:innen ihn unterstützen sollen. Im Mittelpunkt steht erneut das Zerlegen in Teilprobleme.

#### Gruppe 1

Der Verlauf der ersten Gruppe ist in der untenstehenden Abbildung abgebildet und zeigt erneut die wiederholte Anwendung von den Subkategorien Zerlegen der Aufgabe, Entwickeln und Ausführen der Befehlsfolge auf.

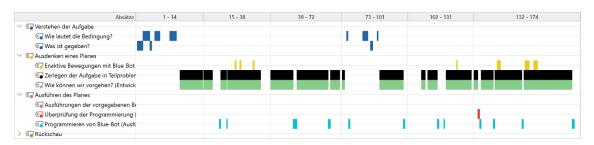


Abbildung 27: Codeline von Video 11

So findet bei der ersten Aufgabe der Prozess fünfmal und bei der zweiten Aufgabe siebenmal statt.

In der Phase der Befehlsfolgenentwicklung arbeiten die Kinder sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Aufgabe mit Blue-Bot enaktiv zur Unterstützung.

#### Gruppe 2

Im Rahmen der Aufgabenbearbeitung kommt es ebenfalls bei der zweiten Gruppe zu Wiederholungen der Subkategorien (siehe Abbildung 28).

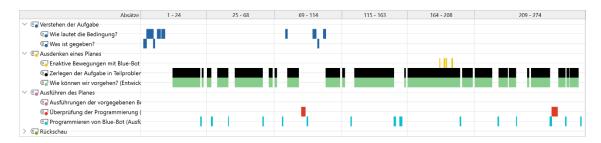


Abbildung 28: Codeline von Video 12

Bei der Bearbeitung der ersten Aufgabe tritt die Kombination aus Zerlegen der Aufgabe, Entwickeln einer Befehlsfolge und Ausführen dieser sechsmal auf. Nachdem Blue-Bot nicht mehr vorwärtsfahren kann, wiederholt sich der Prozess aus den ebengenannten Subkategorien achtmal.

Innerhalb der beiden Aufgaben korrigiert die Gruppe zwei Fehler. Beispielsweise entstand eine der Situationen durch das Legen einer falschen Drehung (vgl. Video 10, 103).

Genauso wie die erste Gruppe arbeiteten die Schüler:innen dieser Gruppe bei dem zweiten Aufgabenteil enaktiv mit Blue-Bot.

Die Phase der *Rückschau* durchliefen die Kinder beider Gruppen in diesem Termin nicht.

#### 6.1.6 Termin 6

Zum Abschluss der Intervention helfen die Kinder Blue-Bot zurück zum Weihnachtsmann zu finden.

#### Gruppe 1

Der letzte Termin der ersten Gruppe setzt sich aus den Videos 13 und 14 zusammen. Daher wird der Verlauf in zwei Codelines dargestellt (siehe Abbildung 29 und 30).

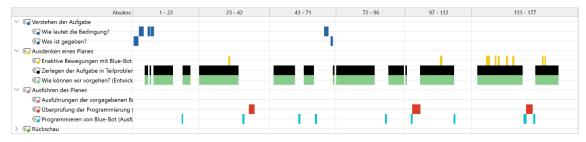


Abbildung 29: Codeline von Video 13

Erneut tritt der Prozess aus den drei Subkategorien Zerlegen der Aufgabe, Entwickeln und Ausführen der Befehlsfolge wiederholt auf. So lassen sich insgesamt fünf beim ersten Aufgabenteil sowie acht solcher Abläufe im gesamten Verlauf zum Abschluss der Intervention verzeichnen.



Abbildung 30: Codeline von Video 14

Während der Phase des *Entwickelns einer Befehlsfolge* greifen die Kinder dieser Gruppe vermehrt auf Blue-Bot zur Unterstützung zurück. Auch werden fünf Textstellen codiert, die der Subkategorie *Überprüfung der Programmierung* zugeordnet werden. Ein Beispiel ist folgende Situation: "K1: Eins muss da weg (zeigt auf eine Geradeaus-Karte auf der Programmierleiste, weil Blue- Bot sonst über die Unterlage hinausfahren würde) Guck, eins muss da weg." (Video 13, Absatz 36)

Neben den drei codierten Kategorien Verstehen der Aufgabe, Ausdenken eines Planes und Ausführen des Planes, kam die vierte Kategorie Rückschau nicht vor.

#### Gruppe 2

Im Rahmen des letzten Termins der Intervention finden auch bei der zweiten Gruppe Wiederholungen innerhalb des Bearbeitungsprozesses statt. Eine Veranschaulichung des Verlaufs ist in Abbildung 31 dargestellt.

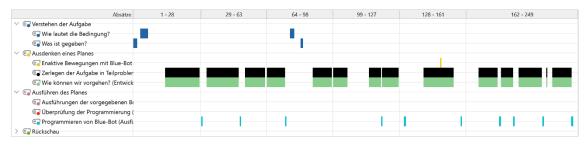


Abbildung 31: Codeline von Video 15

So wiederholen sich die drei mehrfach genannten Subkategorien im ersten Drittel des Termins dreimal, während bei dem zweiten Aufgabenteil die Abläufe siebenmal aufeinanderfolgen.

Wie bereits in den anderen Terminen findet auch im letzten Termin die Phase der Rückschau keine Beachtung.

#### 6.2 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel erfolgt eine Zusammenfassung und Interpretation der gewonnenen Ergebnisse, um die Forschungsfragen zu beantworten.

Forschungsfrage 1: Wie wirkt sich die Arbeit mit Blue-Bot auf das heuristische Prinzip des Zerlegens in Teilprobleme von Viertklässlern aus?

Im Verlauf der ersten zwei Termine erfolgte eine Heranführung an den Lerngegenstand Blue-Bot. Infolgedessen waren die Aufgaben so gestaltet, dass eine Bearbeitung ohne Zerlegung möglich war.

Ab dem dritten Termin war die Aufgabenstellung so gestaltet, dassr ein sinnvolles Vorgehen die Anwendung des heuristischen Prinzips darstellt. Bei der Bearbeitung dieser Aufgabenstellung zerlegte die erste Gruppe ihr Vorgehen in drei Teile, wodurch das Prinzip eingesetzt wurde. Hier ist wichtig anzumerken, dass die Kinder zuerst den gesamten Weg von Blue-Bot entwickeln wollten. Dies gestaltete sich jedoch schwierig, weshalb sie schlussendlich das schrittweise Vorgehen wählten. Auch bei der anschließenden Aufgabenstellung ließ sich eine Anwendung verzeichnen. Hierbei ist das Zerlegen der Aufgabe in der Problemlösephase des Ausdenkens eines Planes nach Pólya (2010) vorzufinden. Dies ist in

den Abbildungen aus dem Kapitel 6.1 vielfach dargestellt. So ging das Zerlegen der Aufgabe in Teilprobleme mit der Entwicklung einer Befehlsfolge zum Lösen der Aufgabe einher. Um das Teilproblem zu lösen, folgte im Anschluss die Programmierung von Blue-Bot beziehungsweise die Ausführung der entwickelten Befehlsfolge. Dieser Ablauf mit Zerlegen der Aufgabe, Entwickeln und Ausführen der Befehlsfolge wiederholt sich in den Verläufen der einzelnen Termine mehrere Male.

Nach der ersten Anwendung des genannten heuristischen Prinzips wendeten die Schüler:innen dieses in den folgenden Interventionsterminen durchgehend an, um zu einer Lösung zu gelangen. Somit wirkt sich die Arbeit mit Blue-Bot auf das Zerlegen in Teilprobleme aus, indem die Kinder im Anschluss bevorzugt und selbstständig das Prinzip anwenden.

Da der Problemlöseprozess auch mit Fehlern einhergeht, ist in der Phase der Ausführung des Planes die Überprüfung jedes Schrittes von Relevanz (vgl. Pólya 2010, S. 26 f.). Denn nur dann können mögliche Fehler gefunden und behoben werden. Während der Termine fielen den Kindern im Durchschnitt zwei bis drei Fehler auf, die sie im Anschluss korrigierten. In dieser Hinsicht ließ sich eine Entwicklung bei der zweiten Gruppe verzeichnen, da sie ab dem dritten Termin bei jedem weiteren Termin weniger Fehler gemacht haben. Schlussendlich mussten die teilnehmenden Schüler:innen innerhalb des letzten Termins keinen einzigen Fehler korrigieren. Somit lässt sich in dieser Hinsicht ein Zuwachs feststellen, der sich im Verlauf der Intervention entwickelt hat. Bei der zweiten Gruppe entstanden die Fehler oft im Zusammenhang mit fehlerhaften Drehungen oder zu frühem Starten der Programmierleiste, obwohl Blue-Bot nicht an seinem Ausgangspunkt stand. Dazu kam es in Situationen, in denen die Kinder zuvor Blue-Bot manuell bewegt haben, um die Befehlsfolge zu entwickeln. Jedoch stellten die Drehungen auch bei der der zweiten Gruppe ein Problem dar, was sich im Laufe der Intervention verbesserte. Des Weiteren kann das Kontrollieren der Befehlsfolge in den Kontext zu der Zerlegung in Teilprobleme gesetzt werden. So kommt es zu einer Limitation der möglichen Fehler, wenn die gesamte Aufgabe zerlegt wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Arbeit mit Blue-Bot auf das heuristische Prinzip der Zerlegung sich dann auswirkt, wenn die Lernumgebung dementsprechend gestaltet ist. Diese Erkenntnis lässt sich auf den Unterschied

zwischen den Vorgehen der Termine 2 und 3 zurückführen. Dementsprechend ist es vonnöten Problemaufgaben anzubieten, die eine Zerlegung zulassen. Da diese Bedingung nach der Einführungsphase von Blue-Bot erfüllt wurde, lässt sich eine Entwicklung bei der Anwendung der Zerlegung einer Aufgabe in Teilprobleme feststellen. Zudem findet das *indirekte Fördern* Anwendung, welches eine bewusste Gestaltung der Lernumgebung beinhaltet, sodass die Kinder zum Lösen von Problemaufgaben angeregt werden (vgl. Heinrich et al. 2015, S. 291).

Forschungsfrage 2: Wie verändert sich der Problemlöseprozess im Laufe der Intervention?

Zusätzlich wird im Rahmen der Masterarbeit der Fokus auf die Veränderung des Problemlöseprozesses im Laufe der Intervention gerichtet.

Der Problemlöseprozess von Pólya (2010) ist von einer Linearität geprägt (siehe Kapitel 3.3), da die Phasen inhaltlich aufeinander aufbauen und der Verlauf als linear angesehen wird. Bei solchen Modellen wird jedoch der dynamische und zyklische Charakter des Problemlöseprozess außen vor gelassen (vgl. Heinrich et al. 2015, S. 286 f.). Die Forschungsfrage wurde zudem zur Betrachtung der Linearität innerhalb der Intervention angewandten Problemlöseprozesse sowie dem Erkennen möglicher Veränderungen der Prozesse im Verlauf der sechs Termine formuliert.

Zu Beginn der Intervention verlief der Problemlöseprozess bei den Kindern linear, indem die Bedingungen geklärt und somit die darauf aufbauenden Phasen Ausdenken eines Planes und dessen Ausführung durchgeführt wurden. Eine Ausnahme stellte der zweite Termin dar. Hier haben die Kinder sich keinen Plan ausgedacht, sondern lediglich die vorgegebene Befehlsfolge ausgeführt und überprüft. Die zyklischen Aspekte in den Problemlöseprozessen finden sich ab dem dritten Termin, als die Kinder die Aufgabe in Teilprobleme zerlegt haben. In den darauffolgenden Terminen verläuft der Problemlöseprozess ähnlich. Der zyklische Charakter ergibt sich durch die Wiederholungen folgender Phasen: Nach dem Verstehen der Aufgabe findet die Zerlegung der Aufgabe parallel zu der Entwicklung einer Befehlsfolge statt. Der in diesem Rahmen entwickelte Algorithmus wird im Folgenden von Blue-Bot ausgeführt. Darauf folgt eine weitere Zerlegung der Aufgabe und die restlichen Abläufe, bis die Lösung erreicht wurde.

Die Phase der Rückschau findet sich einmal im Verlauf der Intervention aufgrund einer Frage der durchführenden Person. Diese Erkenntnis untermauert die Aussage, dass die Rückschau sehr selten von Schüler:innen durchgeführt wird und für den Reflexionsprozess Unterstützungsmaßnahmen zur Verfügung gestellt werden sollten (vgl. Ohlendorf 2017, S. 138).

#### 6.3 Diskussion der Methode und Grenzen der Forschung

Im Rahmen dieser Masterarbeit liegt der Fokus auf der Entwicklung der Problemlösekompetenz. Hierfür erfolgte eine Betrachtung des Prozesses während der durchgeführten Intervention, um die Entwicklung mithilfe einer Videokamera festzuhalten. Die erhobenen Daten wurden im Anschluss transkribiert und nach der qualitativen Inhaltsanalyse von Mayring (2015) ausgewertet.

Um eine korrekte empirische Vorgehensweise zu gewährleisten, gilt es die Gütekriterien der qualitativen Forschung zu beachten. Eine nähere Betrachtung ist in Kapitel 5.3.1 zu finden. Während des Forschungsprozesses erfolgte die genaue Dokumentation des Verfahrens, weshalb das Kriterium der Verfahrensdokumentation erfüllt ist. Des Weiteren wurde auf die Nähe zum Gegenstand sowie die Regelgeleitetheit Wert gelegt (vgl. Mayring 2002, S. 144 ff.). Das Kriterium der Triangulation ließ sich aufgrund der begrenzten Stichprobe aus einer Klasse, der eingeschränkten Wahl der Methode zur Datenauswertung und lediglich einer forschenden Person nicht erfüllen. Eine Möglichkeit wäre die Stichprobenerweiterung gewesen, indem Schüler:innen aus einer anderen vierten Klasse ebenfalls an der Intervention teilgenommen hätten. Auch die kommunikative Validierung konnte im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit nicht erfüllt werden. Um dieses Kriterium zu gewährleisten, wäre ein Austausch mit anderen Personen über die Thematik vonnöten gewesen. Hierfür hätten sich diese einarbeiten müssen, was aufgrund der zeitlichen Komponente schwierig umzusetzen war. Die drei klassischen Gütekriterien stehen bei der qualitativen Forschung im Hintergrund, da sie im Bereich der qualitativen Forschung schwer umzusetzen sind (vgl. Mayring 2002, S. 140 ff.). Aufgrund dessen liegt der Fokus hier auf den Gütekriterien der qualitativen Forschung.

Die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) ermöglichte die einheitliche Auswertung der transkribierten Videos. Jedoch kam es vor der Kategorienbildung zu Unsicherheiten, ob durch die gewählte Methode die

Forschungsfragen beantwortet werden können. Nach einiger Überlegungszeit erfolgte die erfolgreiche Bildung des Kategoriensystems. Während des Prozesses konnten einige Textstellen nicht spezifisch einer Kategorie zugeordnet werden, da die Kinder sowohl die Subkategorie *Wie können wir vorgehen?* und *Zerlegen der Aufgabe in Teilprobleme* erfüllten. Zwischenzeitlich waren diese beiden Subkategorien auch vereint. Da dadurch die Entwicklung des heuristischen Prinzips *Zerlegens in Teilprobleme* nicht mehr ersichtlich war, wurden die beiden Kategorien wieder getrennt. Des Weiteren kam es zu einer Ergänzung bei der Kategorie *Ausführen des Planes* durch die Subkategorie Überprüfung der Programmierung und das damit verbunden Finden und Beheben der Fehler. Diese Subkategorie wird deshalb der Kategorie zugeordnet, da die Kontrolle jedes Schrittes von Pólya Inhalt der Phase der Ausführung ist (vgl. Pólya 2010, S. 26 f.).

Es ist zu beachten, dass der Fokus der Masterarbeit hauptsächlich auf dem heuristische Prinzip Zerlegen einer Aufgabe in Teilprobleme und der Veränderung des Problemlöseprozesses im Verlauf der Intervention lag.

Eine Grenze der Forschung stellt die Beobachtung der Intervention dar, ohne eine vorherige Diagnose durchzuführen. Daher empfiehlt sich für weiterführende Forschungen hinsichtlich der Thematik die Durchführung einer Interventionsstudie mit Hilfe eines Pretest-Posttest-Design.

#### 7 Fazit der Arbeit und Ausblick

Die vorliegende Masterarbeit ging der Frage nach wie sich die Arbeit mit Blue-Bot auf das heuristische Prinzip des Zerlegens in Teilprobleme von Viertklässlern auswirkt. Zusätzlich dazu wurde die Veränderung des Problemlöseprozess im Verlauf der Intervention betrachtet. Für die Beantwortung erfolgte die Durchführung einer Interventionsstudie, die mithilfe einer qualitativen Inhaltanalyse ausgewertet wurde.

Das Ziel der vorliegenden Masterarbeit war hierbei die Untersuchung der Entwicklung der Problemlösekompetenz im Umgang mit dem Lernroboter Blue-Bot.

Um sich dem Thema Problemlösen anzunähern, wurden zu Beginn dieser Arbeit die theoretischen Grundlagen zu der Thematik erläutert. In diesem Rahmen wurde der Problemlöseprozess nach Pólya, verschiedene Heurismen und der Zusammenhang von Problemlösen und Algorithmen betrachtet. Das vierte

Kapitel widmete sich dem Problemlösen in der Grundschule. Im empirischen Teil der Masterarbeit erfolgte die Vorstellung, der in der Intervention eingesetzten Lernumgebung. Hierfür wurden die geförderten Kompetenzen sowie die einzelnen Termine methodisch-didaktisch näher betrachtet.

Für die Untersuchung der Problemlösekompetenz und deren Entwicklung im Umgang mit Blue-Bot wurden die einzelnen Termine der Intervention mit einer Videokamera aufgezeichnet und im Anschluss transkribiert. Die Auswertung der Daten fand mithilfe der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse statt.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Arbeit mit Blue-Bot das heuristische Prinzip des Zerlegens einer Aufgabe in Teilprobleme fördern kann, wenn die Lernumgebung entsprechend gestaltet ist. Dies ließ sich dadurch erklären, dass die Kinder den Nutzen des schrittweisen Vorgehens erkannt haben und die möglichen Fehler sich dadurch reduzierten. Zudem ließ sich ein zyklischer Ablauf des Problemlöseprozesses erkennen, nachdem die Kinder ihre Aufgaben zerlegten. Somit fand eine Veränderung dahingehend statt, dass zu Beginn der Intervention der Bearbeitungsprozess linear ablief und sich im Laufe der Intervention wiederholte. Dementsprechend wies der Prozess einen zyklischen Charakter auf.

Diese Untersuchung zeigte, dass der Lernroboter Blue-Bot zur Entwicklung der Problemlösekompetenz beitragen kann. Für eine weiterführende Forschungen hinsichtlich der Thematik bietet sich die Durchführung einer Interventionsstudie mit Hilfe eines Pretest-Posttest-Design an. Hierbei eignet sich zusätzlich die Untersuchung anhand von Experiment- und Kontrollgruppen, so dass die Auswirkungen von der Arbeit mit Blue-Bot verglichen werden können. Des Weiteren besteht die Möglichkeit eine Interventionsstudie mit einer größeren Stichprobe durchzuführen.

#### Literaturverzeichnis

Arbinger, Roland (1997): Psychologie des Problemlösens. Eine anwendungsorientierte Einführung. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft (Die Psychologie).

- Arnulf Betzold GmbH (2022a): Blue-Bot der programmierbare Roboter. Online verfügbar unter https://www.betzold.de/prod/E\_754599/, zuletzt aktualisiert am 20.12.2022, zuletzt geprüft am 20.12.2022.
- Arnulf Betzold GmbH (2022b): Blue-Bot Programmierleiste. Online verfügbar unter https://www.bet-zold.de/prod/E\_755769/?gclid=Cj0KCQiA4OybBhCzARI-sAlcfn9mk3GRwK80D-yfLHwlQHEPxoN9Zfjs\_9djt8Ax-NGA45\_6xkhFXPxiQaAgOmEALw\_wcB, zuletzt aktualisiert am 01.01.2023, zuletzt geprüft am 01.01.2023.
- Beckmann, Astrid (2003): Mathematikunterricht in Kooperation mit Informatik. Zugl.: Hannover, Univ., Habil.-Schr., 2003. Hildesheim: Franzbecker (Fächerübergreifender Mathematikunterricht / Astrid Beckmann, Teil 4).
- Bergner, Nadine; Köster, Hilde; Magenheim, Johannes; Müller, Kathrin; Romeike, Ralf; Schroeder, Ulrik; Schulte, Carsten (2018): Zieldimensionen informatischer Bildung im Elementar- und Primarbereich. In: Stiftung "Haus der kleinen Forscher" (Hg.): Frühe informatische Bildung Ziele und Gelingensbedingungen für den Elementar- und Primarbereich. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung "Haus der kleinen Forscher". Opladen: Verlag Barbara Budrich (Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung "Haus der kleinen Forscher, Band 9), S. 38–267.
- Best, Alexander; Borowski, Christian; Büttner, Katrin; Freudenberg, Rita; Fricke, Martin; Haselmeier, Kathrin et al. (2019): Kompetenzen für informatische Bildung im Primarbereich. Unter Mitarbeit von Gesellschaft für Informatik e.V. Gesellschaft für Informatik e.V. Online verfügbar unter https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/20121.
- Betsch, Tilmann; Funke, Joachim; Plessner, Henning (2011): Allgemeine Psychologie für Bachelor: Denken Urteilen, Entscheiden, Problemlösen. Lesen, Hören, Lernen im Web. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch). Online verfügbar unter http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1542596.
- Beyer, Steven; Dreher, Ulrike; Grave-Gierlinger, Frederik; Eilerts, Katja; Schuler, Stephanie (2023): Entwicklung von Lernumgebungen zum Computational Thinking im Mathematikunterricht und ihr Einsatz in Lehrkräftefortbildungen. In: Jürgen Roth, Michael Baum, Katja Eilerts, Gabriele Hornung und Thomas Trefzger (Hg.): Die Zukunft des MINT-Lernens –

Band 1. Perspektiven auf (digitalen) MINT-Unterricht und Lehrkräftebildung. 1st ed. 2023. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Imprint Springer Spektrum, S. 73–90.

- Bruder, Regina; Collet, Christina (2011): Problemlösen lernen im Mathematikunterricht. Mit Kopiervorlagen. 1. Aufl. Berlin: Cornelsen Scriptor (Scriptor Praxis Mathematik).
- Catlin, Dave; Kandlhofer, Martin; Holmquist, Stephanie (2018): EduRobot Taxonomy. A Provisional Schema for Classifying Educational Robots. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/324786505\_EduRobot\_Taxonomy\_A\_Provisional\_Schema\_for\_Classifying\_Educational\_Robots, zuletzt geprüft am 07.11.2022.
- Città, Giuseppe; Gentile, Manuel; Allegra, Mario; Arrigo, Marco; Conti, Daniela; Ottaviano, Simona et al. (2019): The effects of mental rotation on computational thinking. In: *Computers & Education* 141, S. 103613. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103613.
- Curzon, Paul; McOwan, Peter W. (2018): Computational thinking. Die Welt des algorithmischen Denkens in Spielen, Zaubertricks und Rätseln. Berlin: Springer.
- Dilling, Frederik; Pielsticker, Felicitas (Hg.) (2020): Mathematische Lehr-Lernprozesse Im Kontext Digitaler Medien. Empirische Zugänge und Theoretische Perspektiven. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden
  GmbH (MINTUS Beiträge Zur Mathematisch-Naturwissenschaftlichen
  Bildung Ser). Online verfügbar unter https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6386065.
- Dörner, Dietrich (1976): Problemlösen als Informationsverarbeitung. 1. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer (Kohlhammer-Standards Psychologie Studientext).
- Dörner, Dietrich (2002): Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen. 15. Aufl. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (rororo rororo-Sachbuch rororo science, 19314).
- Edelmann, Walter; Wittmann, Simone (2012): Lernpsychologie. Mit Online-Materialien. 7., vollständig überarbeitete Aufl. Weinheim: Beltz. Online verfügbar unter http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1133925.
- Eppendorf, Fabian; Marx, Birgitta (2020): Blockprogrammieren im Mathematikunterricht. In: Frederik Dilling und Felicitas Pielsticker (Hg.): Mathematische Lehr-Lernprozesse Im Kontext Digitaler Medien. Empirische Zugänge und Theoretische Perspektiven. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (MINTUS - Beiträge Zur Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Bildung Ser), S. 227–245.

Franke, Marianne; Reinhold, Simone (2016): Didaktik der Geometrie in der Grundschule. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum (Mathematik Primarstufe und Sekundarstufe I + II). Online verfügbar unter http://www.lehmanns.de/midvox/bib/9783662472651.

- Funke, Joachim (2003): Problemlösendes Denken. Unter Mitarbeit von Herbert Heuer, Frank Rösler und Werner H. Tack. 1st ed. Stuttgart: Kohlhammer Verlag.
- Fuß, Susanne; Karbach, Ute (2014): Grundlagen der Transkription. Eine praktische Einführung. Opladen: Budrich (UTB Sozialwissenschaften, 4185). Online verfügbar unter http://www.lehmanns.de/mid-vox/bib/9783825241858.
- García-Valcárcel-Muñoz-Repiso, Ana; Caballero-González, Yen-Air (2019): Robotics to develop computational thinking in early Childhood Education. In: Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación 27 (59), S. 63–72. DOI: 10.3916/C59-2019-06.
- Gigerenzer, Gerd; Zimmer, Alf (2021): Heuristik. In: Dorsch Lexikon der Psychologie. Online verfügbar unter https://dorsch.hogrefe.com/stichwort/heuristik, zuletzt geprüft am 12.11.2022.
- Grassmann, Marianne; Eichler, Klaus-Peter; Mirwald, Elke; Nitsch, Bianca (2020): Mathematikunterricht. 4. unveränderte Auflage. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH (Kompetent im Unterricht der Grundschule / hrsg. von Astrid Kaiser und Susanne Miller, Band 5).
- Greefrath, Gilbert (2010): Modellieren lernen mit offenen realitätsnahen Aufgaben. 3., unveränd. Aufl. Hallbergmoos: Aulis-Verl.
- Grieser, Daniel (2013): Mathematisches Problemlösen und Beweisen. Eine Entdeckungsreise in die Mathematik. Wiesbaden: Springer Spektrum (Studium).
- Hannover, Bettina; Zander, Lysann; Wolter, Ilka (2014): Entwicklung, Sozialisation und Lernen. In: Tina Seidel und Andreas Krapp (Hg.): Pädagogische Psychologie. Mit Online-Materialien. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Weinheim, Basel: Beltz, S. 139–166.
- Harel, David; Feldman, Yishai A. (2010): Algorithmik. Die Kunst des Rechnens. [Nachdr.]. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Heinrich, Frank; Bruder, Regina; Bauer, Christina (2015): Problemlösen lernen. In: Regina Bruder, Lisa Hefendehl-Hebeker, Barbara Schmidt-Thieme und Hans-Georg Weigand (Hg.): Handbuch der Mathematikdidaktik. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 279–301.

Highfield, Kate; Mulligan, Joanne; Hedberg, John (2008): Early mathematics learning through exploration with programmable toys, 2008.

- Hussy, Walter (1998): Denken und Problemlösen. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer (Grundriss der Psychologie, 8).
- Hussy, Walter; Schreier, Margrit; Echterhoff, Gerald (2013): Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Lüddecke, Julia (2015): Fehler beim Problemlösen. 1st ed. Berlin: Diplomica Verlag. Online verfügbar unter https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=4340895.
- Maier, Peter Herbert (1999): Räumliches Vorstellungsvermögen. Ein theoretischer Abriß des Phänomens räumliches Vorstellungsvermögen; mit didaktischen Hinweisen für den Unterricht. Zugl. Kurzfassung von: Freiburg (Breisgau), Pädag. Hochsch., Diss., 1994. 1. Aufl. Donauwörth: Auer.
- Mayring, Philipp (2002): Einführung in die qualitative Sozialforschung. 5. Auflage. Weinheim: Beltz (Beltz Studium). Online verfügbar unter http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1131059.
- Mayring, Philipp (2015): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 12., vollständig überarbeitete und aktualisierte Aufl. Weinheim: Beltz (Beltz Pädagogik). Online verfügbar unter http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1136370.
- Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (2016): Bildungsplan der Grundschule. Mathematik. Online verfügbar unter http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lsbw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW\_ALLG\_GS\_M.pdf, zuletzt aktualisiert am 16.12.2022, zuletzt geprüft am 16.12.2022.
- Ohlendorf, Meike (2017): Zur Phase Rückschau im Problemlöseunterricht. In: Maria Beyerl, Julia Fritz, Meike Ohlendorf, Ana Kuzle und Benjamin Rott (Hg.): Mathematische Problemlösekompetenzen fördern. Tagungsband der Herbsttagung des GDM-Arbeitskreises Problemlösen in Braunschweig 2016. Münster: WTM Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien (Ars inveniendi et dejudicandi, Band 10), S. 135–150.
- Pólya, George (1979): Vom Lösen mathematischer Aufgaben. Einsicht und Entdeckung, Lernen und Lehren. 2. aufl. Basel: Birkhaeuser (Wissenschaft und kultur, 20).
- Pólya, George (2010): Schule des Denkens. Vom Lösen mathematischer Probleme. Sonderausg. der 4. Aufl. Tübingen, Basel: Francke (Sammlung Dalp).

Ramsenthaler, Christina (2013): Was ist "Qualitative Inhaltsanalyse?". In: Martin Schnell, Christian Schulz, Harald Kolbe, Christine Dunger und Martin W. Schnell (Hg.): Der Patient am Lebensende. Eine Qualitative Inhaltsanalyse. 1., neue Ausg. Wiesbaden: Springer VS (Palliative care und Forschung), S. 23–42. Online verfügbar unter https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-531-19660-2 2.

- Rasch, Renate (2001): Zur Arbeit mit problemhaltigen Textaufgaben im Mathematikunterricht der Grundschule. Eine Studie zu Herangehensweisen von Grundschulkindern an anspruchsvolle Textaufgaben und Schlussfolgerungen für eine Unterrichtsgestaltung, die entsprechende Lösungsfähigkeiten fördert. Zugl.: Erfurt, Mühlhausen, Pädag. Hochsch., Habil.-Schr., 2001. Hildesheim: Franzbecker (Texte zur mathematischen Forschung und Lehre, 13).
- Reinmann, Gabi; Mandl, Heinz (2001): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: Andreas Krapp und Bernd Weidenmann (Hg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. 4., vollst. überarb. Aufl. Weinheim: Beltz Psychologie-Verl.-Union (Lehrbuch), S. 613–658.
- Richter, Reinhard; Sander, Peter; Stucky, Wolffried (1993): Problem Algorithmus Programm. Stuttgart: Teubner (Leitfäden der Informatik, 2).
- Rieß, Michael (2018): Problemlösen und Realitätsbezüge im Mathematikunterricht. In: Michael Rieß (Hg.): Zum Einfluss digitaler Werkzeuge auf die Konstruktion mathematischen Wissens. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (Studien zur theoretischen und empirischen Forschung in der Mathematikdidaktik), S. 211–270.
- Rimscha, Markus von (2008): Algorithmen kompakt und verständlich. Lösungsstrategien am Computer. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Programmiersprachen, Datenbanken und Softwareentwicklung).
- Scaradozzi, David; Sorbi, Laura; Pedale, Anna; Valzano, Mariantonietta; Vergine, Cinzia (2015): Teaching Robotics at the Primary School: An Innovative Approach. In: *Procedia Social and Behavioral Sciences* 174, S. 3838–3846.
- Schubert, Sigrid; Schwill, Andreas (2011): Didaktik der Informatik. 2. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Schuler, Stephanie; Dreher, Ulrike: Begleitheft. Die Käfer sind los Alles rund um das Programmieren von Robotern -. Universität Koblenz-Landau. Online verfügbar unter https://pridima.de/media/die-kaefer-sind-los/download/Begleitheft\_Lehrkraefte\_DiLeSaM\_Bluebot.pdf, zuletzt geprüft am 06.11.2022.

Schwarz, Wolfgang (2018): Problemlösen in der Mathematik. Ein heuristischer Werkzeugkasten. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum (Lehrbuch). Online verfügbar unter http://www.springer.com/.

- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005): Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Primarbereich (Jahrgangsstufe 4). Beschluss vom 15.10.2004. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\_beschluesse/2004/2004\_10\_15-Bildungsstandards-Mathe-Primar.pdf, zuletzt aktualisiert am 15.12.2022, zuletzt geprüft am 15.12.2022.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2017): Strategie der Kultusministerkonferenz "Bildung in der digitalen Welt". Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 08.12.2016 in der Fassung vom 07.12.2017. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\_beschluesse/2016/2016\_12\_08-Bildung-in-der-digitalen-Welt.pdf, zuletzt aktualisiert am 10.12.2022, zuletzt geprüft am 10.12.2022.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2022a): Bildungsstandards für das Fach Mathematik Primarbereich. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 15.10.2004, i.d.F. vom 23.06.2022). Online verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\_beschluesse/2022/2022\_06\_23-Bista-Primarbereich-Mathe.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2022.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2022b): Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz. Online verfügbar unter https://www.kmk.org/themen/qualitaetssicherung-in-schulen/bildungsstandards.html#c5036, zuletzt aktualisiert am 15.12.2022, zuletzt geprüft am 15.12.2022.
- Sell, Robert; Schimweg, Ralf (2002): Probleme lösen. In komplexen Zusammenhängen denken; mit 19 Tabellen. 6., korrigierte Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer (Engineering online library).
- Siegert, Hans-Jürgen; Bocionek, Siegfried (1996): Robotik: Programmierung intelligenter Roboter. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer eBook Collection Computer Science and Engineering).
- Sill, Hans-Dieter (2019): Grundkurs Mathematikdidaktik. Paderborn: Ferdinand Schöningh (UTB Fachdidaktik, Schulpädagogik, Mathematik, 5008).
- Stenz, Christina-Anna (2015): Eine kleine Biene führt Volksschüler an das Programmieren heran. In: *TIPS*, 2015. Online verfügbar unter

https://www.phdl.at/fileadmin/user\_upload/5\_Ueber\_uns/2\_Institute/Medienbildung/Projekte/BeeBots-Artikel-Tips.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2022.

- Stiftung "Haus der kleinen Forscher" (Hg.) (2018): Frühe informatische Bildung Ziele und Gelingensbedingungen für den Elementar- und Primarbereich. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung "Haus der kleinen Forscher". Opladen: Verlag Barbara Budrich (Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung "Haus der kleinen Forscher, Band 9). Online verfügbar unter https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=3065038.
- Stiller, Daniela; Krichel, Katharina; Schwarz, Wolfgang (2021): Heuristik im Mathematikunterricht. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- The Lego Group (2017): LEGO Education WeDo 2.0 Informatisches Denken. Lehrerhandreichung. Online verfügbar unter https://education.lego.com/v3/as-sets/blt293eea581807678a/blt5118baff7048416d/5f8804242c58c80ec02e1e44/computationalthinkingteacherguide-de-de-v1.pdf, zuletzt geprüft am 04.11.2022.
- Tropper, Natalie (2019): Strategisches Modellieren durch heuristische Lösungsbeispiele. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- TTS Group (2017): Blue-Bot. Entwickelt fürs iPad. Online verfügbar unter https://apps.apple.com/de/app/blue-bot/id957753068, zuletzt aktualisiert am 01.01.2023, zuletzt geprüft am 01.01.2023.
- TTS Group (2021): Blue's Blocs. Entwickelt fürs iPad. Online verfügbar unter https://apps.apple.com/de/app/blues-blocs/id1558423639, zuletzt aktualisiert am 01.01.2023, zuletzt geprüft am 01.01.2023.
- Wassermann, Anna Sophia (2022): Ein Roboter-Käfer als Lernbegleiter Einsatzmöglichkeiten für den Roboter "Blue-Bot" im Mathematikunterricht. Online verfügbar unter https://www.friedrich-verlag.de/grundschule/grundschulmagazin/ein-roboter-kaefer-als-lernbegleiter-9445, zuletzt aktualisiert am 06.11.2022, zuletzt geprüft am 06.11.2022.
- Wegener, Ingo (2003): Komplexitätstheorie. Grenzen der Effizienz von Algorithmen. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
- Wessells, Michael G. (1994): Kognitive Psychologie. 3., verb. Aufl. München, Basel: Reinhardt (UTB für Wissenschaft Große Reihe).
- Winter, Heinrich (1992): Aufgaben, Probleme, Kontexte zur grundsätzlichen Problematik des Sachrechnens in der Grundschule. In: *Sachunterricht und Mathematik in der Primarstufe* 20, S. 350–369.

Winter, Heinrich (2002): Problemhaltige Sachaufgaben. In: Reinhold Christiani (Hg.): Auch die leistungsstarken Kinder fördern. Grundlegung und Ideensammlung; kreatives Lesen, Schreiben, Rechnen; Erkunden, Entdecken, Forschen. [5. Dr.]. Frankfurt (Main): Cornelsen Scriptor (Lehrer-Bücherei Grundschule), S. 106–130.

- Woolfolk, Anita (2008): Pädagogische Psychologie. 10. Aufl., [Nachdr.], [1., dt. Ausg., Übers. der 10. Aufl. der amerikan. Orig.-Ausg.]. München: Pearson Studium (Pearson Studium Psychologie).
- Yanik, H. Bahadir; Kurz, Terri L.; Memis, Yasin (2018): Learning from Programming Robots. In: Hüseyin Özçınar, Gary Wong und Tugba Ozturk (Hg.): Teaching computational thinking in primary education. Hershey: IGI Global (Advances in early childhood and K-12 education (AECKE) book series), S. 230–255.
- Zech, Friedrich (1996): Grundkurs Mathematikdidaktik. Theoretische und praktische Anleitungen für das Lehren und Lernen von Mathematik. 8., völlig neu bearb. Aufl. Weinheim: Beltz (Beltz grüne Reihe).
- Ziegenbalg, Jochen (2015): Algorithmik. In: Regina Bruder, Lisa Hefendehl-Hebeker, Barbara Schmidt-Thieme und Hans-Georg Weigand (Hg.): Handbuch der Mathematikdidaktik. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 303–329.
- Zöttl, Luzia (2010): Modellierungskompetenz fördern mit heuristischen Lösungsbeispielen. Zugl.: München, Univ., Diss., 2009. Hildesheim, Berlin: Franzbecker (Texte zur mathematischen Forschung und Lehre, 71).

### Abbildungsverzeichnis

| Abbildung 1: Struktur von Problemen und Aufgaben   |      |
|--|------|
| Quelle: In Anlehnung an Sell und Schimweg 2002, S. 1   | 6    |
| Abbildung 2: Klassifikation von Barrieretypen  Quelle: Dörner 1976, S. 14  | 8    |
| Abbildung 3: Turm von Hanoi  Quelle: Eigene Darstellung  | . 11 |
| Abbildung 4: Stationen der Handlungsorganisation  Quelle: In Anlehnung an Dörner 2002, S. 67   | . 13 |
| Abbildung 5: Phasen des Problemlöseprozesses  Quelle: In Anlehnung an Pólya (2010), S. 19 ff   | . 14 |
| Abbildung 6: Rechenmauer mit Basissteinen  Quelle: Eigene Darstellung  | . 21 |
| Abbildung 7: Rechenmauer mit Zielstein  Quelle: Eigene Darstellung   | . 21 |
| Abbildung 8: Darstellung des Prozesses bei der Zubereitung einer Speise Quelle: In Anlehnung an Harel und Feldman 2010, S. 5           | . 25 |
| Abbildung 9: Übersicht der allgemeinen Kompetenzen des Mathematikunterrichts   |      |
| Quelle: In Anlehnung an Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland 2005, S. 7 | . 30 |
| Abbildung 10: Modellierungskreislauf nach Blum und Leiss (2005)  Quelle: In Anlehnung an Tropper 2019, S. 32                           | . 35 |
| Abbildung 11: Unterlage von Termin 1   | . 46 |
| Abbildung 12: Unterlage von Termin 3   | . 48 |
| Abbildung 13: Unterlage von Termin 4   | . 49 |
| Abbildung 14: Unterlage von Termin 5   | . 50 |
| Abbildung 15: Geplante Unterlage für Termin 6  | . 51 |
| Abbildung 16: Geänderte Unterlage für Termin 6   | . 51 |

| Abbildung 17: Codeline von Video 1                                  | 60 |
|---|----|
| Abbildung 18: Codeline von Video 2                                  | 62 |
| Abbildung 19: Codeline von Video 3                                  | 63 |
| Abbildung 20: Codeline von Video 4                                  | 64 |
| Abbildung 21: Codeline von Video 5                                  | 65 |
| Abbildung 22: Codeline von Video 6                                  | 66 |
| Abbildung 23: Codeline von Video 7                                  | 67 |
| Abbildung 24: Codeline von Video 8                                  | 67 |
| Abbildung 25: Codeline von Video 9                                  | 68 |
| Abbildung 26: Codeline von Video 10                                 | 69 |
| Abbildung 27: Codeline von Video 11                                 | 69 |
| Abbildung 28: Codeline von Video 12                                 | 70 |
| Abbildung 29: Codeline von Video 13                                 | 71 |
| Abbildung 30: Codeline von Video 14                                 | 71 |
| Abbildung 31: Codeline von Video 15                                 | 72 |
| Tabellenverzeichnis   |    |
| Tabelle 1: Tabelle als Hilfsmittel bei der Lösung der Beine-Aufgabe |    |
| Quelle: Figene Darstellung  | 18 |

#### Eidesstaatliche Erklärung

#### Erklärung

| Name, Vorname:  | Selzer, Mona                         |
|-----------------|--------------------------------------|
| Matrikelnummer: | 6132593                              |
| Studiengang:    | Master Lehramt Grundschule           |
|                 |                                      |
| Semester:       | 3                                    |
| 1. Prüfer/in:   | Prof. Dr. Silke Ladel                |
| 2. Prüfer/in:   | Juniorprofessorin Dr. Luzia Leifheit |
| -               |                                      |

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel

Eine Untersuchung zur Entwicklung der Problemlösekompetenz im Mathematikunterricht – eine Lernumgebung mit dem Blue-Bot

selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe verfasst habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Textstellen als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen. Ebenfalls erkläre ich, dass ich noch keine Bachelor- oder Masterthesis in der gleichen oder einer vergleichbaren Studienrichtung endgültig nicht bestanden habe oder mich in einem laufenden Prüfungsverfahren befinde.

Die Versicherung gilt auch für beigefügte Zeichnungen, Skizzen oder graphische Darstellungen.

Dem ausgedruckten Text habe ich einen Datenträger mit der digitalisierten Version der Arbeit beigefügt.

Durch meine Unterschrift bestätige ich, dass die Datenschutzverordnung (EU-DSGVO) vom 27.04.2016 – insbesondere bei personenbezogenen Daten – in der vorliegenden Arbeit eingehalten wurde.

Schwäbisch Gmünd, den 14.01.2023

Ort, Datum

Unterschrift

Anhang XIV

### Anhang

| Α | Arbeitsblätter der Lernumgebung       | (Seite XV)     |
|---|---------------------------------------|----------------|
| В | Zugehöriges Material der Lernumgebung | (Seite XXV)    |
| С | Liste der Kategorien                  | (Seite XXXIII) |
| D | Kategoriensystem                      | (Seite XXXIV)  |

#### Zusätzlicher Anhang auf der beiliegenden CD:

- PDF-Dokument mit den Transkriptionen von 15 Videos
- PDF-Dokument mit den Ergebnissen des Kategoriensystems

Anhang XV

#### A Arbeitsblätter der Lernumgebung

#### Blue-Bot und seine Tasten

Hallo Kinder, ich bin Blue-Bot und ich brauche eure Hilfe. Damit ihr wisst wie ihr mir helfen könnt, ist es wichtig dass ihr meine Tasten und ihre Bedeutung kennt.

Probiert die Tasten aus und besprecht was ihre Bedeutung ist. Schreibt eure Lösung auf.





Wenn ich die Taste drücke,



Wenn ich die Taste drücke,



Wenn ich die Taste drücke,



Wenn ich die Taste drücke,



Wenn ich die Taste drücke.



Wenn ich die Taste drücke,

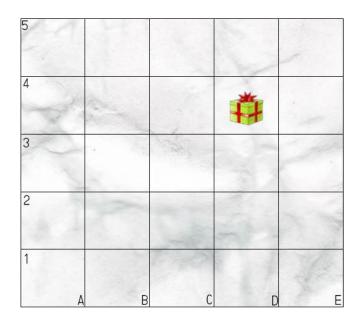


Wenn ich die Taste drücke,

Anhang XVI

# Blue-Bot auf der Suche nach Geschenken 🎁 🦥





- Blue-Bot hat ein Geschenk verloren. Als er an Punkt (1, A) ist, fällt es ihm erst auf. Helft ihm das Geschenk einzusammeln und gebt ihm genaue Anweisungen.
  - a) Legt die Anweisungen zuerst mit den Aktionskarten. Überprüft eure Anweisungen, indem ihr Blue-Bot programmiert. Stimmt euer Ergebnis?

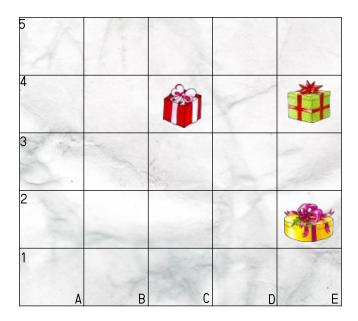
Zeichnet eure Anweisung mithilfe von Pfeilen hier auf:

| b) Gibt es eventuell einen kürzeren Weg? Wenn ja, welchen? | } |
|--|---|
|  |   |

Anhang XVII

# Blue-Bot auf der Suche nach Geschenken





Der Wind hat ein Geschenk vom Schlitten des Weihnachtsmann geweht. Blue-Bot weiß nicht, wie es aussah. Könnt ihr ihm gemeinsam helfen, es zu finden? Blue-Bot startet an dem Punkt (1, A) und schaut nach oben. Das ist Blue-Bots Weg:

| Û |  | Û | Û | <b>S</b> |  |  |  |  |
|---|--|---|---|----------|--|--|--|--|
|---|--|---|---|----------|--|--|--|--|

| Der Wind hat das | <br>weggeweht. |
|------------------|----------------|
|                  |                |

Überprüft euer Ergebnis indem ihr den Blue-Bot programmiert.

2 Hätte Blue-Bot auch einen kürzeren Weg wählen können, um zu dem Geschenk zu kommen? Legt den Weg zuerst mit den Aktionskarten und programmiert dann Blue-Bot. Zeichnet eure Lösung mithilfe von Pfeilen auf.

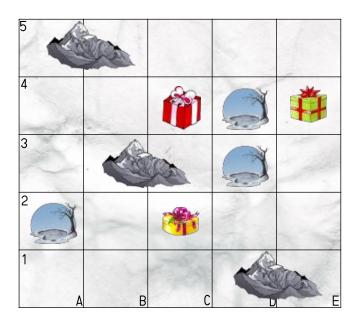
Aber Achtung: Er darf nicht über die anderen Geschenke fahren!

Diesen Weg hätte Blue-Bot auch nehmen können:

Anhang XVIII

### Blue-Bot auf der Suche nach Geschenken





Der Wind hat ein Geschenk vom Schlitten des Weihnachtsmann geweht. Blue-Bot weiß nicht, wie es aussah. Könnt ihr ihm helfen, es zu finden? Doch Blue-Bot muss aufpassen, denn Berge und zugefrorene Seen versperren ihm den Weg. Über Felder mit den Symbolen kann er nicht fahren:

Blue-Bot startet an dem Punkt (1, A) und schaut nach oben. Das war Blue-Bots Weg ohne Hindernisse:



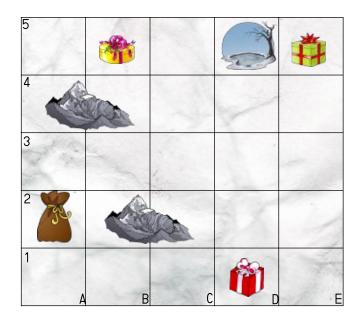
Wie sieht sein Weg mit Hindernissen aus? Legt den Weg zuerst mit den Aktionskarten und programmiert dann Blue-Bot. Zeichnet eure Lösung mithilfe von Pfeilen auf.

Hinweis: Diesmal darf er über die anderen Geschenke fahren.

Anhang XIX

### Blue-Bot und die verlorenen Geschenke





Der Wind hat doch ein paar Geschenke mehr vom Schlitten des Weihnachtsmann geweht. Damit das nicht noch einmal passiert, soll Blue-Bot alle Geschenke sammeln und in dem Geschenkesack verstauen.

Blue-Bot startet an dem Punkt (2, A) und schaut nach rechts.

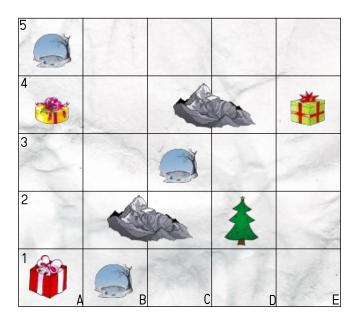
Hinweis: Blue-Bot kann alle Geschenke auf einmal tragen, aber Berge und zugefrorene Seen versperren ihm den Weg.



Legt den Weg zuerst mit den Aktionskarten und programmiert dann Blue-Bot mit Hilfe der Programmierleiste. Zeichnet eure Lösung mithilfe von Pfeilen auf. Anhang XX

### Blue-Bot und die verlorenen Geschenke





Blue-Bot hat ein paar Geschenke auf dem Weg zum Weihnachtsbaum verloren. Das fällt ihm erst an Punkt (2, E) auf. Helft Blue-Bot alle Geschenke einzusammeln und unter den Weihnachtsbaum zu legen.

Aber Achtung: Er darf nur **ein** Geschenk tragen und passt auf die Hindernisse auf!

- Schritt 1: Überlegt gemeinsam welchen Weg Blue-Bot laufen könnte.
- Schritt 2: Programmiert Blue-Bot mit der Programmierleiste.
- Schritt 3: Zeichnet den Weg von Blue-Bot mithilfe von Pfeilen auf der nächsten Seite auf.
- 2 Auf dem Weg vom zweiten Geschenk zum Weihnachtsbaum hat sich Blue-Bot verletzt und kann sich nicht mehr nach links drehen.



Wie kann er nun vom Weihnachtsbaum zum dritten Geschenk und wieder zurück kommen? Zeichnet eure Lösung mithilfe von Pfeilen auf.

XXI Anhang

# Blue-Bot und die verlorenen Geschenke 🎁 🦥

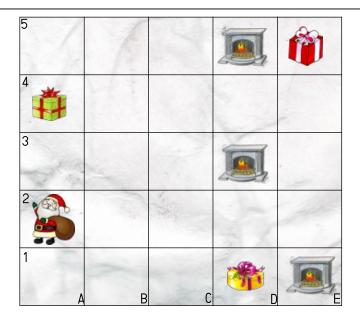


| 1 | Blue-Bots Weg zum ersten Geschenk:  |
|---|-------------------------------------|
|   |                                     |
|   | Blue-Bots Weg zum Weihnachtsbaum:   |
|   | Blue-Bots Weg zum zweiten Geschenk: |
|   |                                     |
|   | Blue-Bots Weg zum Weihnachtsbaum:   |
|   | Blue-Bots Weg zum dritten Geschenk: |
|   | Blue-Bots Weg zum Weihnachtsbaum:   |
|   |                                     |
| 2 | Blue-Bots Weg zum dritten Geschenk: |
|   | Blue-Bots Weg zum Weihnachtsbaum:   |
|   |                                     |

Anhang XXII

#### Blue-Bot und die Mission





Der Weihnachtsmann erfährt von drei wichtigen Geschenken, die durch den Wind weit verteilt wurden. Er schickt Blue-Bot auf die Mission diese zu finden. Jedoch ist es so kalt draußen, dass er sich nach 5 Befehlen an einem Kamin aufwärmen muss. Nachdem er sich aufgewärmt hat, kann er wieder 5 Befehle ausführen.

Blue-Bot startet beim Weihnachtsmann und schaut nach rechts.

Könnt ihr ihm helfen die Mission zu meistern? Überlegt euch gemeinsam welchen Weg Blue-Bot gehen kann und programmiert dann Blue-Bot mit der Programmierleiste.

Hinweis: Blue-Bot kann alle Geschenke auf einmal tragen. Befehle die auf dem Kamin ausgeführt werden, zählen nicht zu den 5 Befehlen dazu.

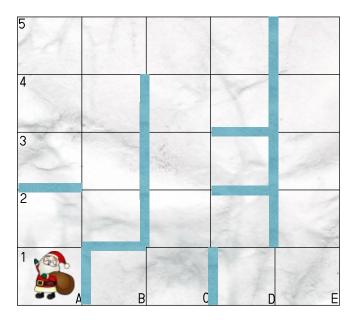
2 Leider hat sich Blue-Bot auf dem Weg zu den Geschenken verletzt und kann nicht mehr vorwärts laufen.

Wie kann er nun die Geschenke einsammeln? Überlegt gemeinsam und programmiert dann Blue-Bot mit der Programmierleiste. Blue-Bot startet beim Weihnachtsmann und schaut nach links. Anhang XXIII

Geplantes Arbeitsblatt von Termin 6:

### Blue-Bot auf dem Weg zum Weihnachtsmann





Auf der Mission hat sich Blue-Bot verirrt. Als es ihm auffällt, steht er an dem Punkt (5, E) und schaut nach unten.
Könnt ihr ihm helfen die Geschenke wieder zurück zum Weihnachtsmann zu bringen?

Überlegt euch gemeinsam welchen Weg Blue-Bot gehen kann und programmiert dann Blue-Bot mit dem Programmierleiste.

Auf dem Weg zum Weihnachtsmann hat sich Blue-Bot verletzt und kann nicht mehr vorwärts laufen.

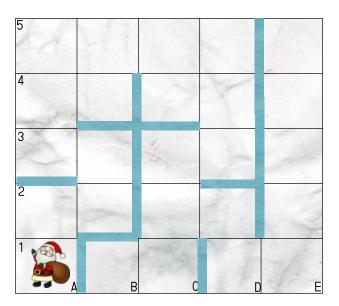


Wie kann er nun zum Weihnachtsmann kommen? Überlegt euch gemeinsam welchen Weg Blue-Bot gehen kann und programmiert dann Blue-Bot mit dem Programmierleiste. Anhang XXIV

#### Geändertes Arbeitsblatt von Termin 6:

# Blue-Bot auf dem Weg zum Weihnachtsmann





Auf der Mission hat sich Blue-Bot verirrt. Als es ihm auffällt, steht er an dem Punkt (5, E) und schaut nach unten.
Könnt ihr ihm helfen wieder zurück zum Weihnachtsmann zu finden?

Überlegt euch gemeinsam welchen Weg Blue-Bot gehen kann und programmiert dann Blue-Bot.

Auf dem Weg zum Weihnachtsmann hat sich Blue-Bot verletzt und kann sich weder nach links drehen noch vorwärts laufen.

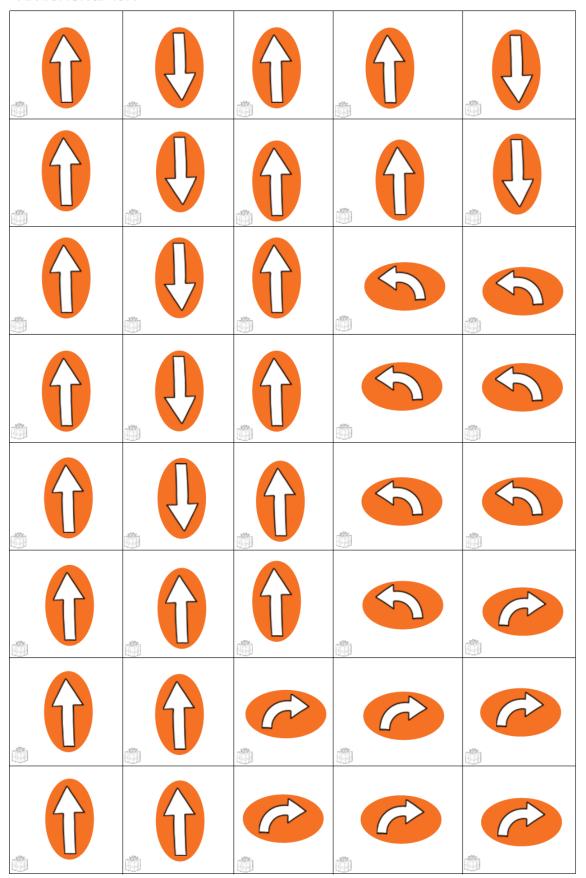


Blue steht an dem Punkt (5, E) und schaut nach oben.

Wie kann er nun zum Weihnachtsmann kommen? Überlegt euch gemeinsam welchen Weg Blue-Bot gehen kann und programmiert dann Blue-Bot. Anhang XXV

### B Zugehöriges Material der Lernumgebung

## Aktionskarten

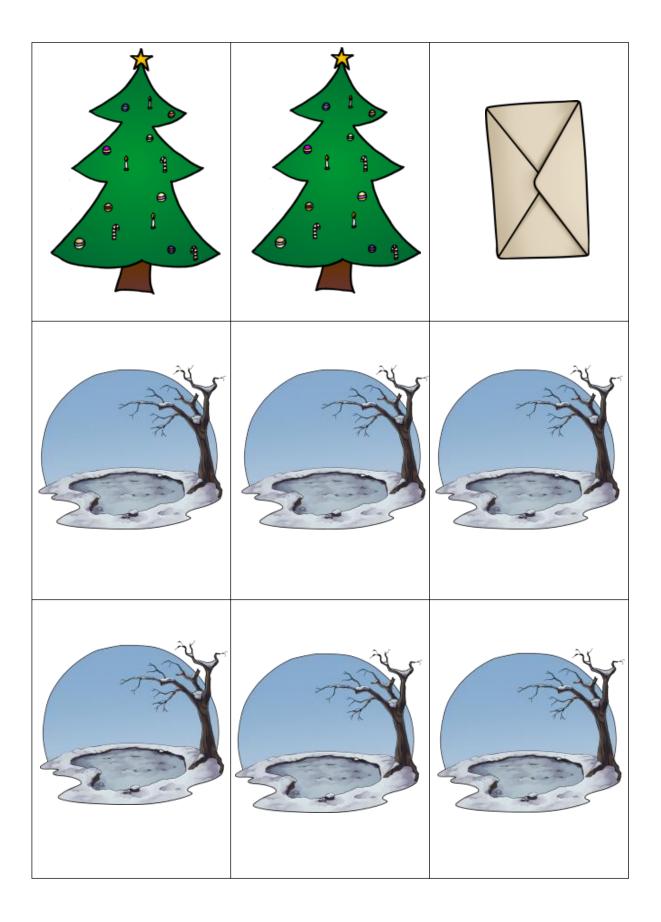


Anhang XXVI

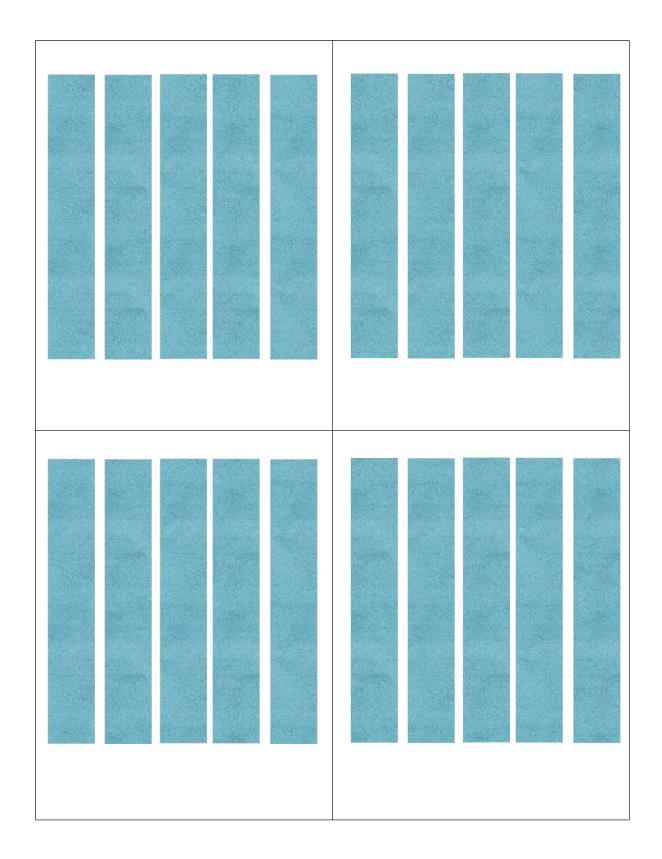
### Hindernis- und Sammelkarten



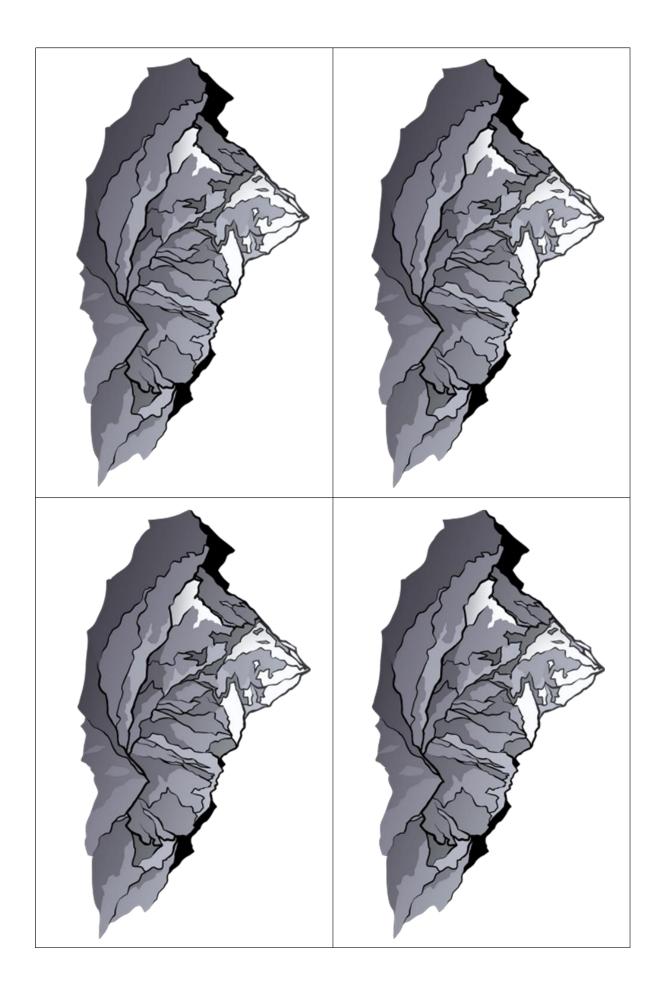
Anhang XXVII



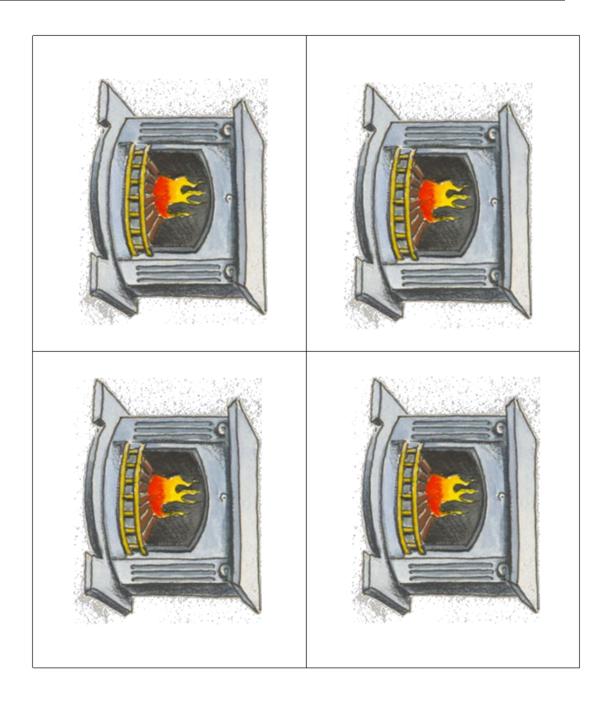
Anhang XXVIII



Anhang XXIX



Anhang XXX



Anhang XXXI

# Unterlage

| The second second |   |        |        |
|-------------------|---|--------|--------|
|                   | - |        |        |
|                   |   |        | 1 3000 |
| 1/                |   |        |        |
|                   |   |        |        |
|                   |   |        |        |
| La Part           |   |        |        |
|                   |   |        |        |
|                   |   |        | 24     |
| 30                |   |        |        |
|                   |   |        |        |
|                   |   |        |        |
|                   |   | 17 48- |        |
|                   |   | 965 1  |        |
|                   |   |        |        |
|                   |   |        |        |
| 7 - 303           |   |        |        |
|                   |   |        | 1      |
| R                 | 0 | n      | E      |
|                   | В | B      | B C D  |

| XXXII |
|-------|
| ten   |
|       |
|       |
|       |
|       |
|       |
|       |
|       |
|       |
|       |
|       |
|       |
|       |
|       |
|       |
|       |
| ø.    |
|       |



Anhang XXXIII

### C Liste der Kategorien

| Hauptkategorie              | Subkategorie(n)   |  |
|-----------------------------|---|--|
| Verstehen der Aufgabe       | Was ist gegeben? Wie lautet die Bedingung?  |  |
|                             | whe lauter die Bedingding!  |  |
| Ausdenken eines Pla-<br>nes | Wie können wir vorgehen? (Entwickeln einer Befehlsfolge)                                  |  |
| 1163                        | Zerlegen der Aufgabe in Teilprobleme  |  |
|                             | Enaktive Bewegungen mit Blue-Bot als Unterstützung bei der Entwicklung einer Befehlsfolge |  |
| Ausführen des Planes        | Programmieren von Blue-Bot (Ausführen der Befehlsfolge)                                   |  |
|                             | Überprüfung der Programmierung (Fehler finden und beheben)                                |  |
|                             | Ausführung der vorgegebenen Befehlsfolge  |  |
| Rückschau                   | Rückschau (Was hat geholfen die Aufgabe zu lösen?)  |  |

Anhang XXXIV

### D Kategoriensystem

### Hauptkategorien 1: Verstehen der Aufgabe

| Subkategorien                | Definition   | Ankerbeispiel  | Kodierregel   |
|------------------------------|--|--|---|
| Was ist gegeben?             | Um eine Aufgabe zu<br>verstehen, ist es von<br>besonderer Relevanz<br>die gegebenen Aspekte<br>der Aufgabenstellung<br>herauszufiltern.  | ""Der Weihnachts- mann erfährt von drei wichtigen Geschen- ken, die durch den Wind ganz verteilt wurden und er schickt Blue-Bot auf die Mis- sion diese zu finden. [] Blue-Bot startet beim Weihnachts- mann und schaut nach rechts." (Video 11: Absatz 1)   | Diese Subkategorie beinhaltet Aussagen und Begriffe, wie: - Blue-Bot startet bei Hindernisse  |
| Wie lautet die<br>Bedingung? | Für die Bearbeitung der Aufgaben im Rahmen der Lernumgebung und der damit verbundenen Transformation von dem IST-Zustand in den SOLL-Zustand, ist es wichtig die Bedingungen des SOLL-Zustands zu kennen und zu verstehen. | "ihr müsst jetzt erst- mal herausfinden welches Geschenk, denn überhaupt vom Weihnachtsmann- schlitten runterge- weht wurde und des- halb ist es wichtig, dass ihr den Weg versucht nachzuvoll- ziehen den Blue-Bot hier gefahren ist." (Video 6: Absatz 52) | Hier sind relevante Begriffe, unter anderem: - Aufgabe - ihr überlegt euch jetzt gemeinsam einen Weg - Blue-Bot darf sich nicht mehr nach |

Anhang XXXV

#### Hauptkategorie 2: Ausdenken eines Planes

→ Hinweis: Die beiden Subkategorien *Wie können wir vorgehen?* und *Zerlegen der Aufgabe in Teilprobleme* können sich überschneiden.

| Kategorie  | Definition  | Ankerbeispiel   | Kodierregel  |
|--|---|---|--|
| Wie können wir<br>vorgehen?<br>(Entwickeln ei-<br>ner Befehls-<br>folge) | Um die Aufgaben zu lösen, denken sich die Kinder einen Plan aus. Ein solcher Plan besteht im Rahmen dieser Lernumgebung aus einer Befehlsfolge, die von den Kindern zur Lösung der Problemaufgabe entwickelt wird.  | "K1: Wir könnten rück- wärtsfahren. (K3: Stimmt) (dreht sich mit eigenem Körper so, wie sich Blue- Bot drehen würde) Dann nach links drehen um 90°. Dann nach vorne zwei Schritte (K2 legt die passenden Karten in die Programmierleiste). (dreht sich mit eigenem Körper so, wie sich Blue-Bot drehen würde) Dann nach rechts drehen um 90°. K3: Ja, dann würde ich zwei nach vorne und eins nach links. K1: Eins nach rechts, dann zwei nach vorne (K2 legt Karten). Zwei nach vorne. Dann steht er ge- rade aus. Dann nach links drehen um 90° (dreht sich mit eigenem Körper so, wie sich Blue-Bot drehen würde) und nochmal vorne." (Video 5: Absatz 91 ff.) | Wichtige Begriffe und Aussagen sind in dieser Kategorie nachstehende: - nach vorne - nach hinten - rechts drehen - links drehen - dann würde ich   |
| Zerlegen der<br>Aufgabe in Teil-<br>probleme                             | Bei der Bearbeitung der Lernumgebung mit Blue-Bot steht das Zerlegen in Teilprobleme im Fokus. Da die Zerlegung der Problemaufgabe bereits im Zusammenhang mit der Entwicklung einer Befehlsfolge stattfindet, wird diese Subkategorie der Hauptkategorie Ausdenken | "K5: Jetzt muss er wieder zwei nach hinten. (K7 zeichnet den Weg auf das Arbeitsblatt) I: So und nun? K5: Zwei nach hinten, sich um 90° nach (versucht mit eigenem Körper Drehung von Blue-Bot nachzuvollziehen) links drehen und nach vorne fahren." (Video 9 Abs. 14 ff.)   | Hier kommt es<br>auf den Kontext<br>an, da ein Zerle-<br>gen der Aufgabe<br>nur vorgenom-<br>men wurde,<br>wenn die Auf-<br>gabe nicht in ei-<br>nem Schritt voll-<br>ständig gelöst<br>wurde. |

Anhang XXXVI

|   | eines Planes zuge-<br>ordnet.   |  |   |
|---|---|--|---|
| Enaktive Bewegungen mit Blue-Bot als Unterstützung bei der Entwicklung einer Befehlsfolge | Zur Unterstützung<br>bei der Entwicklung<br>der Befehlsfolge neh-<br>men die Kinder Blue-<br>Bot zur Veranschauli-<br>chung der Befehle<br>zur Hilfe. | "(K3 setzt währenddessen<br>Blue-Bot manuell entspre-<br>chend der Befehle auf der<br>Programmierleiste)."<br>(Video 13: Absatz 134) | Hier sind relevante Aussagen und Begriffe, unter anderem: - manuell - dreht Blue-Bot - Setzt Blue-Bot |

### Hauptkategorie 3: Ausführen des Planes

| Subkategorie   | Definition   | Ankerbeispiel   | Kodierregel  |
|--|--|---|--|
| Programmie-<br>ren von Blue-<br>Bot (Ausführen<br>der Befehls-<br>folge)   | Unter der Subkategorie fällt die Ausführung der entwickelten Befehlsfolge. Zu Beginn ist das die Programmierung des Roboterkinds. Des Weiteren werden die haptisch eingegebenen Befehlsfolgen und das Ausführen der Befehlsfolge von Blue-Bot der Subkategorie zugeordnet. | "(Blue-Bot fährt den programmierten Weg)" (Video 13: Absatz 52)   | Sätze, die dieser<br>Subkategorie zuge-<br>wiesen werden, be-<br>inhalten folgende<br>Begriffe:<br>- programmiert<br>Blue-Bot<br>- Blue-Bot fährt den<br>programmierten<br>Weg  (Ausgenommen<br>Termin 1 und den<br>damit verbundenen<br>Videos 1 und 2) |
| Überprüfung<br>der Program-<br>mierung (Feh-<br>ler finden und<br>beheben) | Bei der Ausführung<br>des Plans ist es<br>wichtig, dass jeder<br>Schritt kontrolliert<br>wird. Falls dabei<br>Fehler erkannt wer-<br>den, gilt es diese<br>zu beheben.   | "K3: Stopp.  K2: Hab gewusst, dass irgendwas falsch ist (entfernt die Karten aus der Programmierleiste).  K1: Nicht nach hinten, sondern nach vorne." (Video 8: Absatz 197 ff.) | Hier sind relevante<br>Begriffe, folgende:<br>"Fehler", "falsch",<br>"korrigiert", "tauscht<br>aus"  |

Anhang XXXVII

Ausführung der vorgegebenen Befehlsfolge Bei Termin 2 (und bei Gruppe 2 noch bei Termin 3) sind die Wege von Blue-Bot gegeben. Die Kinder bekommen die Aufgabe herauszufinden, welches Geschenk vom Schlitten des Weihnachtsmannes geweht wurde. Hierfür haben sie eine Wegbeschreibung in Form einer Befehlsfolge gegeben.

"K1: Also wir setzen ihn eins nach vorne.

K3: Dreht sich (bewegen Blue-Bot manuell entsprechend der Bewegung).

K2: Dann fährt er nach da. (K3: Dann zwei nach vorne)

K3: Dann dreht er sich wieder dahin.

Alle: Dann fährt er eins nach vorne. Dann dreht er sich wieder rum. (K1: nach 90°)

K2: Dann fährt er wieder nach vorne.

K1 und K3: Dreht sich wieder. Dreht sich nochmal.

K3: Fährt rückwärts. (K2: Nein) Doch. Rückwärts

K1: Ja, rückwärts. # K2: Achso, ja. Fährt rückwärts, dann dreht er sich. Nein. Andersrum (K1 stellt Blue-Bot so hin, wie Blue-Bot fahren würde)

K3: Und dann fährt er nach vorne (K1: Ja)" (Video 3: Absatz 39 ff.) Die Subkategorie kommt in den Videos 3, 4, 6 vor und beinhaltet oft folgende Äußerungen: - Dann fährt er ... <u>Anhang</u> XXXVIII

### Hauptkategorie 4: Rückschau

| Kategorie  | Definition  | Ankerbeispiel   | Kodierregel |
|--|---|---|-------------|
| Rückschau<br>(Was hat ge-<br>holfen die Auf-<br>gabe zu lö-<br>sen?) | Im Rahmen der Rückschau reflektieren die Kinder ihren Bearbeitungsprozess und überlegen, was ihnen geholfen hat die Aufgabe zu lösen und obsie die Lösung oder die Methode für eine ähnliche Aufgabe gebrauchen können. | "I: Das letztes Mal hattet ihr ja auch eine ähnliche Aufgabe, dass er sich ja auch nicht in eine Richtung drehen konnte. Hattet ihr das Gefühl, dass hat euch jetzt ein bisschen geholfen?  K1 und K3: Ja.  I: Okay, sehr gut. Und was ist denn jetzt, wenn ihr merkt- Also, bringt euch das was für andere Aufgaben.  Wenn ihr also, wenn ihr jetzt vielleicht irgendwie eine ähnliche Aufgabe bekommt.  K3: Ja, würde, weil wir dann damit schon Erfahrungen haben."  (Video 8: Absatz 232 ff.) |             |