
Problemlösen – (k)ein Problem?

Personalisierter Unterricht als Lerngelegenheit zum Aufbau von Problemlösekompetenzen

Mirjam Christina Schmid

Hägglingen (AG) und Zofingen (AG)

Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde an der Philosophischen
Fakultät der Universität Freiburg in der Schweiz

Genehmigt von der Philosophischen Fakultät auf Antrag
der Frau Prof. Dr. Christine Pauli (1. Gutachterin) und
des Herrn Prof. Dr. Kurt Reusser (2. Gutachter)

Freiburg, den 10. Dezember 2019

Prof. Dr. Bernadette Charlier Pasquier, Dekanin

Zusammenfassung

Bedeutsame gesellschaftliche und bildungspolitische Veränderungen haben Anstoss zur Entwicklung innovativer Schul- und Unterrichtskonzepte gegeben. Eine daraus resultierende Leitidee ist das personalisierte Lernen. Ein Schwerpunkt von Schulen, welche sich an personalisierten Lernkonzepten orientieren, ist die Förderung fachlicher und überfachlicher Kompetenzen, wobei eine zentrale Kompetenz das Problemlösen ist. Bezüglich der Fähigkeit zum Problemlösen zeigt sich das personalisierte Lernen sowohl aus theoretischer als auch aus praktischer Sicht vielversprechend, was jedoch bislang kaum empirisch untersucht wurde.

Die vorliegende Forschungsarbeit setzt hier an und geht erstens der Frage nach, wie erfolgreich Lernende aus Schulen mit personalisierten Lernkonzepten gegen Ende der obligatorischen Schulzeit allein und in der Gruppe ein konkretes Problem im Mathematikunterricht lösen. Neben dem Problemlöseprodukt wird auch der Problemlöseprozess der Lernenden unter anderem hinsichtlich Vollständigkeit und Linearität analysiert. Zweitens interessiert die Frage, welche Rolle soziodemografische und individuelle Merkmale der Schülerinnen und Schüler sowie die von ihnen wahrgenommene Personalisierung der Oberflächen- und der Tiefenstruktur des Unterrichts beim Lösen des Problems spielen.

Zur Klärung dieser Fragen wurde auf Daten von 250 Neuntklässlerinnen und Neuntklässlern aus elf Schulen mit unterschiedlicher Umsetzung des personalisierten Lernens zurückgegriffen, die allein die ursprünglich aus TIMSS 1995 stammende Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ gelöst hatten. Zusätzlich hatten die Schülerinnen und Schüler ein Reflexionsinstrument mit offenen und geschlossenen Fragen zu ihren Vorgehensweisen beim Bearbeiten der Verpackungsaufgabe sowie allgemein zu ihrem Vorgehen bei Problemlöseaufgaben ausgefüllt. Anschliessend hatten die Lernenden jeweils zu dritt eine neu entwickelte, auf der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ aufbauende Problemlöseaufgabe zu bearbeiten, wobei in jeder Schule eine Dreiergruppe beim Lösen dieser Problemlöseaufgabe videografiert worden war. Die Lösungen der Problemlöseaufgaben wurden anhand des weiterentwickelten Kodierleitfadens von TIMSS 1995 kodiert und das selbstberichtete Vorgehen beim Lösen des Problems „Verpackungen“ wurde anhand eines theoriebasierten Kategoriensystems inhaltsanalytisch ausgewertet. Zusätzlich wurden Daten aus einer umfassenden Befragung der Schülerinnen und Schüler sowie Leistungsdaten (Mathematik und Deutsch) herangezogen.

Die Auswertungen zur ersten Frage zeigen, dass die Lernenden aus Schulen mit personalisierten Lernkonzepten ihr Vorgehen beim Problemlösen zwar relativ ausführlich und grösstenteils in theoretisch aufbauender Reihenfolge beschreiben konnten, das Verpackungsproblem jedoch nur von wenigen Lernenden vollständig korrekt gelöst wurde, wobei insbesondere das Zeitmanagement beim Lösen des Problems Mühe bereitete. Das Gleiche gilt für das gemeinsame Lösen des Verpackungsproblems, da nur wenige Gruppen das Problem vollumfänglich lösen konnten. Die videografierten und vertieft untersuchten Gruppengespräche während des Problemlösens zeichneten sich durch grosse Unterschiede bezüglich der Sprechbeteiligung, der Bearbeitungsdauer und der inhaltlich-fachlichen sowie regulativen Qualität aus.

Die Auswertungen zur zweiten Frage zeigen, dass Schülerinnen und Schüler, welche Unterricht mit erweiterten Anforderungen besuchten, das Verpackungsproblem besser gelöst haben als Lernende aus tieferen Niveaus. Wie die Lernenden die Oberflächen- und die Tiefenstruktur des Unterrichts wahrnahmen, hatte hingegen keinen Einfluss auf den Erfolg beim Lösen des Problems.

Die eher schlechten Leistungen beim Verpackungsproblem (Einzel- und Gruppenarbeit), das mangelnde Zeitmanagement, die fehlende Ausdauer beim gemeinsamen Problemlösen und die nicht sehr qualitätsvolle Zusammenarbeit wurden nicht erwartet und deuten darauf hin, dass das Problemlösen für relativ viele Schülerinnen und Schüler der Stichprobe ein Problem darstellte und es den untersuchten Schulen somit nicht ausreichend gelang, *alle* ihre Schülerinnen und Schüler zu kompetenten Problemlösenden auszubilden.

Vorwort

Das Verfassen einer Dissertation gleicht dem Lösen eines Problems. Zwar sind der Anfangszustand wie auch der gewünschte Zielzustand in den formalen Umrissen bekannt. Wie man jedoch zum Ziel, der vollständig ausformulierten Dissertation, gelangt und wie dieses Ziel konkret aussieht, ist zunächst unklar. Weiter müssen beim Schreiben einer Dissertation, wie bei anderen offenen Problemen, zwischen dem Anfangs- und dem Zielzustand verschiedene Hürden überwunden, Umwege gegangen und Rückschritte verdaut werden. Oftmals tauchen auch Zweifel auf, ob die Hürden überhaupt überwunden werden können und der Weg wirklich zum Ziel führt. Deshalb bin ich umso glücklicher, dass mich so viele Personen auf meinem Weg unterstützt und ermutigt haben. Auch dank dieser Menschen habe ich das „Problem“ letzten Endes gelöst und bin jetzt am Ziel angekommen!

Der grösste Dank gilt meiner Betreuerin, Prof. Dr. Christine Pauli. Ihre ausführlichen, konstruktiven sowie „personalisierten“ Rückmeldungen und Anregungen haben massgeblich zur Entstehung der Dissertation beigetragen. Vielen Dank auch dafür, dass ich in so viele verschiedene Tätigkeiten am Zentrum für Lehrerinnen- und Lehrerbildung der Universität Freiburg einen Einblick erhalten durfte und mich in den letzten Jahren nicht nur in Forschungsbelangen weiterentwickeln konnte! Ein grosses Dankeschön gebührt auch der weiteren perLen-Projektleitung, Prof. Dr. Kurt Reusser und Dr. Rita Stebler, sowie dem gesamten perLen-Projektteam und Dr. Urs Grob für die vielen inhaltlichen und methodischen Diskussionen, die hilfreichen Rückmeldungen und weiterführenden Hinweise. Jonna Truniger danke ich für das sorgfältige Korrekturlesen der Arbeit. Weiter danken möchte ich dem gesamten Team des Zentrums für Lehrerinnen- und Lehrerbildung für die Unterstützung bei meiner Lehr- und Forschungstätigkeit sowie die vielen anregenden Gespräche über die Dissertation und die Welt. Dankbar bin ich auch meiner Familie, meinem Partner, meinen Freundinnen und Freunden für das Unterstützen, Mitdenken, Gegenlesen, Kritisieren, aber auch das Aufmuntern, Ablenken und Aushalten! Zum Schluss möchte ich mich auch ganz herzlich bei den Schulleitungen und Lehrpersonen bedanken, welche diese Untersuchung überhaupt erst möglich gemacht haben, und vor allem bei den Schülerinnen und Schülern, welche die Problemlöseaufgaben gelöst haben und mir einen Einblick in ihr Problemlösen gewährt haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Personalisiertes Lernen	5
2.1	Wo und mit welchen Schwerpunkten ist personalisiertes Lernen entstanden?	5
2.1.1	Englischsprachiger Raum.....	6
2.1.2	Deutschsprachiger Raum	8
2.2	Wodurch zeichnen sich personalisiertes Lernen und ähnliche Konzepten aus?	10
2.3	Wie wirksam ist personalisiertes Lernen?	15
2.4	Wie setzen perLen-Schulen personalisiertes Lernen um?	20
3	Problemlösen – Problembegriff, psychologische Prozessmerkmale und personale Voraussetzungen.....	23
3.1	Was ist ein Problem?	23
3.1.1	Probleme	23
3.1.2	Aufgaben	25
3.1.3	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit): Aufgabenstellung.....	26
3.2	Welche Typen von Problemen gibt es?.....	27
3.2.1	Problemtypen allgemein	27
3.2.2	Problemtypen im Mathematikunterricht.....	29
3.2.3	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit): Problemtyp	32
3.3	Was ist Problemlösen?	33
3.3.1	Problemlösen	33
3.3.2	Typen von Problemlösen.....	34
3.3.3	Problemlösen in der Schule.....	36
3.3.4	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit): Problemlösetyp	36
3.4	Wie werden Probleme gelöst?	37
3.4.1	Problemlösemodelle	37
3.4.2	Kritik an Problemlösemodellen	44
3.4.3	Zwischenfazit.....	46
3.4.4	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit): Problemlösephasen	48
3.5	Welche individuellen Voraussetzungen und Ressourcen sind für das Lösen von Problemen notwendig?	51
3.5.1	Wissen	53
3.5.2	Problemlösestrategien	56
3.5.3	Metakognition	64
3.5.4	Motivation und Volition	71
3.5.5	Emotionen	74
3.5.6	Soziale Ressourcen	77
3.5.7	Hilfsmittel und externe Repräsentationen	80
3.5.8	Zwischenfazit.....	84
3.5.9	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit): Ganzheitliche Analyse	86

3.6	Wie werden Probleme gemeinsam gelöst?	89
3.6.1	Definition von kollaborativem Problemlösen	90
3.6.2	Empirische Ergebnisse zum gemeinsamen Problemlösen	92
3.6.3	Metakognition und Regulation	98
3.6.4	Zwischenfazit	99
3.6.5	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit): Aufgabenstellung und ganzheitliche Analyse	101
3.7	Welche besonderen Lerngelegenheiten ermöglicht personalisiertes Lernen für den Aufbau von Problemlösefähigkeiten?	102
4	Forschungsfragen	106
5	Methode	112
5.1	Methodologische Einordnung	112
5.2	Forschungsdesign und Datenerhebung	119
5.3	Stichprobe	122
5.4	Erhebungsinstrumente	124
5.4.1	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	124
5.4.2	Reflexionsinstrument	125
5.4.3	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)	127
5.4.4	Befragung der Schülerinnen und Schüler und Klassencockpit	128
5.5	Auswertungsinstrumente	130
5.5.1	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	130
5.5.1.1	Aufgabe 1	131
5.5.1.2	Aufgabe 2	132
5.5.1.3	Aufgabe 3	133
5.5.1.4	Aufgabe 4	134
5.5.1.5	Kodiererschulung, Kodierung und Reliabilitätskontrolle	134
5.5.2	Reflexionsinstrument	136
5.5.2.1	Offene Fragen	136
5.5.2.2	Geschlossene Fragen	140
5.5.2.3	Kodiererschulung, Kodierung und Reliabilitätskontrolle	141
5.5.3	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)	141
5.5.3.1	Lösungen	141
5.5.3.2	Gespräche	142
5.5.3.3	Kodiererschulung, Kodierung, Rating und Reliabilitätskontrolle	146
5.5.4	Befragung der Schülerinnen und Schüler und Klassencockpit	148
5.6	Auswertungsverfahren	150
5.6.1	Hierarchische Regressionsanalysen	150
5.6.1.1	Umgang mit fehlenden Werten: Multiple Imputationen	150
5.6.1.2	Problemlöseleistung in der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	154

6	Ergebnisse	157
6.1	Fragestellung 1: Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen allein und gemeinsam ein Problem?	157
6.1.1	Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen allein das Problem „Verpackungen“?	157
6.1.1.1	Produkt: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	157
6.1.1.2	Prozess: Beschreibung des Vorgehens beim Lösen von Problemen (Einzelarbeit)	161
6.1.2	Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen gemeinsam das Problem „Verpackungen“?	170
6.1.2.1	Produkt: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)	170
6.1.2.2	Prozess: Gespräche während des Problemlösens (Gruppenarbeit)	172
6.2	Fragestellung 2: Welche Rolle spielen verschiedene Merkmale der Schülerinnen und Schüler beim individuellen Problemlösen?	180
6.2.1	Welche Rolle spielen soziodemografische Merkmale sowie individuelle Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler für ihre Problemlöseleistung beim Verpackungsproblem (Einzelarbeit)?	181
6.2.2	Welche Rolle spielt die von den Schülerinnen und Schülern wahrgenommene Personalisierung der Oberflächen- und Tiefenstruktur für ihre Problemlöseleistung beim Verpackungsproblem (Einzelarbeit)?	184
7	Diskussion	187
7.1	Zusammenfassung und Diskussion der zentralen Ergebnisse	187
7.1.1	Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen allein das Problem „Verpackungen“?	188
7.1.2	Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen gemeinsam das Problem „Verpackungen“?	192
7.1.3	Welche Rolle spielen verschiedene Merkmale der Schülerinnen und Schüler beim individuellen Problemlösen?	195
7.1.4	Fazit	199
7.2	Diskussion des methodischen Vorgehens und Grenzen der Untersuchung	203
7.2.1	Stichprobe	204
7.2.2	Datenerhebung	204
7.2.3	Erhebungs- und Auswertungsmethoden	205
7.3	Folgerungen	210
7.3.1	Folgerungen für die Schulen und den Unterricht	210
7.3.2	Folgerungen für die Lehrerinnen- und Lehrerbildung	213
7.3.3	Folgerungen für die Forschung	214
7.4	Weiterführende Fragen	215
8	Literaturverzeichnis	218
	Anhang	247

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) in Anlehnung an Harmon et al. (1997)	26
Abb. 2: Klassifikation von Barrieretypen in Problemen nach Dörner (1976, S. 14)	28
Abb. 3: Verschiedene Lösungen zur Problemlöseaufgabe „Verpackungen“	32
Abb. 4: Problemlösemodell (I) (eigene Darstellung)	48
Abb. 5: Überblick über die verschiedenen Wissensarten im mathematischen Problemlöseprozess nach Mayer (1992, S. 459)	54
Abb. 6: Phasen selbstregulierten Lernens mit Problemlösestrategien nach Otto et al. (2008, S. 223)	68
Abb. 7: Rubikonmodell der Handlungsphasen nach Achtziger und Gollwitzer (2010, S. 311)	72
Abb. 8: Problemlösemodell (II) (eigene Darstellung)	86
Abb. 9: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)	101
Abb. 10: Überblick über die Erhebungen der Teilstudie „Problemlösen“	124
Abb. 11: Ausschnitt Kodierung Verpackungen	131
Abb. 12: Ausschnitt Kodierung Schachteltypen	132
Abb. 13: Ausschnitt Kodierung Faltpläne	132
Abb. 14: Ausschnitt Kodierung Faltpantypen	133
Abb. 15: Ausschnitt Kodierung Schachteltyp	133
Abb. 16: Ausschnitt Kodierung Oberflächenberechnungen	134
Abb. 17: Ausschnitt Kodierung Lösungsweg Oberflächenberechnungen	134
Abb. 18: Ausschnitt aus dem Kategoriensystem (Frage 1)	139
Abb. 19: Ausschnitt aus dem Kategoriensystem (Frage 2)	140
Abb. 20: Vorgehen zur Bestimmung der Sprechzeit	142
Abb. 21: Ausschnitt aus dem Ratingmanual (Interaktive Qualität)	143
Abb. 22: Ausschnitt aus dem Ratingmanual (Verstehenselemente)	144
Abb. 23: Ausschnitt aus dem Ratingmanual (Verwendung von Fachbegriffen)	144
Abb. 24: Ausschnitt aus dem Ratingmanual (Argumentieren und Begründen)	145
Abb. 25: Ausschnitt aus dem Ratingmanual (Gemeinsame Regulation)	146
Abb. 26: Schachteltypen in Aufgabe 1 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	160
Abb. 27: Schachteltyp in Aufgabe 3 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	161
Abb. 28: Schachteltypen in Aufgabe 1 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)	171
Abb. 29: Schachteltyp in Aufgabe 2 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)	172

Abb. 30: Sprechzeit in Aufgabe 1 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit) pro Schülerin/Schüler (S)	173
Abb. 31: Sprechzeit in Aufgabe 2 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit) pro Schülerin/Schüler (S)	175
Abb. 32: Rating Qualitätsmerkmale Aufgabe 1 und Aufgabe 2 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit).....	179
Abb. 33: Problemlösemodell (III) (eigene Darstellung).....	200

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Offenheit von Problemlöseaufgaben nach Neubrand (2002, S. 125)	30
Tab. 2: Verschiedene Modelltypen zum Problemlösen	39
Tab. 3: Analyse eines vollständigen Denkaktes nach Dewey (1910, 2002) mit Ergänzungen nach Reusser (2005, S. 164).....	40
Tab. 4: Überblick über die vier Phasen des Problemlösens nach Polya (1949, S. 18 ff.)	41
Tab. 5: Überblick über die vier Phasen des Problemlösens nach OECD (2013, S. 125 ff.; 2014b, S. 31).....	42
Tab. 6: Überblick über das nötige Wissen und Verhalten für eine adäquate Charakterisierung mathematischer Problemlöseleistung nach Schoenfeld (1985, S. 15)	43
Tab. 7: Übersicht über ausgewählte Phasenmodelle zum Problemlösen	47
Tab. 8: Verschiedene Problemlösestrategien nach Leuders (2003, S. 133).....	57
Tab. 9: Gegenüberstellung von Problemlösephasen und exekutiven Kontrollprozessen (siehe auch Stebler, 1999)	65
Tab. 10: Überblick über die Gesprächstypen nach Mercer (1995, S. 104 ff.; 1996, S. 369)	95
Tab. 11: Matrix der kollaborativen Problemlösefähigkeiten PISA 2015 nach OECD (2017d, S. 137)	117
Tab. 12: Überblick über die Datenerhebungen im gesamten perLen-Projekt.....	121
Tab. 13: Überblick über die Zusammensetzung der Stichprobe der Teilstudie „Problemlösen“ nach Kern- und Ergänzungsstichprobe	123
Tab. 14: Überblick über die Zusammensetzung der Stichprobe der Teilstudie „Problemlösen“ nach Geschlecht und Niveau.....	123
Tab. 15: Überblick über die offenen Fragen im Reflexionsinstrument.....	126
Tab. 16: Überblick über die verwendeten Einzelitems (Schülerfragebogen t1, t2 und t3) ...	128
Tab. 17: Überblick über die verwendeten Skalen (Schülerfragebogen t3).....	129
Tab. 18: Überblick über Cohens Kappa: Kodierung Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	136
Tab. 19: Überblick über Einzelitems aus dem Reflexionsinstrument	140
Tab. 20: Überblick über Cohens Kappa: Kodierung offene Fragen Reflexionsinstrument	141
Tab. 21: Überblick über Cohens Kappa: Kodierung Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)	147
Tab. 22: Überblick über Cohens Kappa: Kodierung Gespräche Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit).....	147
Tab. 23: Überblick über Spearmans Rho: Rating Gespräche Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit).....	148
Tab. 24: Überblick über die verwendeten soziodemografischen Angaben	148
Tab. 25: Überblick über die verwendeten Einzelitems (Schülerfragebogen t2).....	148
Tab. 26: Überblick über die verwendeten Skalen (Schülerfragebogen t3).....	149

Tab. 27: Überblick über die Leistungen in Mathematik und Deutsch (Klassencockpit)	150
Tab. 28: Missingness in den verschiedenen Datenquellen (aufsteigend geordnet nach Anzahl fehlender Werte)	151
Tab. 29: Chi-Quadrat-Tests für die verschiedenen logistischen Regressionsanalysen	152
Tab. 30: Überblick über die verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	154
Tab. 31: Korrelationen nach Pearson der Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	155
Tab. 32: Faktorenladungen der Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	155
Tab. 33: Reliabilitätsanalyse der Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	156
Tab. 34: Überblick über die verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	156
Tab. 35: Korrektheit der verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	158
Tab. 36: Korrektheit der verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) im Vergleich zur TIMSS-Stichprobe 1995 (Leibundgut, 1996, S. 29 ff.) ...	159
Tab. 37: Vorkommen Oberkategorien beim selbstberichteten Vorgehen beim Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	162
Tab. 38: Abfolge der Problemlösephasen beim selbstberichteten Vorgehen bei der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	165
Tab. 39: Vorkommen Oberkategorien beim selbstberichteten Vorgehen beim allgemeinen Lösen von Problemen	167
Tab. 40: Abfolge der Problemlösephasen beim selbstberichteten Vorgehen beim allgemeinen Lösen von Problemen	169
Tab. 41: Verstehenselemente in Aufgabe 1 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)	178
Tab. 42: Korrelationen nach Pearson der unabhängigen Variablen (Fragestellung 2a)	181
Tab. 43: Hierarchisches Regressionsmodell Ausgangsmodell	182
Tab. 44: Hierarchisches Regressionsmodell (Fragestellung 2a)	183
Tab. 45: Korrelationen nach Pearson der unabhängigen Variablen (Fragestellung 2b)	184
Tab. 46: Hierarchisches Regressionsmodell (Fragestellung 2b)	186

Verzeichnis Anhang

A	Erhebungsinstrumente.....	247
A.1	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit).....	247
A.2	Reflexionsinstrument	251
A.3	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)	256
B	Auswertungsinstrumente.....	258
C	Ausführliche Ergebnisse	296
C.1	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit).....	296
C.2	Reflexionsinstrument	301
C.3	Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)	305

Abkürzungsverzeichnis

DCSF	Department for Children, Schools and Families
D-EDK	Deutscheschweizer Erziehungsdirektoren-Konferenz
DfES	Department for Education and Skills
ELF	Erweiterte Lehr- und Lernformen
FCS	Fully Conditional Specification
GPS	General Problem Solver
ICC	Intra-Class-Correlation
ICT	Information and Communication Technology
IEA	International Association for the Evaluation of Educational Achievement
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium
MAR	Missing at Random
MCAR	Missing Completely at Random
MCMC	Markov-Chain-Monte-Carlo-Verfahren
MI	Multiple Imputation
MICE	Multiple Imputation by Chained Equations
MNAR	Missing Not at Random
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PCA	Principal Component Analysis
perLen	Projekt „Personalisierte Lernkonzepte in heterogenen Lerngruppen“
PISA	Programme for International Student Assessment
PSI	Personalized System of Instruction
SSMR	Socially Shared Metacognitive Regulation
TIMSS	Trends in International Mathematics and Science Study
VisA	Visualization and Accuracy

1 Einleitung

Im Hinblick auf die unvorhersehbaren zukünftigen Entwicklungen in Gesellschaft, Technologie und Umwelt wird die Fähigkeit, Probleme allein und gemeinsam mit anderen Personen zu lösen, immer wichtiger (z.B. Csapò & Funke, 2017; OECD, 2004, 2014b). Diese Fähigkeit muss über längere Zeit hinweg gründlich aufgebaut und in unterschiedlichen Kontexten eingeübt werden, damit sie flexibel und in den verschiedensten Situationen eingesetzt werden kann (z.B. Bruder, Perels, Schmitz & Bruder, 2004; Komorek, Bruder & Schmitz, 2004; OECD, 2013, 2014b; Otto, 2007; Stebler, 1999; Wecker, Hetmanek & Fischer, 2016). Es ist deshalb zentral, dass Schülerinnen und Schüler bereits im Verlauf ihrer Schulzeit genügend Gelegenheiten erhalten, die Problemlösefähigkeit sowie die damit zusammenhängenden kognitiven, aber auch metakognitiven, motivationalen, volitionalen, emotionalen, sozialen und kommunikativen Fähigkeiten zu erwerben und aufzubauen (z.B. Betsch, Funke & Plessner, 2011; Hasselhorn & Gold, 2013; Holzäpfel, Leuders, Rott & Schelldorfer, 2016; Mayer, 1998; OECD, 2017d).

Wie die wesentliche Fähigkeit des Problemlösens mit den damit verbundenen fachlichen und überfachlichen Fähigkeiten in der Schule eingeübt werden kann, ist daher eine wichtige Frage in der aktuellen Unterrichtspraxis und -forschung. Entsprechend wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Initiativen lanciert, in deren Rahmen innovative Lern- und Unterrichtskulturen entwickelt werden, die den Aufbau dieser Kompetenzen fördern sollen. Eine solche gegenwärtige Reforminitiative ist das „Personalisierte Lernen“. Schulen mit personalisierten Lernkonzepten zeichnen sich unter anderem aus durch das Bereitstellen differenzierter Lernangebote, welche die unterschiedlichen Voraussetzungen und Bedürfnisse der Lernenden berücksichtigen, oder durch das Zugestehen von mehr Selbststeuerung und Autonomie (Bray & McClaskey, 2015).

Seit der Jahrtausendwende hat sich das Verständnis von Lernen im Sinne eines personalisierten Prozesses vor allem im englischsprachigen Bildungsraum als bildungspolitisches Konzept und über didaktische Handreichungen ausgebreitet. Im deutschsprachigen Raum ist der Begriff des personalisierten Lernens zwar noch wenig verbreitet, die darunter subsumierten didaktischen Konzepte wie Individualisierung, Differenzierung, offener Unterricht oder erweiterte Lehr- und Lernformen sind jedoch schon seit Längerem bekannt (Stebler, Pauli & Reusser, 2017, 2018). Auf dieser Grundlage ist in den letzten Jahren unter anderem auch in Deutschschweizer Schulen eine Vielzahl von Reformideen, welche Aspekte personalisierten Lernens beinhalten, in unterschiedlichen Kontexten aus der Praxis heraus entstanden. Einige

dieser Schulen setzen innerhalb der klassischen räumlichen und zeitlichen Strukturen der Schul- und Unterrichtsorganisation vermehrt auf individualisierende und kooperative Formen des Lernens und der Lernunterstützung. In anderen Schulen wurden sichtbare Veränderungen in der Oberflächenstruktur vorgenommen: Diese Schulen weichen in ihrer Lern- und Unterrichtsarchitektur deutlich von den klassischen Formen der Unterrichts- und Lernorganisation ab, indem der Unterricht zum Beispiel zu einem grossen Teil in jahrgangsübergreifenden und/oder niveaudurchmischten Lerngruppen stattfindet. Inhalte werden beispielsweise in homogenen Kleingruppen vermittelt, danach werden die Inhalte in Phasen selbstständigen Lernens, sogenannten „Lernlandschaften“ oder „Lernateliers“, vertieft und eingeübt (z.B. Pauli & Schmid, 2014; Stebler et al., 2018).

Dieses Bereitstellen von problemorientierten Lern- und Übungsgelegenheiten und die darin erfolgende Setzung eines Schwerpunkts auf die Förderung überfachlicher Kompetenzen werden auch aus theoretischer Perspektive als vielversprechend angesehen. Jedoch sind bislang keine empirischen Studien durchgeführt worden, die sich mit der Förderung der überfachlichen Kompetenz des Problemlösens in Schweizer Schulen mithilfe von Ansätzen personalisierter Lernkonzepte beschäftigt und diese Annahme datenbasiert gestützt haben. Ein Beitrag zur Schliessung dieser Forschungslücke soll mit der vorliegenden Arbeit geleistet werden. Diese wurde im Rahmen des von der Stiftung Mercator Schweiz geförderten Forschungsprojekts „Personalisierte Lernkonzepte in heterogenen Lerngruppen“ (perLen) der Universitäten Zürich und Freiburg unter der Leitung von Prof. Dr. Kurt Reusser, Prof. Dr. Christine Pauli und Dr. Rita Stebler sowie in Kooperation mit Prof. Dr. Dominik Petko von der Pädagogischen Hochschule Schwyz durchgeführt. Im perLen-Projekt wurden Schulen untersucht, die sich an personalisierten Lernkonzepten orientieren und diese entweder innerhalb oder ausserhalb der klassischen räumlichen und zeitlichen Strukturen der Schul- und Unterrichtsorganisation umsetzen.

Die vorliegende Forschungsarbeit verfolgte mehrere Ziele: Erstens wurde untersucht, wie erfolgreich Schülerinnen und Schüler aus sogenannten „perLen-Schulen“, das heisst Schulen, welche am perLen-Projekt teilnahmen, gegen Ende der obligatorischen Schulzeit allein und in der Kleingruppe ein konkretes Problem im Mathematikunterricht lösen. Neben dem Problemlöseprodukt wurde auch der Problemlöseprozess der Lernenden analysiert: Wie beschreiben die Schülerinnen und Schüler ihr Vorgehen beim Problemlösen? Berichten sie über vollständige Problemlöseprozesse? Und wie kommunizieren und kooperieren sie innerhalb einer

Kleingruppe beim gemeinsamen Lösen eines Problems? Zweitens wurde der Frage nachgegangen, welche Rolle verschiedene Faktoren wie soziodemografische Merkmale, mathematisches Fachwissen, Metakognition, Motivation oder die wahrgenommene Personalisierung der Oberflächen- und der Tiefenstruktur des Unterrichts (Reusser, 2008, 2009) beim Lösen des Problems spielten.

Zur Klärung dieser Fragen wurde innerhalb des perLen-Projekts eine Teilstudie zum Problemlösen durchgeführt, an welcher 250 Schülerinnen und Schüler der 9. Klasse aus elf verschiedenen perLen-Schulen mit unterschiedlicher Umsetzung des personalisierten Lernens teilnahmen. Die Lernenden lösten allein die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“, die ursprünglich als Teil des „Performance Assessments“ im Rahmen von TIMSS 1995 (Trends in International Mathematics and Science Study) eingesetzt worden war (Harmon et al., 1997; Stebler, Reusser & Ramseier, 1997). Zusätzlich füllten die Schülerinnen und Schüler ein Reflexionsinstrument aus. Darin wurden sie mittels offener und geschlossener Fragen zu ihren Vorgehensweisen beim Bearbeiten des Verpackungsproblems sowie allgemein zu ihrem Vorgehen bei Problemlöseaufgaben befragt. Anschliessend hatten die Lernenden jeweils zu dritt eine neu entwickelte, auf der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ aufbauende Problemlöseaufgabe zu bearbeiten. In jeder Schule wurde eine Dreiergruppe beim Lösen dieser Problemlöseaufgabe videografiert. Diese Aufnahmen bildeten die Grundlage für eine Analyse der Gespräche, bei der die Gesprächsorganisation sowie weitere Aspekte, wie beispielsweise die interaktive, inhaltlich-fachliche oder regulative Qualität der Gespräche, vertieft ausgewertet wurden. Ausserdem wurden, um das Problemlösen umfassend zu untersuchen, neben den in der Teilstudie erhobenen Daten auch Daten aus dem übergeordneten perLen-Projekt in die Auswertungen aufgenommen (Befragungen der Schülerinnen und Schüler, Klassencockpit Mathematik und Klassencockpit Deutsch).

Die vorliegende Arbeit ermöglicht erste Einblicke in das Problemlösen von Schülerinnen und Schülern an Deutschschweizer Schulen, die mit personalisierten Lernkonzepten arbeiten. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse können dazu dienen, die Lernkonzepte, die an diesen innovativen Schulen implementiert wurden, einer ersten Prüfung hinsichtlich des Aufbaus der Problemlösekompetenz zu unterziehen. Daraus können erste empirisch gestützte Anhaltspunkte zu den Stärken und Potenzialen des Konzepts des personalisierten Lernens für den Aufbau der individuellen und kollaborativen Problemlösekompetenz sowie Ansätze zur Weiterentwicklung des Konzepts in der Praxis gewonnen werden.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 2 wird zunächst das mehrdimensionale Konzept des personalisierten Lernens vorgestellt. Hier wird zuerst aufgezeigt, wie personalisierte Lernkonzepte im englisch- und deutschsprachigen Raum entstanden sind und welche Schwerpunkte sie setzen. Im Anschluss daran werden verschiedene, dem personalisierten Lernen subsumierte Konzepte erörtert und es wird versucht, personalisiertes Lernen davon abzugrenzen. In diesem Zusammenhang werden auch empirische Ergebnisse zum personalisierten Lernen sowie zu den verwandten Konzepten berichtet. Ausserdem wird ein Einblick in die Deutschschweizer Praxis gegeben. In Kapitel 3 wird auf der Grundlage der Problempsychologie ausführlich auf das Problemlösen eingegangen, wobei die theoretischen Inhalte jeweils an einem konkreten Beispiel aus dem Schulkontext verdeutlicht werden (Problemlöseaufgabe „Verpackungen“). Es wird unter anderem beschrieben, was allgemein und im Unterrichtskontext unter einem „Problem“ verstanden wird, wie Probleme allein oder gemeinsam gelöst werden und welche individuellen Voraussetzungen und Ressourcen, wie beispielsweise Vorwissen, Problemlösestrategien, Metakognition oder Motivation, aufseiten der problemlösenden Person für das erfolgreiche Problemlösen vorhanden sein müssen. Die Fragestellungen der empirischen Untersuchung werden anschliessend in Kapitel 4 vorgestellt. In Kapitel 5 wird zunächst aufgezeigt, wie sich die vorliegende Untersuchung methodologisch einordnet und wie das Forschungsdesign aussah. Danach folgt die Beschreibung der Stichprobe. Ebenfalls in diesem Kapitel wird detailliert erläutert, wie die verschiedenen Daten erhoben und ausgewertet wurden. Darauf folgt in Kapitel 6 die ausführliche Darstellung der Ergebnisse. In Kapitel 7 werden die gewonnenen Erkenntnisse in Bezug zur Theorie zusammengefasst und diskutiert. Des Weiteren wird das methodische Vorgehen kritisch beleuchtet und es werden Grenzen der Untersuchung aufgezeigt. Im Anschluss daran werden Folgerungen für die Schulen und den Unterricht, die Lehrerinnen- und Lehrerbildung sowie die Forschung abgeleitet. Zum Schluss werden weiterführende Fragestellungen skizziert.

2 Personalisiertes Lernen

In den letzten Jahren haben sich Bildungssysteme und Schulen verändert. Nach Stebler et al. (2018) gaben dazu verschiedene gesellschaftliche und bildungspolitische Faktoren den Anstoss: (1) das Bedürfnis nach mehr Personalisierung nicht nur bei Dienstleistungen, sondern auch bei Bildung, (2) die unter anderem durch Migration zunehmende Heterogenität der Lernenden, (3) die ansteigende Bedeutung und die fortgeschrittenen Möglichkeiten der digitalen Medien, (4) die veränderten Anforderungen an Bildung, wobei die Bedeutung von Routinefähigkeiten abnimmt und diejenige von überfachlichen Fähigkeiten zunimmt, und (5) das gesteigerte Interesse von Gesellschaft und Politik, dass alle Lernenden überprüfbare Grundkompetenzen erreichen. Als Reaktion auf diese verschiedenen gesellschaftlichen und bildungspolitischen Veränderungen werden weltweit unterschiedliche innovative Lern- und Unterrichtskulturen entwickelt, die sich vor allem am Lernen und am Entwicklungspotenzial der Lernenden orientieren. Eine gegenwärtige Reforminitiative ist das personalisierte Lernen.

Im Folgenden wird in Kapitel 2.1 zuerst auf die Entstehung und die Schwerpunktsetzung personalisierten Lernens im englisch- und deutschsprachigen Raum eingegangen. Anschliessend werden in Kapitel 2.2 Definitionsansätze dargestellt und Abgrenzungen zu anderen Konzepten wie Individualisierung oder Differenzierung vorgenommen. In Kapitel 2.3 werden empirische Untersuchungen zum personalisierten Lernen und zu verwandten Konzepten berichtet. In Kapitel 2.4 werden die vorangehenden theoretischen Ausführungen zum personalisierten Lernen konkretisiert, indem die Praxis in Deutschschweizer Schulen, welche solche personalisierten Lernkonzepte umsetzen („perLen-Schulen“), beschrieben wird.

2.1 Wo und mit welchen Schwerpunkten ist personalisiertes Lernen entstanden?

Die Idee der Personalisierung stammt ursprünglich aus dem Marketing (Hartley, 2007, 2008, 2009). Als aktuelles Beispiel können die Flaschen eines bekannten Getränkeherstellers mit dem eigenen Namen versehen, also personalisiert werden. Bei dieser Form des Marketings geht es unter anderem darum, auf die individuellen Bedürfnisse der mit der Kampagne anzusprechenden Zielgruppe einzugehen, die Individualität der Einzelnen zu betonen, die Kundenbindung zu erhöhen und die Konsumentinnen und Konsumenten zu „co-designers“ und „co-producers“ (Campell, Robinson, Neelands, Hewston & Mazzoli, 2007, S. 135) zu machen. Der

Begriff der Personalisierung wird aber zunehmend auch in anderen Kontexten wie der Medizin oder der Bildung verwendet.

Gemäss Keefe (2007) wurde der Begriff im Bildungsbereich das erste Mal in Südamerika verwendet, und zwar bereits in den 1960er-Jahren an der Universität von Brasilia, als Fred Keller und Kollegen für die Studierenden das Personalized System of Instruction (PSI) eingeführt hatten (siehe auch Keller, 1968). Das PSI zeichnet sich unter anderem dadurch aus, dass der Unterrichtsstoff in Einheiten gegliedert wird, welche die Studierenden im individuellen Tempo bearbeiten können. Personalisiertes Lernen ist auch im spanischsprachigen Bildungsraum, vor allem als Mittel zur Herstellung von Chancengleichheit, bekannt (Stebler et al., 2018). Da die Diskussion und die Umsetzung personalisierter Lernkonzepte in der Schweiz aber vor allem von der englisch- und deutschsprachigen Literatur beeinflusst wird, wird im Folgenden auf die Entstehung personalisierten Lernens und dessen Schwerpunktsetzung in diesen beiden Sprachräumen vertieft eingegangen.

2.1.1 Englischsprachiger Raum

In den frühen 1980er-Jahren wurde das Konzept des personalisierten Lernens erstmals in der nordamerikanischen Literatur thematisiert (Keamy, Nicholas, Mahar & Herrick, 2007). Mittlerweile finden sich in den USA viele schulpraktische Ansätze zur Umsetzung personalisierten Lernens (z.B. Bray & McClaskey, 2013, 2015, 2017; Murphy, Redding & Twyman, 2016) und Beschreibungen, wie personalisiertes Lernen in den verschiedenen Bundesstaaten konkret umgesetzt wird (z.B. Bellavance, 2014; McLester, 2011). Gemäss Stebler et al. (2018) ist für die meisten amerikanischen Ansätze „das Verständnis des Individuums als Dreh- und Angelpunkt selbstbestimmten Lernens“ kennzeichnend sowie die Annahme, dass „Lernende grundsätzlich fähig sind, zu wissen [sic] wie sie am besten lernen, als Co-Designer des eigenen Lernens dafür Verantwortung zu übernehmen, bei der Wahl von Lernressourcen und der Gestaltung von Lernwegen mitzureden“ (S. 162). Die Schülerinnen und Schüler werden von Lehrpersonen wirksam und kompetent unterstützt, damit alle zu selbstregulierten Lernenden werden, welche ihre Fortschritte überwachen und das eigene fachliche und überfachliche Lernen reflektieren können (Bray & McClaskey, 2013).

Heute ist das personalisierte Lernen in den USA zudem stark mit den sozialen Medien und Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT) verknüpft. Diese werden als kognitive Werkzeuge verwendet, um zeitunabhängiges sowie vermehrt selbstgesteuertes Lernen innerhalb und ausserhalb der Schule zu ermöglichen (Stebler et al., 2018). Schülerinnen und Schüler

können eine stetig zunehmende Anzahl von digitalen Angeboten nutzen und persönliche Lernumgebungen und Lernwege gestalten. Es erstaunt daher wenig, dass Vertreterinnen und Vertreter der Computerindustrie und der digitalen Medien wie Bill Gates (siehe Bill & Melinda Gates Foundation, 2014) oder Mark Zuckerberg (siehe Klovert, 18.12.2015) mit Spenden und Forschungsgeldern das personalisierte Lernen unterstützen. Diese Finanzierung trägt zwar zur Entwicklung, Umsetzung und Überprüfung personalisierter Lernkonzepte bei, kann jedoch auch problematisch sein, da hinter der Unterstützung gegebenenfalls gewisse versteckte Absichten stehen können (z.B. Werbung für Produkte oder Sammeln von persönlichen Daten).

In *Grossbritannien* wurde das Konzept des personalisierten Lernens in den späten 1990er-Jahren eingeführt und unter Premierminister Tony Blair und Bildungsminister David Miliband als bildungspolitisches Konzept proklamiert (Johnson, 2004). Im Jahr 2004 wurde die Idee des personalisierten Lernens in den Fünfjahresplan „Five Year Strategy for Children and Learners“ (DfES, 2004a) und damit in das staatliche Schulreformprogramm aufgenommen (Miliband, 2004, 2006). Beim personalisierten Lernen wird gemäss britischer Auslegung davon ausgegangen, dass die Qualität des Lernens von den Erfahrungen, Interessen und Fähigkeiten der Lernenden beeinflusst wird (z.B. DCSF, 2008a; DfES, 2001). Jedes Kind soll auf diejenige Art und in derjenigen Geschwindigkeit lernen, welche ihm am besten entspricht. Das Ziel sollte demnach sein, dass soziale Praktiken entwickelt werden, welche es den Kindern ermöglichen, zu dem zu werden, was für sie möglich ist, ungeachtet ihres Hintergrunds oder ihrer Lebensumstände (Pollard & James, 2004).

Auch in weiteren englischsprachigen Ländern wie *Australien* (z.B. Prain et al., 2013; Waldrup et al., 2014; Waldrup, Jin Yu & Prain, 2016) oder *Kanada* (z.B. Hébert & Hartley, 2006) haben personalisierte Lernkonzepte Einzug in die Schulen gefunden. Aus diesen Ländern liegen ebenfalls verschiedene Broschüren mit praktischen Hinweisen zum personalisierten Lernen sowie erste Untersuchungen dazu vor (siehe auch Kapitel 2.3).

Insgesamt kann für die verschiedenen englischsprachigen Ansätze des personalisierten Lernens festgehalten werden, dass das Individuum mit seinen Bedürfnissen, Charakteristika, Interessen, Begabungen, Hoffnungen und Bestrebungen im Vordergrund steht. Immer wieder genannt werden in den verschiedenen englischsprachigen Texten (1) das Assessment, (2) das Curriculum, (3) der Einsatz von ICT oder (4) die Zusammenarbeit mit Schulexternen (z.B. DCSF,

2008b; DfES, 2004b; Keamy et al., 2007; Miliband, 2004; Pollard & James, 2004). (1) Beim Assessment geht es darum, den Lernstand sowie die Lernbedürfnisse der Schülerinnen und Schüler zu erfassen. Dadurch lernen Lehrpersonen die Stärken und Schwächen ihrer Lernenden kennen und können so auf ihre individuellen Lernbedürfnisse eingehen. Zudem sollen die Daten zu den Lernfortschritten gesammelt und gespeichert werden, damit auch Eltern, Fachlehrpersonen und Schulleitungen Einblick in das Lernen jeder Schülerin und jedes Schülers nehmen können. (2) Des Weiteren erhalten vor allem ältere Lernende inhaltliche Wahlmöglichkeiten innerhalb des Curriculums. Wichtig ist, dass sie sich verschiedene fachliche und vor allem auch überfachliche Fähigkeiten und Fertigkeiten aneignen. Damit diese erworben werden können, sollen Lehrpersonen vielfältige Lehr- und Lernstrategien einschliesslich ICT-Strategien einsetzen. (3) Beim personalisierten Lernen können Lernende eine zunehmende Anzahl digitaler Angebote nutzen und persönliche Lernumgebungen und Lernwege selbst gestalten. Gleichzeitig können die Lehrpersonen dank spezieller Programme die individuellen Lernwege der einzelnen Schülerinnen und Schülern verfolgen und dokumentieren. (4) Ausserdem wird eine enge Zusammenarbeit mit den Erziehungsberechtigten angestrebt, aber auch Kontakte wie etwa mit der Gemeinde oder sozialen Institutionen werden gefördert.

2.1.2 Deutschsprachiger Raum

Im Gegensatz zum englischsprachigen Raum ist der Begriff des personalisierten Lernens im deutschsprachigen Raum noch weniger gebräuchlich und findet erst selten explizit Verwendung (z.B. Agostini, Schratz & Risse, 2018; Hackl, 2011; Müller, 2014; Schratz, Schwarz & Westfall-Greiter, 2011; Schratz & Westfall-Greiter, 2010). Die darunter subsumierten didaktischen Konzepte wie Individualisierung, Differenzierung, offener Unterricht oder erweiterte Lehr- und Lernformen und die damit verbundene Implikation, dass Unterricht auf die individuellen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler abgestimmt werden soll (siehe auch Kapitel 2.2), werden aber auch im deutschsprachigen Raum seit Längerem diskutiert (Stebler et al., 2018).

Bereits zu Beginn des letzten Jahrhunderts hatten verschiedene Vertreterinnen und Vertreter der Reformpädagogik gefordert, den Unterricht am einzelnen Kind zu orientieren und ihn dessen individuellen Voraussetzungen und Interessen anzupassen (siehe Jürgens, 1998; Krammer, Hugener & Reusser, 2007). Seit Ende der 1980er-Jahre ist im deutschsprachigen Diskurs die Öffnung des Unterrichts ein Thema (Krammer et al., 2007). Diese Reformidee hat eine konsequente, an den einzelnen Lernenden orientierte Unterrichtsgestaltung mit einer

erhöhten Aktivierung und Selbstständigkeit sowie Mitverantwortung für die Qualität der Lernprozesse wie auch eine Verbindung des schulischen Lernens mit der Lebenswelt der Kinder zum Ziel. Die Öffnung kann dabei methodisch-organisatorischer Art (Wahl von Lernort, Sozialform, Reihenfolge der Aufgabenbearbeitung, verschiedene Lösungsmöglichkeiten), didaktisch-inhaltlicher Art (verschiedene Inhalte oder Lernziele) oder pädagogisch-politischer Art (Mitwirken, Mitbestimmen von Unterrichtsablauf und -regeln) sein (z.B. Bohl, Batzel & Richey, 2011; Brügelmann, 1997). Durch offene Unterrichtsformen soll der kleinschrittig gelenkte Unterricht ersetzt werden und den Schülerinnen und Schülern sollen mehr Entscheidungs- und Steuerungsmöglichkeiten beim Lernen eingeräumt werden, womit aber auch Verantwortungsübernahme und die Aufforderung zur Reflexion einhergehen (Pauli, Reusser & Grob, 2010).

Im Gegensatz zu Deutschland oder zum englischen Sprachraum, wo zu Beginn der 1990er-Jahre eine gänzliche Ersetzung von traditionellen Lehr- und Lernformen angestrebt wurde, waren die Reforminitiativen in der *Schweiz* gemässiger. Im Vordergrund stand vor allem die Absicht, das übliche Methodenrepertoire durch stärker von den Schülerinnen und Schülern gesteuerte Lehr- und Lernformen zu ergänzen (Krammer et al., 2007). Dieser Ansatz spiegelt sich auch in deren Bezeichnung als Erweiterte Lehr- und Lernformen (ELF) wider (Crocì, Imgrüth, Landwehr & Spring, 1995). ELF zeichnen sich somit weniger durch eine konsequente Öffnung des Unterrichts aus, als vielmehr durch eine Methodenvielfalt, die beispielsweise durch die Integration von Postenarbeit, Wochenplan-, Projekt- oder Werkstattunterricht in den traditionellen Unterricht erreicht werden kann. Wichtige Ziele eines Unterrichts mit ELF sind (1) die Erhöhung des Selbststeuerungsgrads der Lernenden durch verschiedene Wahlmöglichkeiten innerhalb verbindlicher Vorgaben, (2) die Erhöhung der Adaptivität des Unterrichts, zum Beispiel durch ein differenzierteres Lernangebot und individuelle Unterstützung der Lernenden, (3) die Förderung fachlicher und überfachlicher Kompetenzen, indem die Lernenden dazu aufgefordert werden, eigene Lern-, Arbeits- und Kommunikationsverhalten zu reflektieren, und (4) die Ermöglichung hoher Eigenaktivität der Lernenden bei der Auseinandersetzung mit dem Lernstoff (Crocì et al., 1995; Krammer et al., 2007; Pauli et al., 2010; Pauli, Reusser, Waldis & Grob, 2003).

Für den deutschsprachigen Raum kann zusammenfassend Folgendes festgehalten werden: Der Begriff des personalisierten Lernens als solcher ist im Vergleich mit der Situation im eng-

lischsprachigen Raum zwar noch wenig verbreitet, die vorangehenden Ausführungen zur Öffnung des Unterrichts und im Speziellen zu ELF in der Schweiz zeigen jedoch, dass verschiedene Reformelemente existieren, die man dem neuen „Label“ des personalisierten Lernens zuordnen könnte (siehe auch Kapitel 2.2). Viele davon sind in der Schweiz aus der Praxis heraus entstanden (Bottom-up-Prozesse) und wurden nicht, wie beispielsweise in Grossbritannien, als bildungspolitisches Konzept auf nationaler Ebene eingeführt (Top-down-Prozesse).

2.2 Wodurch zeichnen sich personalisiertes Lernen und ähnliche Konzepte aus?

In diesem Kapitel werden zunächst die dem personalisierten Lernen subsumierten didaktischen Konzepte wie Individualisierung, Differenzierung, offener Unterricht, ELF sowie adaptiver Unterricht kurz vorgestellt. Ziel dieses Kapitels ist es, aufzuzeigen, wodurch sich personalisiertes Lernen, zusätzlich zu den bereits in Kapitel 2.1 vorgestellten Aspekten, auszeichnet.

Weitgehender Konsens besteht darin, dass in einem *individualisierten Unterricht* die zuvor erfassten individuellen Lernvoraussetzungen und Interessen der einzelnen Schülerinnen und Schüler als Ausgangspunkt genommen und darauf aufbauend passende Lernangebote zur Verfügung gestellt werden (z.B. Bohl et al., 2011; Häcker, 2017). In der Reinform würde dies bedeuten, dass alle Lernenden ein auf ihre individuellen Lernvoraussetzungen abgestimmtes, massgeschneidertes Angebot bearbeiten. Damit das Angebot passgenau auf die verschiedenen Voraussetzungen zugeschnitten werden kann, muss die Lehrperson über hohe diagnostische Kompetenz verfügen (Lipowsky & Lotz, 2015).

Die *Differenzierung* zielt im Gegensatz zur Individualisierung „nicht zwangsläufig auf das Individuum in seinen jeweiligen Voraussetzungen und Interessen [ab], sondern bezieht sich auf eine merkmalsbezogene Gruppierung in der Lerngruppe bzw. Klasse, z.B. nach Leistung oder nach Interesse“ (Bohl et al., 2011, S. 7). Die Lehrperson stellt somit nicht für jedes Individuum, sondern für verschiedene, relativ homogene Gruppen ein Programm zusammen.

Der *offene Unterricht* überschneidet sich gemäss Bohl et al. (2011) mit der Individualisierung und der Differenzierung. Ein Unterschied liege jedoch darin, dass den Schülerinnen und Schülern im offenen Unterricht mehr Selbst- und Mitbestimmung gewährt werde. So resümieren Bohl et al. (2011), „dass es in einem konsequent angelegten offenen Unterricht immer um mehr geht als die gezielte, aufgaben- und materialgeleitete Vermittlung und Verbesserung des fachlichen Lernens“ (S. 10). Wie in Kapitel 2.1 bereits ausgeführt wurde, wurde die Öffnung

des Unterrichts in der Schweiz insbesondere im Zusammenhang mit *ELF* und somit gemässiger diskutiert als in Deutschland oder im englischen Sprachraum.

Während Individualisierung, Differenzierung oder offener Unterricht eher schulpädagogische Konzepte sind, stammt das Konzept des *adaptiven Unterrichts* aus der pädagogischen Psychologie (Bohl et al., 2011). Beim adaptiven Unterricht wird das Lernangebot ebenfalls an die individuellen Voraussetzungen der Lernenden angepasst, wobei jedoch eine enge Anbindung an das instruktionale Handeln der Lehrperson bestehen bleibt. Somit behält die Lehrperson beim adaptiven Lernen ihre zentrale Rolle bei, da sie die Lernenden in ihren Lernprozessen aktiv und adaptiv unterstützt (siehe auch Hertel, Fingerle & Rohlf, 2016).

Beim *personalisierten Lernen* steht gemäss Pauli, Stebler und Reusser (2017) die lernende Person im Zentrum. Es wird von der Annahme ausgegangen, dass diese das eigene Lernen steuert, dass sie weiss, wie sie am besten lernt, und dass sie ihre eigenen Fortschritte überwachen und ihr Lernen reflektieren kann (Bray & McClaskey, 2015, 2017). Da die Lernenden beim personalisierten Lernen als Subjekte von Bildungsprozessen agieren (siehe auch Bray & McClaskey, 2013, 2015; Schratz et al., 2011), scheint sich gemäss Stebler et al. (2018) Personalisierung durch den „Aspekt der Urheberschaft von traditionellen Konzepten wie Individualisierung, Differenzierung oder adaptivem Unterrichten zu unterscheiden“ (S. 163). Das heisst, die Schülerinnen und Schüler stehen am Ursprung ihres eigenen Lernens durch Selbstgestaltung und Selbststeuerung des Lernprozesses. Es gibt somit eine „Verschiebung der Verantwortung und Urheberschaft für die Lern- und Bildungsprozesse von der Lehrperson als omnipräsenter und omnipotenter Planungs-, Entscheidungs- und Steuerungsinstanz auf die Person der Lernenden“ (Stebler et al., 2018, S. 166). In diesem Zusammenhang sprechen Schratz und Westfall-Greiter (2010) auch von Lernen „lehrseits“ bzw. „lernseits“ von Unterricht (S. 26). Wenn die Lehrperson über Raum, Zeit, Inhalte und Methoden des Lernens entscheidet, wie dies gemäss Bray und McClaskey (2013) bei der Individualisierung oder der Differenzierung grösstenteils der Fall ist, und somit das Lehren im Vordergrund steht, bezeichnen Schratz und Westfall-Greiter (2010) dies als „Lernen lehrseits von Unterricht“. Können hingegen die Schülerinnen und Schüler selbst über räumliche, zeitliche, inhaltliche und methodische Dimensionen entscheiden, steht deren Lernen im Vordergrund und wird dementsprechend als „lernseits von Unterricht“ aufgefasst (siehe auch Schratz, 2009). Gemäss Schratz und Westfall-Greiter (2010) setzt personalisiertes Lernen lernseits von Unterricht an, da hier das Lernen von der einzelnen Person gestaltet und gesteuert wird. Entsprechend können Angebote, welche Nachdenken,

Deutung und Selbstreflexion erfordern und fördern, beispielsweise Lernportfolios, Projektarbeit, Experimente und Problemlöseaufgaben, personalisiertes Lernen ermöglichen.

Personalisiertes Lernen zeichnet sich somit vor allem durch die Verschiebung der Urheberschaft für den Lern- und Bildungsprozess von der lehrenden zur lernenden Person aus. Diese Vorstellung ist allerdings auch in anderen reformorientierten Konzepten enthalten: Gemäss Häcker (2017) wird Individualisierung ebenfalls perspektivisch gesehen und vom lernenden Subjekt aus gedacht, da die Lernangebote auf die individuellen Bedürfnisse zugeschnitten werden und in der Reinform des Konzepts jeder Schülerin und jedem Schüler ein massgeschneidertes Angebot bereitgestellt wird. Weiter spricht der Autor auch von einer Verschiebung der Verantwortung und der Kontrolle auf die Lernenden. Breidenstein und Rademacher (2016) sprechen zudem von einer Verschiebung der Verantwortlichkeit für die Nutzung der Unterrichtszeit, da die Schülerinnen und Schüler ihre Zeit möglichst sinnvoll nutzen und möglichst immer beschäftigt sein sollen. Gleichzeitig behält die Lehrperson in einem individualisierenden bzw. differenzierenden Unterricht auch in schülerzentrierten Phasen eine aktive Rolle, da sie die Lehr-Lern-Prozesse für die einzelnen Lernenden bzw. für Gruppen von Lernenden didaktisch-methodisch organisiert (Häcker, 2017). Deshalb werden diese Konzepte auch als „durch die Lehrkraft bestimmte methodische Maßnahmen verstanden“ (Holmes, Anastopoulou, Schaumburg & Mavrikis, 2018, S. 21). Beim adaptiven Unterricht hat die Lehrperson ebenfalls eine zentrale Rolle inne, da sie „das Geschehen trotz Phasen selbstständigen Lernens steuert und gezielt immer wieder gemeinsame Plenumssituationen herstellt“ (Bohl, 2017, S. 270). Der Erfolg dieser verschiedenen Konzepte hängt unter anderem von einer präsenten und klar strukturierenden Lehrperson mit hoher Diagnosekompetenz ab.

Diese Bedeutung, die der kompetenten Lehrperson zugeschrieben wird, korrespondiert mit theoretischen Überlegungen und empirischen Befunden, die darauf hindeuten, dass die Lehrperson für das Lernen der Schülerinnen und Schüler zentral ist (z.B. Häcker, 2017; Lipowsky, 2006). Diese Erkenntnis zeigt sich unter anderem auch in der weit verbreiteten Auffassung von Unterricht als ein von der Lehrperson bereitgestelltes Angebot, welches die Lernenden nutzen können (Angebots-Nutzungs-Modell, z.B. Fend, 1984, 2019; Helmke, 2006; Reusser & Pauli, 2010). Im Gegensatz dazu könnte die Verschiebung der Urheberschaft und der Verantwortung für Lern- und Bildungsprozesse beim personalisierten Lernen von der lehrenden zur lernenden Person den Anschein wecken, dass die Lehrperson kaum mehr nötig ist. Da der Lehrperson jedoch durchaus eine wichtige Rolle zukommt, muss personalisiertes Lernen als

eine idealisierte Vorstellung gesehen werden, in welcher die lernende Person und ihr Lernen zwar ins Zentrum gerückt werden, es aber trotz allem eine kompetente Lehrperson braucht, welche eine anregende Lernumgebung bereitstellt und die Verantwortung für das Lernen der Schülerinnen und Schüler zumindest mitträgt. Denn nicht zuletzt müssen die Lernenden zunächst überhaupt lernen, selbstständig zu lernen und Verantwortung für ihr eigenes Lernen zu übernehmen (siehe auch Maag Merki, 2018).

In der konkreten Umsetzung scheint sich personalisiertes Lernen ebenfalls nicht grundsätzlich von anderen Konzepten zu unterscheiden. Die etwa von Schratz und Westfall-Greiter (2010) genannten personalisierten Unterrichtsmethoden sind ebenso in anderen Konzeptionen von Unterricht vertreten (z.B. Projektarbeit im offenen oder ELF-Unterricht). Auch der bereits in Kapitel 2.1.1 beschriebene Einsatz digitaler Medien und Technologien im Unterricht oder die computergestützte Dokumentation individueller Lernwege ist in anderen Lernkonzepten denkbar (siehe auch Petko, Schmid, Pauli, Stebler & Reusser, 2017).

Einige Schulen mit personalisierten Lernkonzepten verändern sich aber nicht nur auf der Ebene des Unterrichts, sondern sie nehmen umfassendere Anpassungen vor wie die Aufhebung des klassischen Lektionentaktes oder die Organisation in altersheterogenen Klassenverbänden (siehe auch Kapitel 2.4). Des Weiteren ist personalisiertes Lernen ein über den eigentlichen Unterricht hinausgehendes Konzept, da beispielsweise die Zusammenarbeit mit den Eltern gefördert wird (siehe z.B. auch Vasarik Staub, Stebler & Reusser, 2018) und auch der Zusammenarbeit mit Schulexternen wie Gemeinden oder Institutionen eine wichtige Rolle zukommt, wobei sich eine solche Öffnung gegen aussen auch in anderen Konzepten findet (siehe z.B. Service-Learning bei Seifert, Zentner & Nagy, 2012).

Wie diese Abgrenzungsversuche zeigen, ist personalisiertes Lernen kein klar umrissenes Konzept, sondern es weist verschiedene Überschneidungen mit bestehenden pädagogischen Konzepten individueller Förderung auf. Zudem scheint personalisiertes Lernen teilweise auch als ein umfassenderes Konzept verstanden zu werden, da es über den eigentlichen Unterricht hinausgeht. So steht personalisiertes Lernen gemäss Stebler et al. (2018) „für einen international verwendeten Sammelbegriff von Zielen, Prozessanforderungen und Maßnahmen, die sich auf die Gestaltung von fachlich und überfachlich ertragreichen Lernumgebungen unter Berücksichtigung individueller Lernvoraussetzungen und -bedürfnisse beziehen“ (S. 159). Holmes et al. (2018) sprechen in diesem Zusammenhang auch von einer Palette verschiedener

Lernexperimente, Unterrichtsansätze und schulischer Förderstrategien, welche auf die Lernbedürfnisse, Interessen, Ziele oder kulturellen Hintergründe jeder einzelnen Person reagieren wollen. Personalisiertes Lernen wird deshalb in der vorliegenden Arbeit auch nicht als ein klar abgrenzbares Konzept definiert, sondern als ein übergeordnetes, teilweise idealisiertes Label verstanden, das verschiedene Ansätze einschliesst. Diese Auffassung und auch die vorangehend beschriebenen Überlegungen, beispielsweise zur Bedeutung der Lehrperson, zeigen sich in den fünf nicht trennscharfen Dimensionen von Stebler et al. (2018), welche versucht haben, das Konzept aus pädagogisch-psychologischer Sicht zu ordnen (siehe auch Stebler et al., 2017):

1. *Unterrichtsangebote an die personalen Bildungs- und Lernvoraussetzungen von Lernenden und Lerngruppen anpassen:* Binnendifferenzierung, Individualisierung, adaptive Unterrichtsgestaltung, Anpassung von Bildungsangeboten an die Fähigkeiten der Lernenden, individuelle Förderung schwacher und starker Lernender.
2. *Personale und soziale Kompetenzen aufbauen; Schüler/innen in ihrer Persönlichkeit ganzheitlich fördern:* mehrdimensionales Wirkungsverständnis von Bildung; fachlicher und überfachlicher Kompetenzaufbau; kritisches Denken; Kultivierung von Dialogfähigkeit, Sozial- und Lernkompetenzen, Einstellungen und Haltungen.
3. *Selbstgesteuertes Lernen auf eigenen Wegen ermöglichen:* eigenständiges, als selbstwirksam erlebtes Lernen mit Autonomiespielräumen und Wahlmöglichkeiten bezüglich Themen, Lernwegen, Lernzeittaktung und Lernorten; Verfügbarkeit und Nutzung von Lernwerkzeugen.
4. *Kompetenzorientiertes Lernen zur persönlichen Sache machen:* Selbstverpflichtung zu Anstrengung und Übernahme von (Mit-)Verantwortung für zielerreichendes Lernen; Bereitschaft, sich an verbindlichen Kompetenzerwartungen und Gütemaßstäben zu messen.
5. *Als Lehrperson und Lerngemeinschaft bildend und unterstützend wirken:* ‚Ansteckung‘ (contagion), Lerndialog und Zusammenarbeit: als Lehrpersonen begeistern, zumuten, herausfordern; miteinander und voneinander lernen; ko-produktives, wechselseitiges Lernen an gemeinsamen Gegenständen und Aufgaben. (Stebler et al., 2018, S. 165, Hervorhebung im Original)

In diesem Definitionsansatz kommt unter anderem zum Ausdruck, dass nicht nur die Interaktion mit der Lehrperson, sondern auch der Austausch mit den Mitlernenden wichtig ist. Es geht somit nicht darum, dass die Lernenden nur allein für sich, sondern auch miteinander und voneinander lernen (siehe auch Kapitel 3.6). Ein weiterer Schwerpunkt personalisierter Lernkonzepte liegt gemäss diesen Dimensionen in der Kompetenzorientierung (siehe auch Bray & McClaskey, 2015; Pauli et al., 2017; Stebler et al., 2018). Dabei sollen sowohl fachliche wie auch überfachliche Kompetenzen aufgebaut werden. Fachliche Kompetenzen beinhalten fachspezifisches Wissen und die damit zusammenhängenden Fähigkeiten und Fertigkeiten. Überfachliche Kompetenzen sind hingegen über alle Fachbereiche hinweg von zentraler Bedeutung und helfen bei der Bewältigung einer grossen Bandbreite von inhaltlichen Aufgaben (siehe auch Reusser, 2014b). Überfachliche Kompetenzen können gemäss Lehrplan 21 sodann in personale Kompetenzen (Selbstreflexion, Selbstständigkeit, Eigenständigkeit), soziale Kompetenzen (Dialog-, Kooperations- und Konfliktfähigkeit, Umgang mit Vielfalt) und methodische

Kompetenzen (Sprachfähigkeit, Informationen nutzen, Probleme lösen) unterteilt werden (D-EDK, 2015; Roth, 1971; siehe für Kompetenzen auch Weinert, 2001).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass seit Jahrzehnten davon ausgegangen wird, dass pädagogische Konzepte der individuellen Förderung besondere Lerngelegenheiten für den Aufbau überfachlicher Kompetenzen darstellen. Aus theoretischer Sicht kann auch das personalisierte Lernen als vielversprechendes Konzept für den Aufbau fachlicher und insbesondere überfachlicher Kompetenzen erachtet werden. Der Aufbau von überfachlichen Kompetenzen wird unter anderem durch die Verschiebung der Urheberschaft für Lernprozesse von den Lehrenden auf die Lernenden angestrebt. Da den Lernenden in diesem Verständnis von Lehren und Lernen mehr Verantwortung und Eigenständigkeit bei der Planung, Steuerung, Überwachung und Evaluation des eigenen Lernens zugestanden wird und sie somit vermehrt über räumliche, zeitliche, inhaltliche und/oder methodische Dimensionen des Lernens (mit)entscheiden können, sollen die Schülerinnen und Schüler unter anderem lernen, sich selber Ziele zu setzen, diese während des Lernens und Problemlösens zu überwachen und am Schluss zu überprüfen, ob diese erreicht wurden (siehe auch Kapitel 3.5).

2.3 Wie wirksam ist personalisiertes Lernen?

Bisher liegen erst wenige empirische Studien vor, die sich explizit auf das Konzept des personalisierten Lernens beziehen. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass das Konzept wegen des Fehlens einer einheitlichen Definition, der Überschneidung mit anderen Konzepten und wegen der zum Teil sehr unterschiedlichen Umsetzungen in den Schulen schwierig zu untersuchen ist (siehe auch Kapitel 2.1, 2.2 und 2.4). Ausserdem sind die überfachlichen Kompetenzen, die mithilfe der verschiedenen Konzepte gefördert werden sollen (z.B. Selbstständigkeit, Problemlösen), schwierig zu messen.

In den wenigen vorliegenden Studien werden vor allem Oberflächenmerkmale des personalisierten Unterrichts untersucht; auf die Tiefenstrukturen mit ihren Merkmalen wie „transparenter Stoffaufbau, Verstehensklarheit, Klassenführung, kognitive Aktivierung, adaptive Lernunterstützung und lernförderliches Sozialklima“ (Reusser, 2016, S. 45) wird hingegen lediglich anhand von Fallbeschreibungen eingegangen (Stebler et al., 2018). Erste Untersuchungen zum personalisierten Lernen stammen von Waldrup et al. (2014), welche in Australien einen umfassenden Fragebogen entwickelt und validiert haben, um die Sicht der Schülerinnen und Schüler zu Dimensionen des personalisierten Lernens zu erfassen (siehe auch Prain et al.,

2013; Waldrup et al., 2016) oder von Sebba, Brown, Steward, Galton und James (2007), welche Komponenten personalisierten Lernens in britischen Schulen anhand von Fragebogen erforscht haben.

Zu den in Kapitel 2.2 beschriebenen verwandten Konzepten des personalisierten Lernens wie Individualisierung, Differenzierung, offener Unterricht und ELF liegen verschiedene Befunde zur Wirksamkeit vor. Im Folgenden werden zunächst Ergebnisse verschiedener Metaanalysen¹ und anschliessend einzelner Studien berichtet.

Die Metaanalyse von Bangert, Kulik und Kulik (1983) zu individualisiertem Unterricht auf der Sekundarstufe ergab eine durchschnittliche Effektstärke von $d=0.10$ für alle Fächer, in Mathematik lag sie jedoch nur bei $d=0.03$, was jeweils schwachen Effekten entspricht (zit. n. Lipowsky & Lotz, 2015; zur Interpretation von Effektstärken siehe z.B. Gold, 2015; Zierer, 2014). Die ebenfalls bereits etwas ältere, aber nach wie vor oft zitierte Metaanalyse zu offenen Unterrichtsformen von Giaconia und Hedges (1982) zeigt, dass Leistungen im traditionellen, lehrpersonenzentrierten Unterricht etwas besser gefördert werden als im offenen Unterricht und die Leistungen der Schülerinnen und Schüler im offenen Unterricht dementsprechend etwas tiefer ausfallen (z.B. Mathematik $d=-0.04$). Ebenfalls negative Effekte ($d=-0.07$) fand Horak (1981) in ihrer Metaanalyse zum individualisierten Unterricht in Mathematik, das heisst, auch hier wurde im individualisierten Unterricht insgesamt weniger gelernt als im traditionellen Unterricht (zit. n. Lipowsky & Lotz, 2015). Alfieri, Brooks, Aldrich und Tenenbaum (2010) haben in einer Metaanalyse die Effekte von direkter Instruktion mit entdeckendem Lernen ohne Lernunterstützung verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass unter den meisten Bedingungen die direkte Instruktion wirksamer war als das entdeckende Lernen ($d=-0.38$). Werden hingegen die Schülerinnen und Schüler beim entdeckenden Lernen unterstützt (z.B. Feedbacks oder Scaffolding), zeigen sich für das entdeckende Lernen positive Effekte ($d=0.30$). In der Meta-Metaanalyse von Hattie (2009, 2013) zeigten sich zu verschiedenen Konzepten folgende Effekte (in absteigender Reihenfolge): Das von Keller und Kollegen eingeführte PSI (siehe Kapitel 2.1) weist eine Effektstärke von $d=0.53$ auf, bei individualisiertem Unterricht

¹ Es muss beachtet werden, dass die hier referierten Metaanalysen zum Teil schon etwas älter sind und dementsprechend noch ältere Studien einbezogen haben. Zudem variieren die Effektstärken, welche die einzelnen Studien ermittelt hatten und in die Metaanalysen eingeflossen sind, teilweise erheblich (Lipowsky & Lotz, 2015). Ebenfalls berücksichtigt werden muss, dass in den Metaanalysen verschiedene Konzepte im Mittelpunkt standen (z.B. Individualisierung oder Differenzierung), welche mithilfe von unterschiedlichen methodologischen Zugängen, Stichproben, Erhebungsverfahren und Operationalisierungen untersucht wurden und sich deshalb nicht ohne Weiteres aufeinander beziehen lassen (Häcker, 2017).

liegt sie bei $d=0.23$ und bei binnendifferenziertem Unterricht bei $d=0.16$. Offener Unterricht hat gegenüber traditionellem Unterricht gemäss Hattie mit $d=0.01$ einen minimalen Effekt. Die direkte Instruktion als Gegenpol zu individualisierenden und offenen Unterrichtsformen weist mit $d=0.59$ eine höhere Effektstärke als die vorangehend genannten Konzepte auf und scheint daher den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern günstiger zu beeinflussen.

In der Untersuchung von Petillon und Flor (1997) zeigten sich in einem allgemeinen Schulleistungstest keine signifikanten Unterschiede in den Leistungen zwischen Primarschulkindern, welche in einem differenzierten Unterricht lernten und Primarschulkindern, welche herkömmlichen Unterricht besuchten. Pauli et al. (2003) haben traditionellen sowie ELF-Unterricht verglichen (Mathematik, 8. Klasse). Sie konnten ebenfalls keine Unterschiede in Bezug auf Fachleistungen in Mathematik, Interesse an Mathematik oder mathematikbezogenes Selbstvertrauen nachweisen (siehe auch Pauli et al., 2010). Auch auf Gymnasialstufe gibt es Studien, die keine Unterschiede bezüglich fachlicher Leistung finden: Eder (1999) hat in seiner Evaluation von offenem Lernen im Gymnasium keine Unterschiede im Gesamtwert der Leistungstests nachweisen können (zit. n. Altrichter, Trautmann, Wischer, Sommerauer & Doppler, 2009). Unterschiede, die auf Nachteile des Wochenplanunterrichts hindeuten, haben hingegen Niggli und Kersten (1999) gefunden. In der Sekundarstufe hatte der Wochenplan negative Wirkungen auf Leistungen im Bereich „Arithmetik und Algebra“ (eher Routineaufgaben). Als aufschlussreich erwies sich diesbezüglich, dass die Leistungen im Teilstest „Geometrie“ (eher Anwendung von mathematischen Problemlösefähigkeiten) weder vom Lehrverhalten noch vom Wochenplanunterricht signifikant beeinflusst worden waren. Die Autoren vermuten, dass die Lernenden beim Einüben formaler Grundprozeduren stärker auf die äussere Anleitung und Führung durch die Lehrpersonen angewiesen sind. Es scheint deshalb wichtig, dass die Lehrpersonen abwägen, welche Arbeitsform für welche Ziele und für welche Lernenden am ehesten geeignet sind. Zudem müssen die Wochenpläne gewissen qualitativen Ansprüchen genügen. Ebenfalls über einen negativen Zusammenhang zwischen schülerorientierten Unterrichtsmethoden sowie binnendifferenzierten Massnahmen einerseits und fachlichen Lernfortschritten andererseits berichtete Gruehn (2000) im Kontext von Naturwissenschaften und Mathematik (zit. n. Niggli, 2013).

Insgesamt zeigt die Forschungsliteratur in Bezug auf individualisierten, differenzierten, offenen oder erweiterten Unterricht, dass dieser hinsichtlich der fachlichen Leistung nicht wirksamer und zum Teil sogar weniger wirksam ist als traditioneller Unterricht. Dies könnte gemäss

Reusser (2016) an einer ungenügenden Umsetzung der Konzepte auf der tiefenstrukturellen Ebene liegen. Gemäss Lipowsky (2002) spielt für die Wirkung nicht die Unterrichtsform die entscheidende Rolle, sondern es kommt auf die spezifische Realisierung an. Für die erfolgreiche Umsetzung von Formen des individualisierenden Unterrichts müssen verschiedene Merkmale beachtet werden (Bohl, 2017; WissGem, 2016): Beispielsweise soll selbstständiges Lernen in einem verbindlichen und klar geregelten Rahmen erfolgen, das heisst, eine klare Strukturierung bezüglich Material, Regeln, Raum oder Zeit ist wichtig. Gleichzeitig sollen den Schülerinnen und Schülern auch verschiedene Freiheitsgrade gegeben oder kognitiv aktivierende Aufgaben bereitgestellt werden. Diese Merkmale beziehen sich auf verschiedene Dimensionen qualitätsvollen Unterrichts (siehe z.B. Hess & Lipowsky, 2016; Klieme, Lipowsky, Rakoczy & Ratzka, 2006; Kunter & Ewald, 2016; Kunter & Trautwein, 2013; Kunter & Voss, 2011), vor allem auf eine effiziente Klassenführung und die kognitive Aktivierung der Lernenden.

Werden die oben berichteten empirischen Ergebnisse zur fachlichen Leistung differenzierter betrachtet, zeigt die Befundlage, dass stärkere Lernende mehr von offenen Unterrichtsformen profitieren als schwächere Lernende (Lipowsky & Lotz, 2015). Laut Lipowsky und Lotz (2015) ist dies unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Leistungstärkeren die Lernzeit in offenen Unterrichtsformen aufgabenbezogener nutzen als Lernende mit ungünstigeren Voraussetzungen. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten Hahn, Rohlf, Wacker und Bohl (2016). Sie konnten zeigen, dass Lernende aus verschiedenen Leistungsniveaus in Inputstunden, die tendenziell traditionellem Unterricht entsprechen, und in den individuellen Lernzeitstunden unterschiedlich viel aktive Lernzeit aufwiesen. Die höchste Auseinandersetzung mit dem Unterrichtsgegenstand zeigten die leistungstärkeren Lernenden in den nicht fachbezogenen individuellen Lernzeitstunden, Lernende aus dem unteren Leistungsniveau wiesen hingegen in Inputstunden am meisten aktive Lernzeit auf. Gemäss Niggli und Kersten (1999) sind möglicherweise Kinder mit ungünstigen Lernvoraussetzungen in individualisierten Settings durch den Planungsaufwand überfordert (siehe auch „Planerfüllung“ bei Huf & Breidenstein, 2009). Der Planungsaufwand müsste reduziert werden und die Phasen des individuellen Lernens müssten angemessen durch die Lehrperson begleitet werden. Eine weitere Erklärung für die Unterschiede findet sich bei Lipowsky und Lotz (2015): Erfolgsorientierte Schülerinnen und Schüler wählen wegen ihrer motivationalen Orientierung eher mittelschwere Aufgaben aus, welche neue Herausforderungen bieten, und können so daran wachsen. Misserfolgsorientierte Lernende, das heisst Lernende, welche Misserfolg vermeiden möchten, suchen sich hingegen

eher zu einfache bzw. zu schwere Aufgaben aus und setzen sich zu unrealistische Ziele, und können dementsprechend ihre Fähigkeiten kaum bei der Bearbeitung dieser Aufgaben weiterentwickeln. Im individualisierten, differenzierten, offenen oder erweiterten Unterricht werden die interindividuellen Leistungsunterschiede somit insgesamt nicht verringert, sondern eher vergrößert (Häcker, 2017; Lipowsky & Lotz, 2015; Martens, 2018).

Die vorangehend dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf fachliche Leistungen. Anders sieht die Befundlage hinsichtlich überfachlicher und nicht kognitiver Ziele aus: Die Metaanalyse von Giaconia und Hedges (1982) zeigt, dass offene Unterrichtsarrangements bei Zielen wie Interesse, Motivation, Kreativität, Einstellungen zum Schullernen, Zufriedenheit oder Selbstüberzeugungen dem traditionellen, lehrpersonenzentrierten Unterricht überlegen sind (siehe auch Bohl et al., 2011; Lipowsky & Lotz, 2015). Über höheres Wohlbefinden berichteten auch die Lernenden der 8. Klasse im Unterricht mit ELF in der Studie von Pauli et al. (2003). Eder (1999) konnte ebenfalls ein günstigeres Sozialklima und ein positiveres Befinden der Schülerinnen und Schüler im Unterricht mit offenem Lernen am Gymnasium nachweisen (zit. n. Altrichter et al., 2009). Niggli und Kersten (1999) konnten hingegen keine nennenswerten Zusammenhänge zwischen Wochenplanunterricht und motivationalen Orientierungen, Kontrollüberzeugungen und Lerntechniken finden. Trotzdem scheint es, dass bei nicht leistungsbezogenen Bildungszielen insgesamt ein leichter Vorteil individualisierter, differenzierter, offener oder erweiterter Unterrichtsformen vorliegt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Überblick über verschiedene empirische Befunde zum personalisierten Lernen und insbesondere zu den verwandten Konzepten zeigt, dass diese Unterrichtsformen hinsichtlich der fachlichen Leistung nicht wirksamer und zum Teil sogar weniger wirksam sind als traditioneller Unterricht. Hingegen scheint ein solcher Unterricht bei nicht leistungsbezogenen Bildungszielen leicht effektiver zu sein als traditionelle Unterrichtsformen. Zum Problemlösen, welches in der vorliegenden Arbeit besonders interessiert, liegen bislang keine der Autorin bekannten empirischen Studien vor. Es ist jedoch durchaus denkbar, dass die Fähigkeit des Problemlösens in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten ähnlich gut wie andere nicht leistungsbezogene Bildungsziele (v.a. Interesse, Motivation oder Kreativität) gefördert werden kann. Dafür spricht auch, dass Problemlösen unter anderem motivationale oder kreative Aspekte beinhaltet (siehe auch Kapitel 3.5).

2.4 Wie setzen perLen-Schulen personalisiertes Lernen um?

In der Deutschschweiz haben in den letzten Jahren zahlreiche Schulen aus unterschiedlichen Beweggründen aus der Praxis heraus (Bottom-up-Prozesse) verschiedene Reformideen entwickelt, „in denen in variablen Konfigurationen und Akzentsetzungen Dimensionen personalisierten Lernens verwirklicht werden“ (Stebler, 2019, S. 24). Im Folgenden wird beschrieben, wie diese Reformideen in den verschiedenen perLen-Schulen umgesetzt werden (siehe z.B. auch Pauli & Schmid, 2014; Stebler et al., 2018). Dazu werden auch Informationen aus Gesprächen mit Schulleitungen und Lehrpersonen² berücksichtigt.

Einige Schulen setzen innerhalb der klassischen räumlichen und zeitlichen Formen und Strukturen der Schul- und Unterrichtsorganisation vermehrt auf individualisierende und kooperative Formen des Lernens und der Lernunterstützung (siehe Tiefenstruktur von Unterricht, z.B. nach Reusser, 2008, 2009, 2016). In anderen Schulen gibt es Veränderungen in der Sicht- bzw. Oberflächenstruktur (siehe dazu auch Oser & Baeriswyl, 2001). Wie in der Einleitung bereits festgehalten wurde, weichen einige dieser Schulen in ihrer Lern- und Unterrichtsarchitektur deutlich von den klassischen Formen der Unterrichts- und Lernorganisation ab, indem zum Beispiel der Unterricht zu einem grossen Teil in jahrgangsübergreifenden und/oder niveaudurchmischten Lerngruppen stattfindet oder der Lektionentakt aufgehoben wurde. Beispielsweise werden Inhalte in homogenen Kleingruppen vermittelt (z.B. sogenannte Inputlektionen, Fachateliers etc.), danach werden die Inhalte in Phasen selbstständigen Lernens (z.B. sogenannte Lernlandschaften, Lernateliers, Homebases, Office etc.) vertieft und eingeübt. Konkret könnte eine Lernlandschaft wie folgt organisiert sein: Jede Schülerin und jeder Schüler hat in der alters- und/oder niveauheterogenen Lernlandschaft ein Pult, an welchem in Stillarbeit am individuellen Programm gearbeitet werden kann. Bei Fragen steht mindestens eine Lehrperson zur Verfügung. Entweder können die Schülerinnen und Schüler bei Problemen zum Arbeitsplatz der Lehrperson gehen und dort Hilfe holen oder sie zeigen an, zum Beispiel indem ein symbolischer Rettungsring oder eine Wäscheklammer aufgehängt wird, dass sie Hilfe benötigen. Sobald die Lehrperson Zeit hat, kommt sie beim individuellen Arbeitsplatz vorbei und hilft den betreffenden Lernenden, welche in der Wartezeit andere Aufträge erledigen können

² Es handelt sich um Interviews mit Lehrpersonen und Schulleitungen aus dem perLen-Projekt (Zeitpunkt t1 und t3, siehe Kapitel 5.2) sowie um Gespräche an einer Abschlussveranstaltung für Lehrpersonen, welche am perLen-Projekt teilgenommen hatten (Universität Zürich, 7. September 2016).

(siehe auch André & Halbheer, 2017; Maag Merki, 2018). Bei Fragen oder bei gewissen Aufträgen können die Lernenden auch mit Mitschülerinnen und Mitschülern zusammenarbeiten, wobei die Aufgaben im Gang (z.B. im sogenannten Palavrium) oder in speziellen Räumen (z.B. Gruppenräume, ausrangierte Gondeln etc.) besprochen werden können.

In vielen der Schulen werden ausserdem regelmässig Coachinggespräche im Sinne von Lerncoachings durchgeführt (siehe auch Pauli, Reusser & Stebler, 2018; Stoller & Preisig, 2014). Jede Schülerin und jeder Schüler trifft sich zum Beispiel wöchentlich mit dem persönlichen Coach für eine Standortbestimmung. Dabei wird gemeinsam auf die vergangene Zeitspanne zurückgeblickt und es werden für die kommende Woche neue Lernziele festgelegt. Ausserdem werden in solchen Gesprächen aktuelle Themen besprochen wie die Berufswahl. Grundlage für diese Coachinggespräche bilden unter anderem schriftliche Dokumentationen der individuellen Lernwege und Lernstände (Pauli et al., 2018). So setzen viele der perLen-Schulen sogenannte Lernjournale, Lerntagebücher, Lernbücher, Agenden oder Portfolios ein, um die Lernenden dazu anzuregen, über ihre Lern- und Arbeitsprozesse sowie über ihre Lernresultate nachzudenken (Maag Merki, 2018). Diese regelmässigen schriftlichen Reflexionen sollen die Lernleistungen sichtbar machen und den Aufbau kognitiver und metakognitiver Lernstrategien unterstützen. Es muss hier jedoch berücksichtigt werden, dass solche Reflexionen zu Routinen verkommen können und die Lernenden anstatt angemessen zu reflektieren sich erst retrospektiv Strategien oder Motive für ihr Handeln überlegen, um die Angaben entsprechend den gewünschten Anforderungen auszufüllen (siehe auch Rabenstein, 2016).

Für den Aufbau der Problemlösefähigkeit werden in den perLen-Schulen verschiedene Angebote bereitgestellt: Zum Beispiel werden im Mathematikunterricht Lerngelegenheiten geschaffen, indem ein Problem in den Raum gestellt wird (z.B. Schule B). In anderen Schulen werden Problemlösestrategien und Lerntechniken explizit eingeübt, beispielsweise anhand von Lernstrategiekarten (z.B. Schule M). Es werden auch spezielle Zeitgefässe angeboten, in welchen die Lernenden gezielt gemeinsam über Strategien reflektieren und sich darüber austauschen können (z.B. Schule A). Die Lernenden werden dabei auch ermutigt, unterschiedliche Lern- und Problemlösestrategien auszuprobieren (z.B. Schule L). Die Lehrpersonen bauen gemäss ihren Aussagen nicht nur Gelegenheiten zum individuellen Problemlösen im Unterricht ein, sondern auch kooperative Lernformen, damit die Schülerinnen und Schüler lernen, gemeinsam ein Problem zu lösen. Für solche gemeinsamen Problemlöseprozesse verfügen diese Schulen auch über das räumliche Potenzial (z.B. viele Gruppenräume).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Einführung und die Umsetzung personalisierter Lernkonzepte verschiedene Konsequenzen für die Lehrenden und Lernenden hat: Lehrpersonen erhalten in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten neue Aufgabenbereiche wie Coaching von Lernenden. Zudem ändert sich auch die Praxis der Leistungsbeurteilung, da Lehrpersonen ihre Lernenden beispielsweise anhand von Kompetenzrastern einschätzen müssen (siehe auch Clarke, 2014; Müller, 2014). Aber auch die Rolle der Schülerinnen und Schüler verändert sich, da ihnen mehr Selbstständigkeit, Selbstorganisation und Wahlfreiheit zugestanden werden als in traditionellem Unterricht. Dies soll die Lernenden unter anderem dazu befähigen, zu selbstständigen, selbstregulierten Lernenden zu werden (siehe auch Kapitel 2.2). Darüber hinaus werden die Lernenden angehalten, regelmässig ihre Lern- und Arbeitsprozesse zu reflektieren und zu verschriftlichen. Auf einer übergeordneten Ebene entstehen Veränderungen in der Unterrichtsstruktur (u.a. keine Lektionen, keine Klassenverbände mehr) wie auch in der Schulhausarchitektur (u.a. grosse Räume für Lernlandschaften, mehrere kleine Gruppenräume statt der herkömmlichen Klassenzimmer).

Diese Veränderungen, wie zum Beispiel das Abweichen von den klassischen Formen der Unterrichts- und Lernorganisation, bringen verschiedenes Potenzial zum Erwerb unterschiedlicher überfachlicher Kompetenzen mit sich: Durch das Aufheben des klassischen Lektionentaktes können die Schülerinnen und Schüler zum Beispiel über einen längeren Zeitraum selbstständig und selbstreguliert an einem individuellen Wochenplan oder gemeinsam an einem grösseren Projekt arbeiten. Dazu müssen sie ihr Vorgehen über mehrere Stunden planen und sich zum Beispiel täglich Teilziele setzen, sich je nach Auftrag mit Mitlernenden absprechen und koordinieren sowie im Anschluss ihr Vorgehen reflektieren. Die Lehrpersonen können die Schülerinnen und Schüler dabei zum Beispiel im Sinne eines Coachings unterstützen (siehe auch Kapitel 2.2). Insgesamt können somit personalisierte Lernkonzepte das Potenzial zum Erwerb verschiedener überfachlicher Fähigkeiten bieten (personale, soziale und methodische Kompetenzen), gleichzeitig stellen sie unter anderem durch die Verschiebung der Verantwortung für das eigene Lernen hohe Anforderungen an die Schülerinnen und Schüler (siehe auch Kapitel 3.7).

3 Problemlösen – Problembegriff, psychologische Prozessmerkmale und personale Voraussetzungen

Die vorliegende Forschungsarbeit interessiert sich insbesondere für das Problemlösen in der Schule und im Speziellen im Mathematikunterricht. In Kapitel 3.1 wird zunächst beschrieben, was aus einer problemspsychologischen Sicht unter einem Problem verstanden wird, während in Kapitel 3.2 dargelegt wird, wie sich Probleme unter anderem aus mathematikdidaktischer Sicht typologisieren lassen. Anschliessend wird in Kapitel 3.3 darauf eingegangen, was unter Problemlösen verstanden wird. In Kapitel 3.4 werden verschiedene Problemlösemodelle vorgestellt. Damit der Problemlöseprozess gelingen kann, braucht es verschiedene individuelle Voraussetzungen und Ressourcen aufseiten der problemlösenden Person. Diese werden in Kapitel 3.5 beschrieben. Da Probleme nicht nur allein, sondern auch gemeinsam gelöst werden können, geht Kapitel 3.6 auf das gemeinsame Problemlösen ein. Diese verschiedenen theoretischen Ausführungen werden jeweils an einem konkreten Beispiel, der mathematischen Problemlöseaufgabe „Verpackungen“, verdeutlicht. In Kapitel 3.7 wird dargelegt, welche besonderen Lerngelegenheiten personalisiertes Lernen für den Aufbau von Problemlösefähigkeiten bietet.

3.1 Was ist ein Problem?

In diesem Kapitel wird zunächst erläutert, was in den verschiedenen Denktraditionen unter einem Problem verstanden wird. Anschliessend wird dargestellt, wie sich Probleme von Aufgaben abgrenzen lassen, wobei besonders auf Probleme und Aufgaben im schulischen Bereich eingegangen wird. Abschliessend wird zur Illustration der theoretischen Ausführungen das konkrete Problem „Verpackungen“ vorgestellt.

3.1.1 Probleme

In einem behavioristischen Verständnis (z.B. Skinner, 1971; Thorndike, 1922) besteht ein Problem dann, wenn „die dominante Reaktion auf einen Reiz oder auf eine Reizkonfiguration nicht zum gewünschten Resultat“ (Hussy, 1984, S. 115) führt. Die Gestalttheorie (z.B. Köhler, 1921; Wertheimer, 1964) hingegen geht davon aus, dass es sich bei einem Problem um eine defekte Gestalt handelt, welche im Menschen Spannung erzeugt (Funke, 2003, 2006a). Aufgrund dieser Spannung versucht die Person, eine Lösung zu suchen, um die defekte Gestalt in eine gute

Gestalt zu transformieren. Duncker (1935/1974), ebenfalls ein Vertreter der Gestaltpsychologie, beschrieb ein Problem und seine Entstehung wie folgt:

Ein ‚Problem‘ entsteht z.B. dann, wenn ein Lebewesen ein Ziel hat und nicht ‚weiß‘, wie es dieses Ziel erreichen soll. Wo immer der gegebene Zustand sich nicht durch bloßes Handeln (Ausführen selbstverständlicher Operationen) in den erstrebten Zustand überführen läßt, wird das Denken auf den Plan gerufen. Ihm obliegt es, ein vermittelndes Handeln allererst zu konzipieren. (Duncker, 1935/1974, S. 1)

Seit der kognitiven Wende wird das menschliche Problemlösen als Informationsverarbeitung aufgefasst (Gürtler, Perels, Schmitz & Bruder, 2002). Die Informationsverarbeitungstheorie geht davon aus, dass ein Problem besteht, wenn der Ausgangszustand wegen fehlender Operatoren nicht in den Zielzustand transformiert werden kann (Hussy, 1984). Problemlösen wird dabei als Suche in einem Problemraum verstanden, wobei der Problemraum jeden möglichen Zustand des Problems enthält. Wichtige Autoren der Informationsverarbeitungstheorie sind Newell und Simon (1972), welche das Computerprogramm General Problem Solver (GPS) entwickelt haben. Dieser Algorithmus ist bei jedem gut definierten Problem anwendbar (siehe auch Kapitel 3.4.1). Schwachstelle des GPS ist jedoch, dass er über kein Fachwissen verfügt (siehe auch Kapitel 3.5.1).

Eine aktuellere Definition eines Problems, die auf frühere zurückgreift, stammt vom Programme for International Student Assessment (PISA). Im Rahmen dieser gross angelegten Studie wurde 2003 und 2012 die individuelle und 2015 die kollaborative Problemlösekompetenz erhoben (z.B. Jude & Klieme, 2010; OECD, 2004, 2017e; Prenzel, 2006). Gemäss PISA existiert ein Problem dann, wenn eine Person ein Ziel hat, jedoch nicht unmittelbar über eine Lösung verfügt, um dieses Ziel zu erreichen (OECD, 2017d).

Wie obige Ausführungen zeigen, wurden Probleme im Laufe der Geschichte in den verschiedenen Denktraditionen unterschiedlich konzeptualisiert. Betrachtet man die verschiedenen Ansätze und Definitionen, liegt der kleinste gemeinsame Nenner in drei Komponenten, welche ein Problem charakterisieren:

1. Ein unerwünschter Anfangszustand (Ist-Zustand),
2. ein gedanklich vorweggenommener erwünschter Zielzustand (Soll-Zustand),
3. eine Barriere, welche die Überführung bzw. Transformation des Anfangszustands in den Zielzustand verhindert.

Bei Problemen fehlt somit ein Routineverfahren, um vom Anfangs- zum Zielzustand zu gelangen. Einige Autorinnen und Autoren sprechen statt von „Barriere“ (Dörner, 1976, S. 10) von „Hindernis“ (Arbinger, 1997, S. 1; Betsch et al., 2011, S. 137), „Diskrepanz“ (Bransford & Stein, 1993, S. 7) oder „fehlenden Verhaltensweisen“ (Betsch et al., 2011, S. 3).

Diese allgemeine Definition mit den drei Komponenten passt zu Problemen aus allen Fachgebieten (Mayer, 1977; Mayer & Wittrock, 2006). Beispielsweise kann bei mathematischen Problemen der Anfangszustand eine Voraussetzung oder eine Prämisse, die erlaubten Transformationen Axiome oder Regeln und der Zielzustand eine Behauptung oder eine Konklusion sein (Klix, 1971; Tietze, Klika & Wolpers, 1982).

3.1.2 Aufgaben

In der Schule und insbesondere im Mathematikunterricht wird neben dem Begriff *Problem* oft der Begriff *Aufgabe* verwendet. Auch Aufgaben zeichnen sich durch einen Ist-Zustand und einen gewünschten Soll-Zustand aus (Tobinski, 2017), jedoch unterscheiden sich Aufgaben und Probleme bezüglich der zur Lösung benötigten kognitiven Strukturen. Bei Aufgaben sind die geistigen Anforderungen für die Bewältigung bekannt und es braucht gemäss Edelmann und Wittmann (2012) reproduktives Denken, da bereits gelernt wurde, wie die Aufgabe zu lösen ist (siehe auch Dörner, 1976; Mayer, 1998). Beim Lösen von Problemen werden im Gegensatz dazu laut Edelmann und Wittmann Problemlöseverfahren und produktives Denken benötigt, da Neues geschaffen wird. Ob etwas als Problem oder als Aufgabe wahrgenommen wird, hängt dabei stark von den Vorerfahrungen und dem Vorwissen (siehe auch Kapitel 3.5.1) der jeweiligen Person ab (Dörner, 1976). Probleme können somit nicht unabhängig von den Problemlösenden betrachtet werden; ein Problem „an sich“ gibt es nicht, denn die gleiche Situation kann für jemanden ein Problem (z.B. bei wenig Vorwissen) und für eine andere Person eine Aufgabe (z.B. dank Vorerfahrungen mit ähnlichen Situationen) darstellen. Deshalb kann auch von einer personenbezogenen Barriere gesprochen werden (Zimmermann, 1991).

In der Unterrichtspraxis werden die Begriffe *Problem* und *Aufgabe* meist austauschbar verwendet. Im Mathematikunterricht werden beispielsweise unter Problemen oft „Aufgabenstellungen schlechthin, textlich eingekleidete Aufgaben, offene Aufgaben jeglicher Art oder (schwierige) Anforderungen in realen fächerübergreifenden Situationen“ (Heinrich, Bruder & Bauer, 2015, S. 281) verstanden. Dieses weite Verständnis des Begriffs *Problem* spiegelt sich auch im englischen Begriff „Problem“, da hier unter Problemen auch einfache mathematische Aufgaben verstanden werden (Neubrand, 2002). Im deutschen Sprachgebrauch und aus psychologischer Sicht wird der Begriff, wie oben ausgeführt, aber häufig enger gefasst werden. Auch bei mathematischen Problemen liegt eine personenbezogene Barriere zwischen dem Anfangs- und dem Zielzustand vor, welche überwunden werden muss, und im Gegensatz zu Routineaufgaben sind keine vertrauten Lösungsmuster vorhanden.

Probleme im schulischen Bereich unterscheiden sich insofern von „echten“ Problemen, als sie von der Lehrperson mit bestimmten Absichten ausgewählt oder erstellt wurden, den Lernenden vorgelegt und von diesen gelöst werden müssen. Diese Art von Problemen beinhaltet somit in der Regel fachliches und lernpsychologisches Potenzial, da Probleme einerseits Ausgangspunkt für verständnisorientierten Wissenserwerb darstellen können („Lernen durch Problemlösen“) und andererseits dem Aufbau der überfachlichen Problemlösekompetenz dienen („Problemlösen lernen“).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Probleme je nach Denktradition unterschiedlich definiert werden. Den verschiedenen Definitionen ist gemeinsam, dass sich ein Problem durch (1) einen unerwünschten Anfangszustand, (2) einen gedanklich vorweggenommenen erwünschten Zielzustand und (3) eine personenbezogene Barriere, welche die Überführung des Anfangszustands in den Zielzustand verhindert, auszeichnet. Im Gegensatz dazu besteht bei einer Aufgabe keine Barriere zwischen Anfangs- und Zielzustand, da zum Lösen auf vertraute Lösungsmuster zurückgegriffen werden kann. Zentral ist, dass Probleme nicht unabhängig von den Problemlösenden betrachtet werden können, denn ob etwas als Problem oder als Aufgabe wahrgenommen wird, hängt unter anderem vom Vorwissen und den Vorerfahrungen ab.

3.1.3 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit): Aufgabenstellung

Im Folgenden wird zur Illustration das Problem „Verpackungen“ vorgestellt. Dieses stammt ursprünglich aus dem Performance Assessment von TIMSS 1995 (siehe auch Kapitel 5.1) und wurde für Siebtklässlerinnen und Siebtklässler entworfen (siehe Abbildung 1).


	<p>Verpackungen</p> <p>In diese Schachtel passen genau vier Tischtennisbälle. Es können aber auch andere Formen von Schachteln hergestellt werden, in die ebenfalls genau vier Bälle passen.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Erfinde drei weitere Schachteln für vier Tischtennisbälle! 2. Fertige nun für jede Schachtel eine Zeichnung des Faltplans an. 3. Wähle EINE der Schachteln aus, die du gezeichnet hast. Verwende ein Stück dickes Papier, um den Faltpfad dieser Schachtel herzustellen. Stelle den Faltpfad in der richtigen Grösse her. Wenn man die Schachtel falten würde, müssten die vier Tischtennisbälle genau hineinpassen. 4. Berechne nun für alle drei Schachteln in der Originalgrösse a. die Oberfläche und b. das Volumen. Notiere jeweils deinen Lösungsweg!
---	--

Abb. 1: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) in Anlehnung an Harmon et al. (1997)

Vorgegeben ist eine Schachtel ohne Deckel mit vier Tischtennisbällen (Ausgangszustand). In Aufgabe 1 müssen drei weitere, sich von der Beispielperpackung unterscheidende Schachteln gezeichnet werden, in welche ebenfalls genau vier Bälle passen sollen (Zielzustand). Weiter

müssen in Aufgabe 2 für die drei Schachteln Faltpläne angefertigt werden, und in Aufgabe 3 muss ein Faltpplan zusätzlich in Originalgrösse hergestellt werden. Zudem müssen in Aufgabe 4 jeweils Oberfläche und Volumen der Schachteln berechnet werden. Um die Barriere zu überwinden (siehe auch Kapitel 3.1.1), braucht es vor allem räumliches Vorstellungsvermögen, da drei verschiedene dreidimensionale Schachteln gefunden und anschliessend durch eine Transformation in eine zweidimensionale Zeichnung (Aufgabe 1) und einen zweidimensionalen Faltpplan (Aufgaben 2 und 3) überführt werden müssen (siehe auch Garden, 1999; Leibundgut, 1996). Für Aufgabe 3 braucht es zusätzlich Wissen zur Grösse von Tischtennisbällen, damit ein Faltpplan in Originalgrösse hergestellt werden kann. In der Aufgabenstellung wird nicht verlangt, dass die Schachtel auch tatsächlich gefaltet wird (siehe auch Konjunktiv in der Aufgabenstellung: „Wenn man die Schachtel falten *würde*, müssten [...]“), sondern das Herstellen des Faltpplans in Originalgrösse reicht. Je nach Vorwissen (z.B. zum Zeichnen von geometrischen Körpern oder Berechnen der Oberfläche und des Volumens) und Vorerfahrung (z.B. mit ähnlichen Aufgaben) wird die Problemlöseaufgabe eher als Problem oder eher als Aufgabe wahrgenommen (siehe auch Kapitel 3.5.1).

3.2 Welche Typen von Problemen gibt es?

In diesem Kapitel wird erläutert, wie bei Problemen die Barrieren zwischen Anfangs- und gewünschtem Zielzustand aussehen können (siehe auch Kapitel 3.1) und welche Typen von Problemen anhand der Barriere, aber auch anhand anderer Merkmale, in der Literatur unterschieden werden. Gemäss Polya (1981) hilft das Wissen um den Problemtyp beim Lösen eines Problems, da dieser einen Hinweis zum Lösungstyp geben kann (siehe auch Kapitel 3.3). Ausserdem wird bestimmt, um welchen Problemtyp es sich bei dem in Kapitel 3.1.3 vorgestellten Verpackungsproblem handelt.

3.2.1 Problemtypen allgemein

Probleme können hinsichtlich verschiedener Merkmale eingeordnet werden. Eine gängige Unterscheidung von Problemen ist diejenige in Well-defined- und Ill-defined-Probleme (McCarthy, 1956) bzw. in offene und geschlossene Probleme (z.B. Dörner, 1976; Hussy, 1984). Ob ein Problem wohldefiniert oder schlecht definiert ist, hängt von der Klarheit der Mittel und Ziele ab. Bei einem schlecht definierten Problem ist unklar, worin dieses genau besteht, welche Handlungen zur Lösung erforderlich sind und wann es vollständig gelöst ist. Im Gegensatz dazu sind bei wohldefinierten Problemen Ausgangs- und Zielzustand sowie die einsetzbaren

Hilfsmittel klar beschrieben. Dörner (1976) hat anhand dieser beiden dichotom geprägten Dimensionen, Bekanntheitsgrad der Mittel und Klarheit der Zielkriterien, ein Vierfelderschema konstruiert und so verschiedene Barrieretypen bestimmt (siehe Abbildung 2).

		Klarheit der Zielkriterien	
		Hoch	Gering
Bekanntheit der Mittel	Hoch	Interpolationsbarriere	Dialektische Barriere
	Gering	Synthesebarriere	Dialektische Barriere und Synthesebarriere

Abb. 2: Klassifikation von Barrieretypen in Problemen nach Dörner (1976, S. 14)

Bei der Interpolationsbarriere sind gemäss Dörner zwar Mittel und Ziele bekannt, es fehlt aber die richtige zeitlich-räumliche Aneinanderreihung der erforderlichen Schritte. Die Anforderung besteht darin, die richtigen Zusammenhänge und Übergänge herzustellen (siehe auch Greeno & Simon, 1988). Auch bei der Synthesebarriere sind Anfangs- und Endzustand bekannt, es können jedoch nicht einfach bekannte Operationen kombiniert werden, da wichtige Einzeloperationen noch unbekannt sind. Ist hingegen der Zielzustand unbekannt, liegt laut dem Autor eine dialektische Barriere vor. Dörner (1976) spricht von „dialektisch“, weil „die Lösung solcher Probleme meist in einem dialektischen Prozeß gefunden wird, in dem ein Vorschlag oder Entwurf für den Zielzustand auf äußere Widersprüche ... oder innere Widersprüche ... überprüft und entsprechend verändert wird“ (S. 13). Sind die Zielkriterien sowie die Mittel nicht bekannt, sind gemäss Dörner sowohl eine dialektische Barriere als auch eine Synthesebarriere vorhanden. Probleme weisen nicht notwendigerweise nur eine Barriere auf, sondern gerade bei komplexen Problemen können alle Barrieretypen gleichzeitig oder als Mischformen auftreten.

Aebli (1981, 2011) unterscheidet zwischen Problemen mit Lücke, Problemen mit Widerspruch und Problemen mit unnötiger Komplikation. Bei Problemen mit Lücke besteht die Barriere aus der Lücke zwischen den verfügbaren Mitteln und dem Ziel, welche ausgefüllt werden muss. Dieser Problemtyp lässt sich weiter in Interpolations- und Gestaltungsprobleme unterteilen (siehe auch Dörner, 1976). Bei Ersteren müssen gemäss Aebli Transformationen und/oder neue Verknüpfungen vorgenommen werden, bei Gestaltungsproblemen nur Verknüpfungen. Da Gestaltungsprobleme mehr Spielraum bieten, sind sie in der Regel auch anspruchsvoller (Schukajlow, 2011). Bei Problemen mit Widerspruch liegen laut Aebli verschiedene, sich widersprechende Aussagen über den gleichen Tatbestand vor. Bei Problemen mit unnötiger Komplikation schliesslich ist der Ausgangszustand unübersichtlich und kompliziert.

Eine weit verbreitete Unterscheidung von Problemen ist auch diejenige in einfache und komplexe Probleme. Einfache Probleme verfügen über einen eindeutigen Anfangs- und Zielzustand und damit verbunden über einen wohldefinierten Lösungsraum (z.B. Turm von Hanoi). Komplexe Probleme zeichnen sich hingegen gemäss Funke (2006b) neben Komplexität durch Vernetztheit, Dynamik, Intransparenz und Polytelie aus. Auch wenn die Bezeichnungen *einfaches Problem* und *komplexes Problem* unterschiedliche Schwierigkeitsstufen suggerieren, ist dies nicht der Fall: Einfache Probleme sind nicht einfacher zu lösen, sondern wurden in Abgrenzung zu komplexen Problemen so benannt (Öllinger & Knoblich, 2006; Tobinski, 2017). Probleme können auch hinsichtlich der Zeit unterschieden werden, welche zum Lösen zur Verfügung steht (Betsch et al., 2011), bzw. in Bezug darauf, ob das Problem mit oder ohne Zeitdruck gelöst werden muss (Arbinger, 1997). Des Weiteren lassen sich Probleme je nach Ausmass des Wissens, welches für das Lösen notwendig ist, unterteilen (siehe auch Kapitel 3.5.1). Die Spannweite reicht gemäss Arbinger (1997) von Problemen, die mit wenig (Fach-)Wissen lösbar sind (z.B. Solitär, Puzzle) bis hin zu Problemen, die zur Lösung viel (Fach-)Wissen benötigen (z.B. Probleme in der Physik). Weitere Autoren grenzen Routine- und Nichtroutineprobleme voneinander ab (Arbinger, 1997; Mayer, 1998): Bei Routineproblemen können zwar keine fertigen Lösungen abgerufen werden, die problemlösende Person weiss im Gegensatz zum Lösen von Nichtroutineproblemen jedoch, wie die Lösungen zu generieren sind. Betsch et al. (2011) differenzieren weiter nach High-stake-Problemen, bei denen zur Lösung hohe Motivation vorhanden ist, und Low-stake-Problemen, bei denen kaum Motivation vorliegt, die Barriere zu überwinden (siehe auch Kapitel 3.5.4). Eine relativ intuitive Unterscheidung lässt sich ausserdem nach dem Bereich vornehmen, aus dem ein Problem stammt (Arbinger, 1997; Betsch et al., 2011). Innerhalb eines Bereichs lassen sich Probleme wiederum spezifisch typologisieren (siehe z.B. für Problemtypen im Mathematikunterricht Kapitel 3.2.2).

3.2.2 Problemtypen im Mathematikunterricht

Im Folgenden wird konkret auf Problemtypen eingegangen, die im Mathematikunterricht vorkommen können. Aus einer mathematikdidaktischen Perspektive eignen sich zur Charakterisierung von Problemen drei Eigenschaften: (1) Offenheit, (2) Potenzial und (3) Kontext (Hugener, 2008; Hugener, Krammer & Reusser, 2007). Diese drei Eigenschaften werden nachfolgend dargestellt.

(1) Hinsichtlich der Eigenschaft *Offenheit* können Probleme laut Hugener et al. (2007) in drei Typen unterteilt werden: (a) Konvergente Probleme haben einen klar definierten Anfangs-

und Zielzustand, lassen jedoch verschiedene Lösungswege zu. (b) Bei divergenten Problemen gibt es nicht nur verschiedene Lösungswege, sondern auch verschiedene gleichberechtigte Lösungen. (c) Bei eigenen Aufgabenstellungen können die Lernenden selbst Probleme aufstellen; das Problem ist weder von der Lehrperson noch von einem Lehrmittel vorgegeben. Je nach Typologie werden Probleme bezüglich Offenheit teilweise auch genauer (Unterscheidung von mehr als drei Typen) oder anders klassifiziert (z.B. Heinrich et al., 2015; Käpnick, 2014). Werden Ausgangszustand, Lösungsweg und Zielzustand systematisch variiert, entstehen acht verschiedene Offenheitstypen, anhand deren sich Problemlöseaufgaben charakterisieren lassen (siehe z.B. Neubrand, 2002; Pehkonen, 2001). Extremtypen sind dabei *Aufgabe über Aufgabe* („alles vorgegeben“) und *Problemsituation* („alles gesucht“). Tabelle 1 zeigt diese acht verschiedenen Offenheitstypen von Problemlöseaufgaben in der Übersicht.

Tab. 1: Offenheit von Problemlöseaufgaben nach Neubrand (2002, S. 125)

Art der Aufgabe	Ausgangszustand	Lösungsweg	Zielzustand
Aufgabe über Aufgabe	Vorgegeben	Vorgegeben	Vorgegeben
Grundaufgabe	Vorgegeben	Vorgegeben	Gesucht
Bestimmungsaufgabe	Vorgegeben	Gesucht	Gesucht
Beweisaufgabe	Vorgegeben	Gesucht	Vorgegeben
Selbst eine Aufgabe bilden	Gesucht	Vorgegeben	Gesucht
Umkehraufgabe	Gesucht	Vorgegeben	Vorgegeben
Umkehraufgabe	Gesucht	Gesucht	Vorgegeben
Problemsituation	Gesucht	Gesucht	Gesucht

Gemäss Escher und Messner (2015) enthalten die meisten Probleme in der Schule eine klare Ausgangsbeschreibung sowie genaue Zielkriterien und sind somit eher geschlossen. So kommen im Unterricht vor allem *Grundaufgaben* und allenfalls *Bestimmungsaufgaben* vor (Neubrand, 2002). Welche Problemtypen im Unterricht eingesetzt werden, hängt auch mit dem Verständnis von Lehren und Lernen zusammen. Laut Reusser (2005) herrschen im traditionellen Unterricht eher wohldefinierte Probleme zum Vertiefen, Überprüfen und Anwenden von bereits erworbenem Wissen vor, während in neueren Konzepten von Unterricht weniger klar definierte, authentische Probleme zur problemorientierten Wissensaneignung im Vordergrund stehen. Im ersten Ansatz haben die Lernenden das Basiswissen bereits erworben und müssen das Gelernte anwenden. Im zweiten Fall erarbeiten die Lernenden anhand des Problems neues Wissen. Zudem ist in einem neueren Konzept von Unterricht neben dem problemgeleiteten Erwerb von Grundlagenwissen auch die Aneignung fachlicher Problemlösefertigkeiten zentral.

(2) Des Weiteren können Probleme im Mathematikunterricht laut Hugener et al. (2007) hinsichtlich ihres kognitiven Potenzials klassifiziert werden. Dabei kann der Frage nachgegangen

werden, welche unterschiedlichen Bearbeitungsprozesse das Lösen des Problems erfordert (z.B. Abruf von Wissenselementen oder Rekonstruktion neuer Wissenselemente) oder welche verschiedenen Wissensarten (Faktenwissen, prozedurales Wissen etc.) zum Lösen benötigt werden.

(3) Probleme können auch dahingehend unterschieden werden, ob sie einen (a) inner- oder (b) aussermathematischen Kontext aufweisen (Hugener, 2008; Hugener et al., 2007). (a) Probleme mit innermathematischem Kontext dienen zur Strukturorientierung und erfordern vertikales Vernetzen. (b) Bei Problemen mit aussermathematischem Kontext ist ein Umweltbezug vorhanden und das Wissen kann zum Beispiel auf eine Alltagssituation angewendet werden. Bei Problemen mit Realitätsbezug spricht man auch von Modellierungsproblemen. Typisch für solche Probleme ist, dass in der Aufgabenstellung überflüssige Angaben enthalten sind und/oder für die Lösung benötigte Angaben fehlen (siehe z.B. Tanken-Aufgabe bei Blum & Leiss, 2005). Modellierungsfragestellungen können dann als Problem bezeichnet werden, wenn „die Komplexität der Fragestellung dergestalt ist, dass die Person, die die Fragestellung bearbeiten soll, vor einer Handlungsbarriere steht“ (Stender, 2016, S. 50). Nicht jede Modellierungsfragestellung ist demnach ein Problem, sondern auch hier müsste eine Barriere vorliegen (siehe auch Kapitel 3.1.1).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Probleme je nachdem, welche Barriereart vorliegt und welches Kriterium als Grundlage berücksichtigt wird, unterschiedlich klassifiziert werden können. Die obigen Vorschläge zur Klassifikation von Problemen sind nicht abschliessend; weitere Vorschläge finden sich zum Beispiel bei Arbinger (1997) oder bei Funke (2003), der eine Taxonomie für komplexe Probleme vorgelegt hat.

Welche Klassifikation herangezogen wird, hängt unter anderem vom Ziel der Einordnung ab. Bei Problemen aus dem Mathematikunterricht ist es zum Beispiel wie in Kapitel 3.2.2 festgehalten sinnvoll, die drei Eigenschaften *Offenheit*, *Potenzial* und *Kontext* zu bestimmen. Dennoch kann es aber auch gewinnbringend sein, Probleme aus dem Schulkontext hinsichtlich allgemeiner Charakteristika einzuordnen (siehe Kapitel 3.2.1, z.B. Einordnung hinsichtlich Problem mit Lücke, Problem mit Widerspruch oder Problem mit unnötiger Komplikation), da so vorgängig verschiedene Überlegungen zu den möglichen personenbezogenen Barrieren angestellt werden müssen. Dies wiederum kann bei der Planung des Unterrichts und insbesondere bei der Begleitung der Lernenden während des Problemlösens helfen.

3.2.3 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit): Problemtyp

Im in Kapitel 3.1.3 vorgestellten Verpackungsproblem müssen drei verschiedene Schachteln für vier Tischtennisbälle gefunden werden (Aufgabe 1) sowie die entsprechenden Faltpläne dazu gezeichnet werden (Aufgabe 2), wobei ein Faltpfad in Originalgrösse gezeichnet werden muss (Aufgabe 3). Darüber hinaus müssen jeweils die Oberfläche und das Volumen für die drei Schachteln berechnet werden (Aufgabe 4). Ein solches Problem wird Schülerinnen und Schülern typischerweise im Mathematikunterricht vorgelegt, da zur Lösung unter anderem Fachwissen aus der Geometrie (z.B. perspektivisches Zeichnen von Körpern, Berechnen von Oberfläche und Volumen) benötigt wird. Im Folgenden wird das Problem hinsichtlich der drei Eigenschaften (1) Offenheit, (2) Potenzial und (3) Kontext genauer untersucht:

(1) Das Problem insgesamt ist wohldefiniert, da bei allen vier Aufgaben der Anfangs- wie auch der Zielzustand klar sind (siehe auch Kapitel 3.1.1). Das Verpackungsproblem kann als divergent eingestuft werden, weil nicht nur verschiedene Lösungswege, sondern auch unterschiedliche, gleichberechtigte Lösungen möglich sind. Je nachdem wie die vier Tischtennisbälle im Raum angeordnet werden und wo sich die Öffnung der Schachtel befindet, gibt es unterschiedliche Lösungen in den verschiedenen Aufgaben. Eine Auswahl möglicher Lösungen für Aufgabe 1 und dementsprechend auch für die folgenden Aufgaben ist in Abbildung 3 dargestellt.

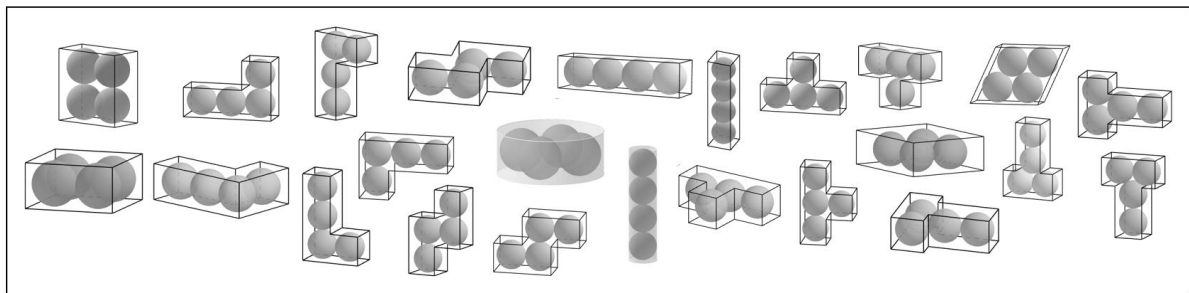


Abb. 3: Verschiedene Lösungen zur Problemlöseaufgabe „Verpackungen“

Auswertungen zu den Lösungen von Deutschschweizer Schülerinnen und Schülern der 7. Klasse (TIMSS 1995, Stebler et al., 1997) ergaben, dass mit Abstand am häufigsten Schachteln in I-Form, gefolgt von Quader und Schachteln in L-Form gezeichnet wurden (Leibundgut, 1996).

(2) Um das Verpackungsproblem zu lösen, braucht es prozedurales, aber auch konzeptuelles Wissen, das heisst Handlungswissen und vielfach vernetztes Begriffswissen (siehe auch Kapitel 3.5.9). Für das Berechnen der Oberfläche und des Volumens wird hingegen vor allem ma-

thematisches Fachwissen benötigt. Da im Mathematikunterricht oft ähnliche Problemlöseaufgaben gelöst werden, kann das Verpackungsproblem je nach Vorwissen und Vorerfahrungen der Lernenden auch ein Transfer- oder Routineproblem oder eine Aufgabe im engen Sinn darstellen (siehe auch Kapitel 3.1).

(3) Des Weiteren weist das Problem einen aussermathematischen Umweltbezug auf, da Verpackungen für Tischtennisbälle gestaltet werden sollen.

3.3 Was ist Problemlösen?

Nachdem in Kapitel 3.1 und 3.2 erläutert wurde, was ein Problem ist und welche verschiedenen Problemtypen es gibt, wird in diesem Kapitel darauf eingegangen, was Problemlösen ist. Dazu wird zunächst beschrieben, was allgemein unter Problemlösen verstanden wird. Anschliessend werden Typen von Problemlösen beschrieben und es wird erläutert, welche davon im Unterricht vorkommen können. Dabei wird wiederum der Bezug zum Verpackungsproblem hergestellt (siehe auch Kapitel 3.1.3 und 3.2.3).

3.3.1 Problemlösen

Problemlöseprozesse werden durch „die Empfindung der Unbefriedigtheit mit dem Ausgangszustand“ (Aebli, 1976, S. 265) in Gang gesetzt. Dabei geht es gemäss Aebli (2011) darum, eine Idee oder ein Verfahren zu entwickeln, damit der Problemgedanke zum Lösungsgedanken wird. Der Begriff des Problemlösens bezieht sich somit auf jene Denkprozesse, welche sich mit der Beseitigung der Barrieren befassen und Lücken in einem Handlungsplan durch bewusste kognitive Aktivitäten zu schliessen versuchen (Betsch et al., 2011).

Problemlösen zeichnet sich gemäss Mayer und Wittrock (2006) durch vier Hauptcharakteristika aus:

First, problem solving is *cognitive*, that is, it occurs internally in the problem solver's cognitive system, and can only be inferred indirectly from the problem solver's behavior. Second, problem solving is a *process*, that is, it involves representing and manipulating knowledge in the problem solver's cognitive system. Third, problem solving is *directed*, that is, the problem solver's cognitive processing is guided by the problem solver's goals. Fourth, problem solving is *personal*, that is, the individual knowledge and skills of the problem solver help determine the difficulty or ease with which obstacles to solutions can be overcome. (Mayer & Wittrock, 2006, S. 287)

Problemlösen ist Mayer und Wittrock (2006) zufolge somit ein individueller, zielgerichteter und kognitiver Prozess. Da zur Schliessung der Lücken keine Routineverfahren verfügbar sind, hat Problemlösen auch einen kreativen und konstruktiven Charakter, weil Operationen, die möglicherweise noch gar nie ausgeführt wurden, miteinander verknüpft werden müssen (Betsch et al., 2011; Fritz, Hussy & Tobinski, 2014).

Gemäss Anderson (1996) sind „alle kognitiven Aktivitäten ihrer Beschaffenheit nach im Grunde genommen Problemlöseprozesse“ (S. 233). Er untermauert diese These damit, dass menschliche Kognition immer zweckgerichtet sei und somit beabsichtige, Ziele zu erreichen und Hindernisse zu beseitigen, welche diesen Zielen im Weg stehen. Anderson (1996) nennt drei wesentliche Merkmale des Problemlösens: (1) Zielgerichtetheit (siehe auch Mayer & Wittrock, 2006), (2) Zerlegung des eigentlichen Ziels in Teilziele und (3) Anwendung von Operatoren. Somit ist die Lösung eines Problems eine Abfolge des Einsatzes verschiedener Operatoren. Wenn ein gleiches Problem immer wieder gelöst wird, werden die einzelnen Operatoren möglicherweise zu einer einzigen Operation zusammengefasst und diese wird danach als gelernte Prozedur ausgeführt. Auch diese stärker automatisierte Aufgabenbewältigung ist gemäss Anderson (1996) immer noch Problemlösen. Dies wird dann deutlich, wenn etwas bei der Bewältigung nicht wie erwartet oder vorgesehen abläuft und infolgedessen wie zu Beginn wiederum Teilziele gebildet werden müssen. Nicht nur Anderson (1996), sondern auch viele weitere Autorinnen und Autoren verstehen kognitive Aktivitäten allgemein als Problemlösen bzw. verwenden den Begriff *Problemlösen* synonym mit *Denken*, *Lernen* oder *Reasoning* (z.B. Fritz et al., 2014; Hussy, 1993; Mayer & Wittrock, 2006). Problemlösen umfasst oft Phasen des Lernens und des Wissenserwerbs, beispielsweise wenn für eine Problemlösung zuerst eine Wissensbasis geschaffen werden muss (siehe auch Kapitel 3.5.1). Lernen wiederum schliesst Denk- und oft auch Problemlöseprozesse mit ein. So erfolgt zum Beispiel gemäss Aebli (1983) der Wissensaufbau während und durch das Lösen eines Problems (PADUA: Problemlösender Aufbau, gefolgt von Durcharbeiten, Üben, Anwenden).

3.3.2 Typen von Problemlösen

Es können nicht nur verschiedene Problemtypen, sondern auch verschiedene Problemlösearten unterschieden werden. Im Folgenden werden solche verschiedenen Typen von Problemlösen vorgestellt.

Zunächst kann zwischen einfachem und komplexem Problemlösen unterschieden werden, wobei einfaches Problemlösen nicht weniger anspruchsvoll sein muss als komplexes Problemlösen (siehe auch Kapitel 3.2.1). Beispiele für einfaches Problemlösen sind das in Kapitel 3.1.3 vorgestellte Verpackungsproblem (siehe auch Kapitel 3.3.4), aber auch anspruchsvolle mathematische Gleichungen. Im Unterschied dazu ist beim komplexen Problemlösen unter anderem das zu lösende Problem dynamisch und der Ausgangs- und der Zielzustand können sich wäh-

rend des Lösens verändern (z.B. Bremsen der Klimaerwärmung oder Lösen des Nahostkonflikts). Bekannte Untersuchungen zum komplexen Problemlösen sind die computersimulierten Experimente *Lohhausen* (Dörner, Kreuzig, Reither & Stäudel, 1983) und *Tanaland* (Dörner, 1989). Hier erhielten die Versuchspersonen „diktatorische Vollmacht“ (Dörner, 1989, S. 22) über eine Stadt bzw. ein Land und mussten dabei für das Wohlergehen der Stadt bzw. des Landes sowie der Bewohnerinnen und Bewohner sorgen (Ausbau der Infrastruktur etc.). In diesen Simulationsexperimenten kann die problemlösende Person die Situation durch Eingriffe stetig verändern und die Folgen ihrer Eingriffe beobachten.

Des Weiteren wird zwischen analytischem und dynamischem Problemlösen unterschieden (siehe z.B. Greiff & Funke, 2010; Klieme, Artelt & Stanat, 2002; Leutner, Fleischer, Wirth, Greiff & Funke, 2012; Leutner, Funke, Klieme & Wirth, 2005; Wild, Hofer & Pekrun, 2006), wobei diese beiden Typen einen grossen Überschneidungsbereich mit dem einfachen und komplexen Problemlösen aufweisen. Unter analytischem Problemlösen wird Informationsverarbeitung und deduktives bzw. induktives Denken verstanden, es steht beispielsweise „das Suchen, Erfassen, Systematisieren, Ordnen, Evaluieren, schlussfolgernde Verarbeiten und Kombinieren von Informationen und das Planen im Vordergrund“ (Klieme et al., 2002, S. 206). Dabei sind alle wichtigen Informationen vorgegeben und die Ausgangslage sowie die Problemstellung verändern sich während des Problemlösens nicht (siehe einfaches Problemlösen). Beim dynamischen Problemlösen geht es hingegen um das Handeln in komplexen, sich stetig verändernden Situationen. Bekannte Beispiele dynamischen Problemlösens sind die oben genannten Lohhausen- und Tanaland-Experimente (siehe komplexes Problemlösen).

Alle oben genannten Arten des Problemlösens können beim individuellen sowie gemeinsamen Problemlösen stattfinden (siehe auch Kapitel 3.3.3 und 3.6). In der Literatur wird von kooperativem bzw. kollaborativem Problemlösen gesprochen, wenn Probleme gemeinsam gelöst werden (z.B. Fischer et al., 2015; Greiff, Holt & Funke, 2013).

Jede Art des Problemlösens kann unterschiedlich qualitativ ablaufen. Hohe Qualität des Problemlösens zeichnet sich insbesondere durch „das Verständnis der Problemsituation, die Denkprozesse bei der Problembearbeitung und die Angemessenheit der erreichten Lösung“ (Klieme, Funke, Leutner, Reimann & Wirth, 2001, S. 185) aus. Ein Unterscheidungsmerkmal hinsichtlich der Qualität des Problemlösens ist beispielsweise, wie systematisch jemand vorgeht, das heisst, ob alternative Lösungsschritte gezielt ausprobiert werden und ob gegebenenfalls Feedback gesucht und genutzt wird (Klieme et al., 2001). Je nach Art des Problems

und damit verbunden des Problemlösens müssen die Kriterien zur Qualitätsmessung jedoch unterschiedlich definiert und präzisiert werden. Beispielsweise lässt sich durch das Einholen von Feedback nicht per se auf qualitativvolles Problemlösen schliessen, sondern die Qualität hängt unter anderem davon ab, wann, von wem und wie Feedback eingeholt und anschliessend für die Problemlösung verwendet wird (siehe auch Kapitel 3.5.6).

3.3.3 Problemlösen in der Schule

Im Mathematikunterricht findet Problemlösen dann statt, „wenn sich die Schüler mit einer Aufforderung zum Handeln auseinandersetzen, für deren Bewältigung sie noch keine Vorerfahrungen haben bzw. für die sich (noch) keine Handlungsmuster oder Lösungsideen kennen“ (Bruder, 1992, S. 6). Im Unterricht kommt vor allem einfaches und analytisches Problemlösen vor: Die zur Lösung benötigten Informationen werden den Lernenden meistens vorgegeben und zudem verändert sich die Problemstellung während des Problemlöseprozesses in der Regel nicht. Eine weitere Art des Problemlösens, die im Unterricht eingesetzt wird, ist authentisches Problemlösen. Authentische Probleme im schulischen Kontext sind komplexe Anwendungsaufgaben, welche unter anderem von Problemfeldern ausgehen, die im Alltag der Lernenden vorkommen könnten (siehe auch Modellierungsaufgaben in Kapitel 3.2.2), relevante Bildungsinhalte repräsentieren, zum Lösen den Beizug realistischer Hilfsmittel und Quellen erfordern (z.B. Computer, Handbücher, Anleitungen) und meistens verschiedene Lösungswege und Lösungen zulassen (Lesh & Lamon, 1992; Reusser & Stebler, 2000).

Was die Sozialform anbelangt, in der Problemlösen im schulischen Setting stattfindet, so ist neben der Einzelarbeit an einem Problem auch kooperatives Problemlösen verbreitet (siehe Kapitel 3.6). Dabei ist in der Regel analog zum Lösen von Problemen in Einzelarbeit vor allem einfaches und analytisches Problemlösen erforderlich.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in der Literatur je nach zu lösendem Problem verschiedene Arten von Problemlösen unterschieden werden wie einfaches und komplexes Problemlösen, analytisches und dynamisches Problemlösen, authentisches, interaktives, kooperatives oder kollaboratives Problemlösen, wobei in der Schule vor allem einfaches, analytisches, authentisches, kooperatives bzw. kollaboratives Problemlösen vorkommt.

3.3.4 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit): Problemlösetyp

Im in Kapitel 3.1.3 vorgestellten Verpackungsproblem müssen drei verschiedene Schachteln für vier Tischtennisbälle gefunden werden (Aufgabe 1). Neben dem Zeichnen der Faltpläne

(Aufgaben 2 und 3) müssen auch jeweils die Oberfläche und das Volumen für die unterschiedlichen Schachteln berechnet werden (Aufgabe 4). Die verschiedenen Aufgaben enthalten einen wohldefinierten Ausgangs- und Zielzustand. Zudem verändern sich während des Problemlösens weder die Ausgangslage noch die Problemstellung. Damit wird bei diesem alltagsnahen Anwendungsproblem einfaches und analytisches Problemlösen benötigt.

3.4 Wie werden Probleme gelöst?

Wie Probleme gelöst werden, wird in der Literatur vor allem anhand verschiedener Problemlösemodelle beschrieben. In Kapitel 3.4.1 wird zunächst ein allgemeiner Überblick über verschiedene Modelle gegeben und danach werden ausgewählte Modelle, insbesondere im Hinblick auf das Problemlösen im Mathematikunterricht, dargestellt. Anschliessend wird in Kapitel 3.4.2 auf die Kritik an Problemlösemodellen eingegangen. In Kapitel 3.4.3 wird auf der Grundlage der Überlegungen in den beiden vorhergehenden Kapiteln ein Problemlösemodell für die vorliegende Arbeit vorgeschlagen.

3.4.1 Problemlösemodelle

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Problemlösemodellen. Philipp (2012) unterscheidet zwischen Modellen der (1) inneren und (2) äusseren Struktur von Problembearbeitungsprozessen. (1) Bei Modellen der inneren Struktur geht es zum Beispiel um kognitive Prozesse, Heuristiken oder Beliefs wie beim Modell von Newell und Simon (1972). Die beiden Vertreter der Informationsverarbeitungstheorie (siehe auch Kapitel 3.1.1) unterscheiden in ihrer Theorie zum Problemlösen einen Verstehens- und einen Suchprozess: Im Verstehensprozess wird eine interne Repräsentation des Problems gebildet, während im Suchprozess nach Unterschieden zwischen dem Anfangs- und Zielzustand sowie nach Operatoren gesucht wird, welche diese Unterschiede reduzieren können (Funke, 2006a). Beim Problemlösen muss also gemäss diesem Modell zuerst ein Problemraum erzeugt werden, das heisst die problemlösende Person versucht, das Problem zu verstehen, Ausgangs- und Zielzustand zu definieren und potenzielle Lösungsmöglichkeiten zu finden (Arbinger, 1997). Die Theorie von Newell und Simon (1972) zum menschlichen Denken und Problemlösen setzt dabei voraus, dass der Mensch als informationsverarbeitendes System aufgefasst werden kann.

(2) Modelle der äusseren Struktur bilden gemäss Rott (2014) unter anderem den zeitlichen Verlauf und die Organisation der Problemlösebemühungen ab. Darunter fallen die in der Lite-

ratur zum Problemlösen vorherrschenden Phasenmodelle. Verschiedene Autorinnen und Autoren haben Stufen, Phasen, Schritte oder Prozesse beschrieben, welche beim Lösen von Problemen üblicherweise durchlaufen werden (z.B. Betsch et al., 2011; Bransford & Stein, 1984, 1993; Brim, Glass, Lavin & Goodman, 1962; Dewey, 1910; Ennis, 1987; Polya, 1949). Diese Phasenmodelle können beispielsweise hinsichtlich (a) Grundtyp, (b) Anzahl und Art der Phasen, (c) Kontext sowie (d) Betonung der deskriptiven bzw. präskriptiven Aspekte charakterisiert werden (Lipshitz & Bar-Ilan, 1996; Neuhaus, 2002). Diese vier Unterscheidungskriterien werden im Folgenden ausführlicher dargestellt.

(a) Neuhaus (2002) unterscheidet zwei Grundtypen von Phasenmodellen: einerseits solche, die sich auf Wallas (1926) beziehen und vor allem den intuitiven, unbewussten und kreativen Aspekt betonen, und andererseits solche, die sich auf das Modell von Dewey (1910) beziehen und das systematisch-logische Denken hervorheben.

(b) Phasenmodelle können des Weiteren anhand der Anzahl der analytisch differenzierten Phasen unterschieden werden, wobei sich Problemlösephasen laut Lipshitz und Bar-Ilan (1996) darauf beziehen, *was* gemacht wird, während Problemlöseschritte darauf verweisen, *wann* die Phasen im Problemlöseprozess auftreten. In der Literatur finden sich Modelle mit zwei (z.B. Maier, 1964) bis acht (z.B. Pounds, 1969) Problemlösephasen. Einige Autorinnen und Autoren definieren eine Mindestanzahl von Phasen (z.B. Oser & Baeriswyl, 2001). Gemäss Rott (2014) ist die Art und Anzahl Phasen allerdings von relativ geringer Bedeutung; aufschlussreicher sei vielmehr die Bündelung der Aktivitäten im Problemlöseprozess.

(c) Die meisten Modelle beziehen sich auf einen weiten Kontext. Es finden sich daneben aber auch Modelle, die relativ spezifisch konzipiert wurden (z.B. für Textprobleme bei Boonen, Reed, Schoonenboom & Jolles, 2016).

(d) Schliesslich lassen sich Phasenmodelle auch hinsichtlich der Betonung deskriptiver bzw. normativer Aspekte unterscheiden. Gemäss Rott (2014) geht es bei deskriptiven Modellen um die „Beschreibung und Analyse von (empirisch vorliegenden) Daten“, während normative Modelle „als pädagogisches Hilfsmittel [dienen]“ (S. 253), welches Problemlösende anleiten und unterstützen soll.

In Tabelle 2 werden die verschiedenen Modelltypen zum Problemlösen zusammenfassend dargestellt.

Tab. 2: Verschiedene Modelltypen zum Problemlösen

(1) Modelle der inneren Struktur		<ul style="list-style-type: none"> • Kognitive Prozesse • Heurismen • Beliefs • ...
(2) Modelle der äusseren Struktur	(a) Grundtyp	<ul style="list-style-type: none"> • Betonung des intuitiven und kreativen Aspekts • Betonung des logischen Denkens
	(b) Anzahl und Art der Phasen	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Phasen • 3 Phasen • ... • n Phasen
	(c) Kontext	<ul style="list-style-type: none"> • Innerhalb der Schule: Mathematik (Algebra, Analysis, Geometrie, ...), Chemie (...), ... • Ausserhalb der Schule (z.B. Reparatur eines Fahrrads, Planen einer Reise, ...)
	(d) Deskriptiver bzw. präskriptiver Aspekt	<ul style="list-style-type: none"> • Deskriptive Modelle: Beschreibung und Analyse von Daten • Normative Modelle: Pädagogisches Hilfsmittel

Im Folgenden werden verschiedene Modelltypen zum Problemlösen vorgestellt. Zuerst wird ausführlich auf die fünf Stufen eines reflektierenden Denkaktes nach Dewey (1910) eingegangen, da dieses Modell der äusseren Struktur mit Betonung des logischen Denkens die Grundlage für viele neuere Modelle bildet.

Dewey (1910, 2002) hat fünf Stufen eines vollständigen, reflektierenden Denkaktes beschrieben:

(i) Man begegnet einer Schwierigkeit, (ii) sie wird lokalisiert und präzisiert, (iii) Ansatz einer möglichen Lösung, (iv) logische Entwicklung der Konsequenzen des Ansatzes, (v) weitere Beobachtung und experimentelles Vorgehen führen zur Annahme oder Ablehnung, das heisst der Denkprozess findet seinen Abschluss, indem man sich für oder wider die bedingt angenommene Lösung entscheidet. (Dewey, 2002, S. 56)

Bei der ersten Stufe liegt gemäss Dewey (2002) ein „Konflikt zwischen den gegebenen Verhältnissen und dem angestrebten Ergebnis, zwischen einem Ziel und den Mitteln, es zu erreichen“ (S. 57) vor. Es muss durch Denken ein Weg gefunden werden, um aus dieser Schwierigkeit zu gelangen. In einem zweiten Schritt geht es darum, die Schwierigkeit aufzudecken sowie das Problem abzugrenzen und zu definieren. Wichtig ist hierbei gemäss Dewey, dass vor der Suche nach einer Lösung zuerst die Natur des Problems erkannt wird, um voreilige Schlüsse zu verhindern, wobei dies den Unterschied zwischen dem kritisch überlegenden Denken und dem unkritischen Denken ausmacht. In einem dritten Schritt werden Ideen, Annahmen, Vermutungen und Hypothesen gebildet. In einer vierten Phase werden die Ideen sorgfältig durchdacht und überprüft. Allenfalls können in dieser Phase Vermutungen auch wieder verworfen werden. Die letzte Stufe besteht darin, dass die Idee beispielsweise durch ein Experiment bestätigt und angenommen werden kann.

Tabelle 3 zeigt die von Reusser (2005) tabellarisch zusammengefassten und ergänzten fünf Stufen eines reflektierenden Denkaktes von Dewey.

Tab. 3: Analyse eines vollständigen Denkaktes nach Dewey (1910, 2002) mit Ergänzungen nach Reusser (2005, S. 164)

Dewey (1910, 2002)	Reusser (2005)
1. Bemerkung einer Schwierigkeit: Beunruhigung, Ungewissheit, Zweifel, Staunen, Irritation („a felt difficulty“)	<ul style="list-style-type: none"> • Spüren eines Problems: kognitive Lücke, Konflikt, Widerspruch, Ungleichgewicht, Diskrepanz zwischen Zielen und Mitteln • Problemkonfrontation: erste, in der Regel noch unscharfe Wahrnehmung des Problems
2. Abgrenzung der Schwierigkeit („its location and definition“)	<ul style="list-style-type: none"> • Problemdefinition, sprachlich-begriffliche Analyse von Gegebenheiten und Zielen • Identifikation, Abgrenzung und Präzisierung von Teilproblemen und Erfordernissen
3. Entstehung einer möglichen Erklärung/Lösung („suggestion of possible solutions“)	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungsansätze suchen, Aktualisierung und Erarbeiten von Wissen • Hypothesen generieren, Einsicht • Lösungs- und Arbeitsplan erstellen
4. Durcharbeiten der Lösung, logische Entwicklung der Konsequenzen („development by reasoning of the bearings of the suggestion“)	<ul style="list-style-type: none"> • Hypothesen, Vermutungen sorgfältig überprüfen, kritisch durchdenken • Synthese der Lösungsschritte, Konkretisierung, Umsetzung der Lösung
5. Prüfung, Bewährung, Bestätigung, Annahme der Lösung („further observation and experiment leading to its acceptance or rejection“)	<ul style="list-style-type: none"> • Verifikation, Evaluation, Erprobung und Reflexion • Entscheidung (Akzeptieren, Ablehnen), Kommunikation der Lösung

Die Reihenfolge der Phasen des reflektierenden Denkaktes nach Dewey (1910, 2002) ist „keinesfalls linear-sequenziell, sondern [es sind] rekursiv gedachte Phasen“ (Reusser, 2005, S. 164). So ist die Reihenfolge der Phasen nicht bestimmt, die Phasen müssen „aber sämtliche realisiert werden ..., wenn eine reflektierte Aktivität vollständig abgeschlossen sein soll“ (Dewey, 2002, S. 179 f.). „Abkürzungen“ sind beim Problemlösen somit nicht möglich.

Ein Modell, welches auf Deweys Konzeption aufbaut und insbesondere im Kontext des Mathematikunterrichts oft rezipiert wird und mittlerweile zum fachdidaktischen Standardvorgehen zählt, ist das vierphasige Modell von Polya (1945, 1949). Polya (1949) geht in seinem Werk „Schule des Denkens“ der Frage nach, wie beim Lösen von mathematischen Problemen vorgegangen werden soll. Kernstück des Buchs bildet die „Tabelle“, in welcher Polya vier Phasen zum Lösen von Problemen aufführt. Diese vier Phasen beschreibt Polya unter anderem anhand eines fiktiven Zwiegesprächs zwischen einem idealisierten Lehrer und einem idealisierten Schüler. Sein Buch kann als pädagogisches Hilfsmittel angesehen werden, denn anhand der Fragen des idealisierten Lehrers sollen Problemlösende angeleitet und beim Problemlösen unterstützt werden (normatives Modell).

Im Folgenden werden die vier Phasen nach Polya vorgestellt: In einer ersten Phase muss das Problem wahrgenommen werden und die Aufgabe wie auch ihre Anforderungen müssen verstanden werden. Zu dieser Phase gehört laut Polya auch, dass man die Lösung „herbeisehnt“: Man braucht also ein gewisses Interesse an der Aufgabe (siehe auch Kapitel 3.5.4). Daher muss eine Aufgabe in der Schule von der Lehrperson gut ausgewählt werden. In einer zweiten Phase geht es darum, sich einen Plan auszudenken, also herauszufinden, wie die verschiedenen Aspekte miteinander zusammenhängen und wie bei der Lösung vorgegangen werden soll. Dazu beschreibt Polya verschiedene Heuristiken, beispielsweise Analogiebildung oder Variation der Aufgabe, welche bei der Problemlösung helfen können (siehe auch Tabelle 4). Diese zweite Phase kann lange dauern, denn oftmals braucht es Zeit, bis Ideen für die Lösung entstehen. In der dritten Phase wird der Plan ausgeführt, wobei laut Polya die einzelnen Schritte kontrolliert werden müssen. Eine Hauptgefahr dieser dritten Phase besteht darin, dass der Plan vergessen geht. Diese Gefahr ist gemäss Polya weniger gross, wenn der Plan selbst erarbeitet und nicht von der Lehrperson übernommen wurde. In der letzten Phase werden Lösungsweg und Resultat noch einmal überprüft. Dies führt dazu, dass das neu erworbene Wissen gefestigt und die Fähigkeit zum Lösen von Problemen weiterentwickelt wird. Bei den vier Phasen nach Polya sind wie bereits bei Dewey keine „Abkürzungen“ möglich, sondern sie müssen alle durchlaufen werden. Sowohl Polya als auch Dewey sind der Ansicht, „dass man ein Konzept oder eine Regel erst dann wirklich verstehen kann, wenn man weiss, wie es bzw. sie entdeckt wurde“ (Hugener, 2008, S. 23). Tabelle 4 fasst die vier Phasen des Problemlösens nach Polya zusammen.

Tab. 4: Überblick über die vier Phasen des Problemlösens nach Polya (1949, S. 18 ff.)

1. Verstehen der Aufgabe
<ul style="list-style-type: none"> • Vertraut werden mit der Aufgabe und Wahrnehmung der Aufgabe: Sich die Aufgabe als Ganzes deutlich und lebendig vorstellen • Wortlaut der Aufgabe verstehen • Hauptteile der Aufgabe erkennen (Was ist gegeben? Was ist unbekannt? Wie lautet die Bedingung?) • Hauptteile wiederholt aufmerksam und von verschiedenen Seiten betrachten • Zeichnen einer Figur und wenn nötig Einführung passender Bezeichnungen • Verschiedene Hauptteile der Bedingung, der Aufgabe trennen
2. Ausdenken eines Plans
<ul style="list-style-type: none"> • Nach ähnlichen, verwandten Aufgaben suchen, welche zum Beispiel die gleiche Unbekannte hatten • Aufgabe anders formulieren beziehungsweise anders ausdrücken • Variation der Aufgabe: Verallgemeinerung, Spezialisierung, Anwendung von Analogien, Auslassen eines Teils der Bedingung etc. • Alle Daten und Bedingungen benutzen • Einführen einer Hilfsgrösse

3. Ausführen des Plans

- Operationen ausführen, evtl. in kleineren Schritten
- Kontrolle und Beweis, dass jeder Schritt richtig ist (exekutive Kontrolle)

4. Rückschau

- Kontrolle des Resultats bzw. des Beweises
 - Kontrolle, ob alle Daten verwendet werden
 - Resultat auf verschiedene Weisen ableiten
 - Weiterverwendung des Resultats beziehungsweise der Methode für andere Aufgaben
-

Wie sich der Zusammenstellung in Tabelle 4 entnehmen lässt, bezieht sich Polya als Mathematiker vor allem auf Probleme aus den Naturwissenschaften. Die vier Phasen sind jedoch grundsätzlich auf Probleme aus verschiedenen Bereichen übertragbar. Bei Problemen jeglicher Art ist es beispielsweise grundlegend, zuerst den Inhalt des Problems zu verstehen oder am Schluss das Resultat zu überprüfen.

Die Grundgedanken von Polya und von Dewey sind bis heute aktuell. So lassen sich diese beispielsweise auch in den vier von PISA definierten Problemlösephasen finden (siehe Tabelle 5).

Tab. 5: Überblick über die vier Phasen des Problemlösens nach OECD (2013, S. 125 ff.; 2014b, S. 31)

1. Exploring and Understanding

The objective here is to build mental representations of each of the pieces of information presented in the problem. This involves:

- exploring the problem situation: observing it, interacting with it, searching for information and finding limitations or obstacles; and
- understanding given information and information discovered while interacting with the problem situation; demonstrating understanding of relevant concepts.

2. Representing and Formulating

The objective here is to build a coherent mental representation of the problem situation (i.e. a situation model or a problem model). To do this, relevant information must be selected, mentally organised and integrated with relevant prior knowledge. This may involve:

- representing the problem by constructing tabular, graphical, symbolic or verbal representations, and shifting between representational formats; and
- formulating hypotheses by identifying the relevant factors in the problem and their interrelationships; organising and critically evaluating information.

3. Planning and Executing

This includes:

- planning, which consists of goal setting, including clarifying the overall goal, and setting sub-goals, where necessary; and devising a plan or strategy to reach the goal state, including the steps to be undertaken; and
- executing, which consists of carrying out a plan.

4. Monitoring and Reflecting

This includes:

- monitoring progress towards the goal at each stage, including checking intermediate and final results, detecting unexpected events, and taking remedial action when required; and
 - reflecting on solutions from different perspectives, critically evaluating assumptions and alternative solutions, identifying the need for additional information or clarification and communicating progress in a suitable manner.
-

Gemäss diesem Modell muss in einem ersten Schritt das Problem erkundet werden. Zudem gilt es, die gegebenen Informationen zu verstehen. Das Ziel dieser Phase ist es, eine mentale Repräsentation der verschiedenen Informationen zu bilden, wofür relevante Informationen

gesammelt, organisiert und im Vorwissen integriert werden müssen. Dies kann zum Beispiel anhand einer grafischen oder verbalen Repräsentation oder durch das Formulieren von Hypothesen geschehen. In einem nächsten Schritt wird das Vorgehen geplant und der Plan wird ausgeführt. Danach wird der Fortschritt beobachtet und falls nötig wird der Plan angepasst. Am Schluss wird die Lösung aus verschiedenen Perspektiven kritisch reflektiert; je nachdem muss nach alternativen Lösungen gesucht werden. In weiteren Publikationen zu PISA wird als letzte Phase zudem das Kommunizieren der Lösung genannt (z.B. OECD, 2004): Am Schluss des Problemlöseprozesses müssen geeignete Repräsentationsformen und Medien gefunden werden, um die Ergebnisse anderen Personen zu kommunizieren.

Schoenfeld (1985) hat einen theoretischen Rahmen spezifisch für die Analyse mathematischen Problemlösens entwickelt. Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Modellen lässt sich sein Modell jedoch als ein Modell der inneren Struktur gemäss Philipp (2012) einordnen. Tabelle 6 führt aus, was worauf sich die Hauptkategorien *Ressourcen*, *Heuristik*, *Kontrolle* und *Beliefs* von Schoenfelds Modell beziehen.

Tab. 6: Überblick über das nötige Wissen und Verhalten für eine adäquate Charakterisierung mathematischer Problemlöseleistung nach Schoenfeld (1985, S. 15)

Resources
Mathematical knowledge possessed by the individual that can be brought to bear on the problem at hand
<ul style="list-style-type: none"> • Intuitions and informal knowledge regarding the domain • Facts • Algorithmic procedures • „Routine“ nonalgorithmic procedures • Understandings (propositional knowledge) about the agreed-upon rules for working in the domain
Heuristics
Strategies and techniques for making progress on unfamiliar or nonstandard problems; rules of thumb for effective problem solving, including
<ul style="list-style-type: none"> • Drawing figures; introducing suitable notation • Exploiting related problems • Reformulating problems; working backwards • Testing and verification procedures
Control
Global decisions regarding the selection and implementation of resources and strategies
<ul style="list-style-type: none"> • Planning • Monitoring and assessment • Decision-making • Conscious metacognitive acts
Belief Systems
One's „mathematical world view“, the set of (not necessarily conscious) determinants of an individual's behavior
<ul style="list-style-type: none"> • About self • About the environment • About the topic • About mathematics

Um zu verstehen, wie sich Problemlösen vollzieht, muss man gemäss Schoenfeld wissen, welche Ressourcen bei der problemlösenden Person vorhanden sind (siehe auch Kapitel 3.5.1): Welche Informationen sind verfügbar, wie sind diese organisiert, abgespeichert und zugänglich? Des Weiteren sind Heuristiken wichtig, wobei sich Schoenfeld stark auf die Heuristiken von Polya (1949) bezieht und diese weiterentwickelte (siehe auch Kapitel 3.5.2). Problemlöseleistung hängt zudem nicht nur davon ab, was jemand weiss, sondern auch davon, ob und wie effizient dieses Wissen verwendet wird. Zur Kategorie *Kontrolle* gehören die Auswahl und die Umsetzung von Ressourcen und Strategien, das heisst unter anderem, ob Pläne erstellt oder Lösungen kontrolliert und überwacht werden (siehe auch Kapitel 3.5.3). Zusätzlich spielen beim Problemlösen laut Schoenfeld Beliefs eine Rolle, also zum Beispiel was eine Person unter Mathematik versteht.

Andere, unterrichtsnahe Modelle für den Mathematikunterricht stammen zum Beispiel von Tietze et al. (1982), welche drei Phasen (Aufgabenanalyse, Lösungsphase sowie Kontrolle und Rückschau) unterscheiden, oder von Barzel, Hussmann, Leuders und Prediger (2012), welche mit dem Akronym PADEK fünf Schritte des Problemlösens beschreiben (Problem verstehen, Ansatz suchen, Durchführen, Ergebnis erklären, Kontrolle). Innerhalb der Mathematikdidaktik wurden noch weitere, spezifischere Problemlösemodelle vorgestellt (z.B. für Textprobleme bei Boonen et al., 2016). Die meisten dieser Modelle haben einen normativen Aspekt, da sie als Hilfsmittel für problemlösende Schülerinnen und Schüler entwickelt wurden und teilweise für jede Phase konkrete Vorgehensweisen vorschlagen.

3.4.2 Kritik an Problemlösemodellen

Obwohl die in Kapitel 3.4.1 vorgestellten Phasenmodelle auf breite Akzeptanz stossen und häufig rezipiert werden, werden sie auch kritisiert. Laut Käpnick (2014) erwecken viele klassische Phasenmodelle den Eindruck, dass „Problemlöseprozesse eher gleichförmig, beinahe ‚algorithmisch‘ ablaufen würden“. Dabei werde das „nicht planbare, individuell geprägte und kreative Suchen nach Lösungsideen, die emotionale Auseinandersetzung mit dem eigenen Vorwissen, dem Zweifeln am Finden einer Lösung oder dem eigenen Anspruch an die Lösungsfindung, das ‚Ringeln‘ um eine richtige Lösung“ (S. 115) zu wenig miteinbezogen. Lipshitz und Bar-Ilan (1996) kritisieren vor allem, dass viele Autorinnen und Autoren die Phasenmodelle nur theoretisch begründen würden und nicht empirisch überprüft hätten. Im Folgenden wird auf diese Kritikpunkte näher eingegangen.

In der Regel verläuft Problemlösen in der Praxis nicht geradlinig, sondern gemäss Aebli (1976) gehen Problemlösende immer wieder in falsche Richtungen und müssen dann zurückkehren und einen neuen Lösungsweg suchen. Heinrich (2001) unterscheidet zwei grundlegende Varianten beim Wechsel von Lösungsanläufen: Entweder wird der Lösungsanlauf ganz verworfen und man beginnt wieder von vorn oder aber Komponenten abgebrochener Lösungsanläufe werden modifiziert und weiterverwendet. Gemäss Bransford und Stein (1993) zeichnet sich ein kreativer Ansatz dadurch aus, dass ein Problem bei einem Fehler oder einer Sackgasse völlig neu angegangen und aus einer ganz anderen Perspektive gedacht wird. Je nach Fehler (z.B. Rechenfehler, Flüchtigkeitsfehler) ist dies jedoch kein effizienter Umgang mit der Sackgasse. Aebli (1981) plädiert deshalb dafür, dass bei Fehlern und Sackgassen schrittweise und nur so weit wie nötig zurückgegangen und nicht immer wieder beim Anfangspunkt begonnen werden solle, „denn es ist wohl möglich, dass der erfolglose Lösungsversuch Elemente enthielt, die brauchbar sind“ (S. 79). Ausserdem kann es statt einem erneuten Lösungsversuch auch zu einem Abbruch kommen, das heisst, das Problem wird nicht gelöst (Betsch et al., 2011). Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn ein Problem als zu schwierig und nicht bewältigbar erachtet wird oder wenn der Nutzen der Problemlösung als zu gering wahrgenommen wird, um den Problemlöseprozess erneut zu initiieren (siehe auch Kapitel 3.5.4).

Wie die vorangehenden Ausführungen zeigen, verlaufen Problemlöseprozesse nicht notwendigerweise linear. Dies berücksichtigen jedoch auch die von Käpnick (2014) kritisierten klassischen Phasenmodelle: Zum Beispiel sind, wie bereits in Kapitel 3.4.1 beschrieben, die Phasen des reflektierenden Denkaktes von Dewey (1910, 2002) nicht linear-sequenziell, sondern als rekursiv gedachte Phasen zu verstehen (Reusser, 2005). Das Phasenmodell von Polya (1949) wird zwar häufig linear rezipiert, was laut Rott (2014) daran liegen könnte, dass das Modell als normatives Modell verfasst wurde und aus Gründen der Vereinfachung linear ist. Rückschritte lassen sich aber durchaus auch miteinbeziehen. Beispielsweise haben Wilson, Fernandez und Hadaway (1993) das Phasenmodell von Polya mit Vor- und Rücksprüngen ergänzt. In anderen Publikationen, zum Beispiel bei Bransford, Sherwood und Sturdevant (1987) oder Collet (2009), wird ausdrücklich von einem Problemlösezyklus gesprochen und das Dynamische des Problemlösens berücksichtigt. Auch beim etwas älteren TOTE-Modell von Miller, Galanter und Pribram (1973) werden Rückkopplungsschleifen sehr explizit beschrieben: Gemäss diesem Modell wird zuerst die Situation getestet (Test), dann werden die Handlungen

ausgeführt (Operation) und schliesslich wird das Ergebnis getestet (Test). Ist das Ergebnis befriedigend, kommt es zum Programmende (Exit). Führt die Handlung jedoch nicht zum Ziel, wird der TOTE-Vorgang so lange fortgesetzt, bis das Ergebnis zufriedenstellend ausfällt.

Viele Autorinnen und Autoren haben ausserdem empirisch überprüft, ob Problemlösen linear verläuft. Mintzberg, Raisinghani und Théorêt (1976) haben bei Entscheidungsfindungsprozessen, zum Beispiel einer Fluggesellschaft zum Kauf neuer Flugzeuge oder bei einem Unternehmen zur Anpassung des Pensionsalters, verschiedene Problemlösephasen, unter anderem in Anlehnung an Dewey (1910), untersucht. Es hat sich gezeigt, dass nicht alle Phasen in der Reihenfolge des Modells durchlaufen wurden – entweder wurden Phasen übersprungen oder es wurde auch wieder auf frühere Phasen zurückgegriffen. Nutt (1984) hat ähnlich wie Mintzberg et al. (1976) 73 Entscheidungsfindungsprozesse anhand eines fünfstufigen Phasenmodells untersucht und dabei anhand der Phasen, die beim Problemlösen durchlaufen wurden, verschiedene Prozesstypen unterschieden. Insgesamt beinhalteten nur 15% der Problemlöseprozesse alle fünf Stufen. Problemlöseprozesse im Schulkontext hat beispielweise Rott (2014) untersucht, indem Lernende der fünften Klasse beim Lösen mathematischer Probleme gefilmt wurden. Diese Videos wurden anschliessend hinsichtlich der Linearität von Problemlöseprozessen ausgewertet. Es zeigte sich, dass ungefähr ein Viertel der beobachteten Problemlöseprozesse nicht linear verlaufen war und dass Kinder, welche äusserst unstrukturiert vorgegangen waren, kaum erfolgreich waren („wild goose chase“³). Rott (2014) bilanzierte, „dass ein rein lineares Modell keine adäquate Beschreibung der Prozesse geben könnte“ (S. 271).

3.4.3 Zwischenfazit

Verschiedene Modelle beschreiben, wie Problemlöseprozesse ablaufen bzw. ablaufen sollten. Viele dieser Problemlösemodelle ähneln sich, da sie sich auf Dewey (1910, 2002) beziehen (Betonung des logischen Denkens). Dies zeigt auch Tabelle 7, welche die Phasen von drei verschiedenen Modellen der äusseren Struktur vergleichend nebeneinanderstellt.

³ Schoenfeld (1985) bezeichnet Problemlöseprozesse, bei welchen fast nur exploriert wird, als „wild goose chase“. Rott (2014) unterscheidet zwischen Prozessen, in welchen exploriert, analysiert, geplant und/oder verifiziert wird. Er klassifiziert einen Prozess dann als „wild goose chase“, wenn entweder nur exploriert oder exploriert und analysiert wird.

Tab. 7: Übersicht über ausgewählte Phasenmodelle zum Problemlösen

Dewey (1910, 2002)	Polya (1945, 1949)	PISA (OECD, 2014b)
Bemerken einer Schwierigkeit	Verstehen der Aufgabe	Exploring and Understanding
Abgrenzen der Schwierigkeit		
Entstehen einer möglichen Lösung	Ausdenken eines Plans	Representing and Formulating
Durcharbeiten der Lösung	Ausführen des Plans	Planning and Executing
Prüfung, Bestätigung, Annahme der Lösung	Rückschau	Monitoring and Reflecting

In der vorliegenden Arbeit werden im Hinblick auf die empirische Untersuchung selbstberichteter Problemlöseprozesse (siehe Kapitel 5.4.2) vier Phasen zum Lösen von Problemen unterschieden:

Phase 1: Wahrnehmen und Verstehen des Problems;

Phase 2: Ausdenken eines Plans;

Phase 3: Ausführen des Plans und Durcharbeiten des Problems;

Phase 4: Rückschau und Prüfung der Lösung.

Diese Phasen lehnen sich stark an diejenigen von Polya (1949) an, da er sich mit dem Problemlösen im mathematischen Kontext beschäftigte, welches auch in der vorliegenden Arbeit im Zentrum steht (siehe auch Kapitel 3.1.3). Seine Überlegungen zum Lösen von Problemen sind aber wie bereits festgehalten auch auf andere Fachbereiche übertragbar. Die Stufen nach Polya (1949) lassen sich, wie Tabelle 7 zeigt, auch in den Phasen anderer, kontextunabhängiger Modelle finden (z.B. OECD, 2014b). Zudem werden in der vorliegenden Arbeit die Überlegungen von Dewey (1910, 2002) miteinbezogen. So entsprechen die oben aufgeführten vier Phasen den fünf Stufen eines vollständigen Denkaktes, wobei die ersten beiden Stufen des Denkaktes nach Dewey zusammengefasst werden. Dies lässt sich unter Verweis auf Dewey selbst begründen, da die ersten beiden Stufen ihm zufolge auch ineinander übergehen und verschmelzen können, wenn eine Schwierigkeit als genug bedeutend erlebt und sofort das Denken zur Lösung angeregt wird. Für das Zusammenführen der beiden ersten Stufen spricht auch, dass die erste Stufe für den Unterricht kaum relevant ist, da hier meistens ein Problem auch als solches dargelegt wird und nicht zuerst wahrgenommen werden muss (siehe auch Betsch et al., 2011; Rott, 2014).

Auf der Grundlage der Theorie und der vier beschriebenen Phasen wurde für die vorliegende Arbeit ein Problemlösemodell entwickelt (siehe Abbildung 4). Die vier Phasen folgen im idealtypischen Fall aufeinander (dicke schwarze Pfeile). Da Problemlösen aber oft nicht gradlinig und linear verläuft, im Planungs- und Problemlöseprozess Fehler und Sackgassen möglich sind und die problemlösende Person je nachdem eine oder mehrere Phasen zurückgehen muss,

um den Lösungsweg zu korrigieren (siehe Kapitel 3.4.2), beinhaltet das vorliegende Modell zusätzlich in jeder Phase Rückkopplungsschleifen (dünne schwarze Pfeile). Zudem besteht die Möglichkeit, dass Problemlöserinnen und Problemlöser gar nicht bei der ersten Phase beginnen und sich danach bis zur letzten Phase vorarbeiten, sondern dass sie sich flexibel und mehrmals durch die verschiedenen Phasen bewegen (Bransford & Stein, 1993). Ebenfalls denkbar ist, dass in der Praxis Problemlösephasen übersprungen werden (gestrichelte Pfeile), obwohl dies aus theoretischer Sicht wenig sinnvoll ist (siehe Kapitel 3.4.1 und auch Hinweise zur Strategie „Versuch und Irrtum“ in Kapitel 3.5.2). Da es aus theoretischer Sicht nicht möglich ist, von Phase 1 bzw. von Phase 2 direkt zu Phase 4 zu springen, werden diese Verbindungen im Modell jedoch nicht angegeben. Des Weiteren gibt es im vorgeschlagenen Phasenmodell auch eine Verbindung zwischen der ersten und der letzten Phase (dicker grauer Pfeil), weil eine Antwort auch neue Fragen und Probleme aufwerfen kann und der Problemlöseprozess somit wieder von vorn beginnt (Bransford et al., 1987). Gerade im mathematischen Kontext kann das Suchen nach einer Problemlösung zu neuen oder allgemeineren mathematischen Ideen oder weiterführenden Problemen führen (Leuders, 2003). Nicht speziell berücksichtigt werden Problemlöseprozesse, welche abgebrochen werden. Dies kann jederzeit und in jeder Phase geschehen.

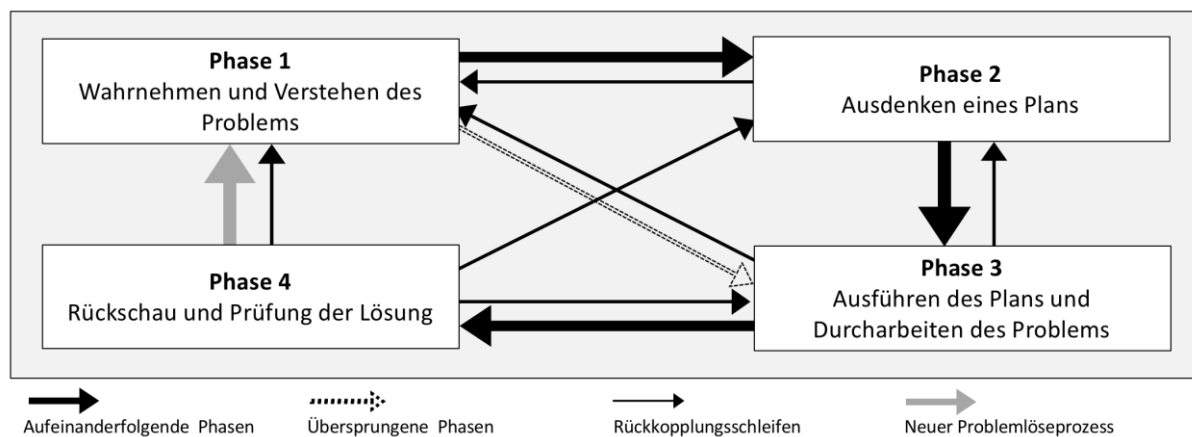


Abb. 4: Problemlösemodell (I) (eigene Darstellung)

3.4.4 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit): Problemlösephasen

Im in Kapitel 3.1.3 vorgestellten Verpackungsproblem müssen drei verschiedene Schachteln für vier Tischtennisbälle gefunden und gezeichnet werden (Aufgabe 1). Dazu müssen auch die Faltpläne skizziert werden (Aufgabe 2), wobei ein Faltpfad zusätzlich in Originalgröße gezeichnet werden muss (Aufgabe 3). Zudem müssen jeweils für alle drei Schachteln die Oberfläche

und das Volumen berechnet werden (Aufgabe 4). Wie diese Problemlöseaufgabe konkret gelöst werden könnte, wird im Folgenden dargestellt.

Da das Problem als solches vorgegeben wird, muss es in einer ersten Phase nicht mehr wahrgenommen, sondern vor allem verstanden werden. Dazu gehört zum Beispiel, dass in Aufgabe 1 drei Schachteln für genau vier Tischtennisbälle gezeichnet werden sollen und dass die Schachteln eine Öffnung haben und deshalb aus einem geometrischen Körper verschiedene Schachtelformen erstellt werden können (siehe auch Kapitel 3.2.3 und 3.5.9). In einem zweiten Schritt müssen verschiedene Schachteln ausgedacht werden. Falls die problemlösende Person mehr als drei Schachteln entwickelt hat, muss sie sich auch entscheiden, welche drei davon sie umsetzen will. Die in Phase 2 ausgedachten Schachteln müssen danach in Phase 3 gezeichnet werden. Dazu braucht es eine Transformation von einer dreidimensionalen Verpackung in eine zweidimensionale Zeichnung. Zum Schluss muss die Lösung überprüft werden, beispielsweise indem die Verpackungen zusätzlich in Originalgrösse gebaut werden und getestet wird, ob die Tischtennisbälle tatsächlich Platz haben.

In Aufgabe 2 müssen keine neuen Schachteln mehr ausgedacht werden, sondern es müssen für die bereits in Aufgabe 1 entwickelten Schachteln die drei entsprechenden Faltpläne gezeichnet werden. Diese Aufgabe zeichnet sich somit durch eine gewisse Abhängigkeit von der ersten Aufgabe aus. Ausserdem ist die Aufgabe auch hier klar vorgegeben und das Problem muss nicht mehr als solches wahrgenommen werden, sondern die problemlösende Person kann direkt mit dem Ausdenken der zu Aufgabe 1 passenden Faltpläne beginnen (Phase 2) – unter der Voraussetzung, dass in Aufgabe 1 drei Schachteln gefunden wurden. Je nach Schachtelform sind verschiedene Faltpläne möglich (z.B. Faltpplan wird ausgehend von der Grundfläche gezeichnet oder der Faltpplan wird nicht ausgehend von der Grundfläche gezeichnet; siehe Kapitel 1.3.2 in Anhang B). Das heisst, die problemlösende Person muss auch in dieser Aufgabe gewisse Entscheidungen treffen, obwohl die Schachteln bereits aus Aufgabe 1 vorgegeben sind. In Phase 3 müssen die gewählten Faltpläne skizziert werden. Zuletzt muss die Lösung kontrolliert werden, was beispielsweise durch das Anfertigen der Schachteln geschehen könnte.

In Aufgabe 3 muss ein Faltpplan in Originalgrösse gezeichnet werden, was einer Umsetzung der Vorarbeit in Aufgabe 2 entspricht. Es besteht somit wiederum eine gewisse Abhängigkeit von der vorangehenden Aufgabe. Die problemlösende Person muss nach dem Verstehen des Problems (Phase 1) eine Schachtel aus Aufgabe 1 bzw. den entsprechenden Faltpplan aus Aufgabe 2

auswählen (Phase 2) und in Originalgrösse zeichnen (Phase 3). Falls in Aufgabe 1 und 2 mehrere Schachteln und Faltpläne gezeichnet wurden, muss die problemlösende Person entscheiden, welche Verpackung sie in Originalgrösse zeichnen will. Bei der Auswahl des Faltplans kann zum Beispiel der Aspekt der Machbarkeit eine Rolle spielen: So kann es effizient sein, einen eher einfachen Faltplan auszuwählen (z.B. Quader anstatt Zylinder zeichnen, da es für den Zylinder zusätzlich einen Zirkel braucht). Um den Faltplan in Originalgrösse zeichnen zu können, muss des Weiteren die Grösse der Tischtennisbälle bekannt sein. Dies kann am einfachsten durch das Messen der vorgegebenen Schachtel ermittelt werden. Denkbar ist auch, dass jemand diesbezüglich über Vorwissen verfügt, da sie bzw. er zum Beispiel Tischtennis spielt. Falls die Lernenden die tatsächliche Grösse der Tischtennisbälle nur schätzen oder ungenau messen, kann sich dies negativ auf die Schachtel in Originalgrösse auswirken. In Phase 4 kann die Lösung kontrolliert werden, indem beispielsweise der Faltplan auch tatsächlich hergestellt wird und anhand der Bälle überprüft wird, ob er stimmt. So können Ungenauigkeiten allenfalls entdeckt und korrigiert werden.

In der letzten Aufgabe müssen Oberfläche und Volumen der drei bereits in Aufgabe 1 gezeichneten Verpackungen berechnet werden. Auch hier muss das Problem nicht mehr wahrgenommen werden, sondern es kann direkt mit dem Verstehen des Problems (Phase 1) begonnen werden. Anschliessend muss ein Plan ausgedacht werden, wobei es insbesondere bei der Berechnung der Oberfläche hilfreich sein kann, auf die Faltpläne aus Aufgabe 2 zurückzugreifen. Beim Berechnen der Oberfläche stellen sich zudem je nach Schachtel verschiedene Fragen: Bei einem Quader muss beispielsweise entschieden werden, ob alle fünf Teilflächen einzeln berechnet und anschliessend summiert werden sollen oder ob die Mantelfläche als eine Fläche berechnet werden kann, welche danach noch zur Grundfläche addiert werden muss (Phase 2). Bei dieser Aufgabe ist das Vorwissen zentral, denn wer sich nicht mehr an die Formeln und das Vorgehen zur Flächen- und Volumenberechnung erinnern kann, wird eher an dieser Aufgabe scheitern (siehe auch Kapitel 3.5.1). In Phase 3 wird der gefasste Plan umgesetzt, wobei Hilfsmittel (siehe auch Kapitel 3.5.7), wie ein Taschenrechner, verwendet werden können. Zum Schluss muss die Lösung überprüft werden (Phase 4). Dazu gehört zum Beispiel auch die Kontrolle, ob Masseneinheiten angegeben wurden und ob diese stimmen können (z.B. Quadratzentimeter für die Fläche und Kubikzentimeter für das Volumen).

Denkbar ist ausserdem, dass die problemlösende Person nicht alle vier Aufgaben nacheinander bearbeitet, sondern sich zunächst eine erste Schachtel ausdenkt (Aufgabe 1), dazu einen

Faltplan skizziert (Aufgabe 2), diesen in Originalgrösse zeichnet (Aufgabe 3) und die Oberfläche sowie das Volumen berechnet (Aufgabe 4). Anschliessend überlegt sie sich eine neue Schachtel und arbeitet wiederum alle Schritte durch (ohne Aufgabe 3, da nur ein Faltplan in Originalgrösse gezeichnet werden muss). Dieses Vorgehen wiederholt sie auch ein drittes Mal. Es ist auch möglich, dass der Problemlöseprozess beim Verpackungsproblem nicht wie beschrieben linear abläuft oder sogar abgebrochen wird. Während des Problemlösens können Fehler auftreten und die problemlösende Person muss eine oder mehrere Phasen zurückgehen. Ausserdem können sich mit der Lösung des Problems auch neue Fragen ergeben: Welches ist die beste Verpackung? Wie könnten drei oder fünf Tischtennisbälle verpackt werden?

3.5 Welche individuellen Voraussetzungen und Ressourcen sind für das Lösen von Problemen notwendig?

Für das Problemlösen braucht es verschiedene individuelle Voraussetzungen und Ressourcen aufseiten der problemlösenden Person. Gemäss verschiedenen Arbeiten von De Corte und Mitarbeitenden (z.B. De Corte, 1995; De Corte, Greer & Verschaffel, 1996; De Corte, Verschaffel & Op 't Eynde, 2000) setzt sich die mathematische Problemlösekompetenz aus vier Fähigkeitsaspekten⁴ zusammen:

- *Domain-Specific Knowledge*: Grosses, gut organisiertes und flexibles fachspezifisches Vorwissen über Fakten, Symbole, Algorithmen, Konzepte oder Regeln;
- *Heuristic Methods*: Heuristische Methoden und Strategien des Problemlösens;
- *Metacognitive Knowledge and Self-Regulatory Skills*⁵: Wissen über die eigenen kognitiven Funktionen wie auch über die eigene Motivation, die eigene Volition und die eigenen Emotionen sowie über selbstregulative Fähigkeiten, welche kognitive, motivationale und emotionale Prozesse regulieren;
- *Affective Components*: Beliefs, Einstellungen und Emotionen in Bezug auf mathematisches Lernen, auf den sozialen Kontext, in welchem die mathematischen Aktivitäten stattfinden, und auf Mathematik.

Unbestritten ist, dass Wissen, heuristische Strategien sowie Metakognition als wichtige individuelle Voraussetzungen für das erfolgreiche Lernen und Problemlösen gelten (z.B. Beck,

⁴ De Corte (1995) versteht unter dem Begriff *aptitude* „any characteristic of a student that can influence his or her learning and problem-solving activity and achievement“ (S. 37).

⁵ In neueren Arbeiten werden das Metawissen und die selbstregulatorischen Fähigkeiten als zwei verschiedene *aptitudes* aufgeführt (z.B. De Corte, Depaepe, Op 't Eynde & Verschaffel, 2011).

Guldimann & Zutavern, 1991; Hugener, 2008; Mayer, 1998; Pressley, Borkowski & Schneider, 1989). Ebenfalls wichtig beim Problemlösen sind gemäss verschiedenen Autorinnen und Autoren die unter dem vierten Punkt aufgeführten Emotionen, die Motivation und die Volition (z.B. Betsch et al., 2011; Hasselhorn & Gold, 2013; Hugener, 2008; Mayer, 1998). Zusätzlich zu den oben genannten vier Fähigkeitsaspekten verfügen kompetente Problemlösende auch über kommunikative und soziale Kompetenzen (z.B. Beck et al., 1991; OECD, 2004, 2017d): Erfolgreiche Problemlösende können sich mit anderen Personen verständigen und austauschen, ihre Ergebnisse Aussenstehenden kommunizieren, von und mit anderen Personen lernen und sich gegenseitig helfen. Treten beim Problemlösen Schwierigkeiten auf, kann neben sozialen Ressourcen auch auf Hilfsmittel und externe Repräsentationen zurückgegriffen werden. Laut Zimmerman und Martinez-Pons (1988) wählen, strukturieren und kreieren selbstregulierte Lernende ihre sozialen und physischen Umgebungen, um auf diese Weise die Wissensaneignung zu optimieren. Darüber hinaus sind „übergreifende Fähigkeiten und Persönlichkeitsmerkmale wie das Durchhaltevermögen, die Organisiertheit oder eine gewisse Proberhaltung“ (Holzäpfel et al., 2016, S. 4) sowie „eine gewisse *Anstrengungsbereitschaft* und *geistige Beweglichkeit* im Umgang mit der Problemstellung und den verfügbaren mathematischen Kenntnissen“ (Kuzle & Bruder, 2016, S. 3, Hervorhebungen im Original) beim Lösen von Problemen wichtig. Erfolgreiche Problemlösende legen zudem mehr Wert auf Genauigkeit anstatt auf Geschwindigkeit, sind zuversichtlich, mit den eigenen Ressourcen etwas erreichen zu können, mögen mehrdeutige Situationen, lassen sich nicht durch Schwierigkeiten beunruhigen und können gut mit Stress umgehen (Funke & Zumbach, 2006; Stebler, 1999).

Für das erfolgreiche Problemlösen haben somit zusammenfassend die folgenden individuellen kognitiven und motivational-volitionalen Voraussetzungen sowie Ressourcen eine zentrale Bedeutung: (1) Wissen, (2) Problemlösestrategien, (3) Metakognition, (4) Motivation und Volition, (5) Emotionen, (6) soziale Ressourcen sowie (7) Hilfsmittel und externe Repräsentationen. Diese Aspekte werden in den Kapiteln 3.5.1 bis 3.5.7 einzeln beschrieben. Das bedeutet jedoch nicht, dass sie voneinander unabhängig sind. Vielmehr trifft das Gegenteil zu, denn es kann davon ausgegangen werden, dass diese Komponenten erfolgreichen Problemlösens untereinander integrativ und interaktiv zusammenhängen (De Corte, 1995). Wie sie jedoch genau zusammenwirken müssen, damit erfolgreich gelernt werden kann und Probleme gelöst

werden können, ist derzeit noch nicht genügend erforscht (Hasselhorn & Gold, 2013). In Kapitel 3.5.8 werden die verschiedenen Aspekte zusammenfassend dargestellt und in Kapitel 3.5.9 zusätzlich anhand des in Kapitel 3.1.3 vorgestellten Verpackungsproblems konkretisiert.

3.5.1 Wissen

Eine erste wichtige individuelle kognitive Voraussetzung für das erfolgreiche Problemlösen ist ein umfangreiches, gut organisiertes und strukturiertes sowie flexibles Wissen, welches zum richtigen Zeitpunkt aktiviert werden kann (z.B. De Corte et al., 2011; Edelman & Wittmann, 2012; Funke & Zumbach, 2006; Glaser & Chi, 1988; Hasselhorn & Gold, 2013; Mayer, 1998; Stebler, 1999). Durch domänenspezifisches Wissen wird eine differenzierte Situations- und Problemanalyse ermöglicht, was die Basis für die Lösungsplanung bildet und eher zum Erfolg führt (Dörner, 1989; Rott, 2014). Darüber hinaus nutzen erfolgreiche Problemlöser laut Funke und Zumbach (2006) Hintergrundwissen zur kritischen Beurteilung eines Problems und der Lösung. Auch aus der Experten-Novizen-Forschung ist bekannt, dass Expertinnen und Experten über ein umfangreicheres und besser organisiertes Wissen und vielfältigere Problemlösestrategien verfügen als Novizinnen und Novizen und auch besser wissen, wie und wann das Wissen einzusetzen ist (z.B. Beck et al., 1991; Hasselhorn & Gold, 2013). Erfolgreiche Problemlöser scheinen zudem bei Aufgaben systematischer vorzugehen als weniger erfolgreiche Problemlöser (Funke & Zumbach, 2006; Zimmermann, 1977).

Insgesamt beeinflusst gemäss Hasselhorn und Gold (2013) das Vorwissen die Qualität der Informationsverarbeitung auf verschiedene Arten: Dank Vorwissen werden Entscheidungen über die Relevanz von Informationen erleichtert und auch der Prozess der selektiven Aufmerksamkeit wird unterstützt. Des Weiteren wird laut den Autoren das Arbeitsgedächtnis entlastet, da Konzepte schneller aktiviert und miteinander verknüpft werden können, wenn auf bestehendes Wissen zurückgegriffen werden kann. Zudem kann Vorwissen das Interesse am Lerngegenstand steigern, wodurch die Bereitschaft erhöht wird, weitere Ressourcen zu mobilisieren (siehe auch Kapitel 3.5.4). Vorwissen hat auch den Vorteil, dass es die Nutzung von Strategien und metakognitiver Regulation fördert und erleichtert (siehe auch Kapitel 3.5.2 und 3.5.3).

Während einige allgemeine Probleme mit wenig Sachwissen gelöst werden können, beispielsweise braucht es für das Spiel „Solitär“ kein fachspezifisches Wissen (Arbinger, 1997), erfor-

dert das Lösen mathematischer Probleme Fachwissen. Mayer (1992) unterscheidet fünf Wissensarten, über welche Schülerinnen und Schüler verfügen müssen, um mathematische Probleme lösen zu können (siehe Abbildung 5).⁶

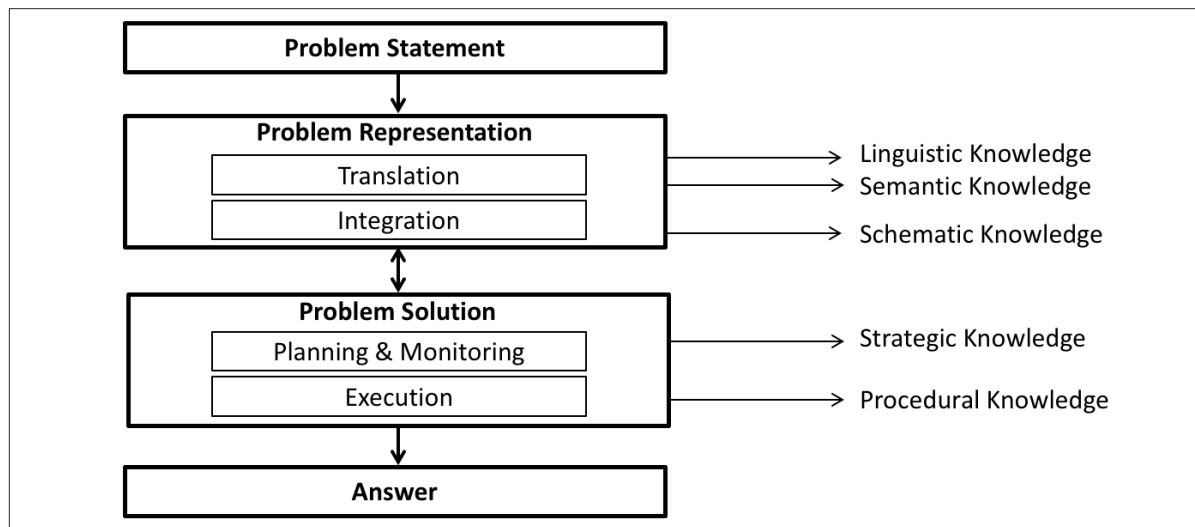


Abb. 5: Überblick über die verschiedenen Wissensarten im mathematischen Problemlöseprozess nach Mayer (1992, S. 459)

In Abbildung 5 sind diese fünf verschiedenen Wissensarten im Ablauf des mathematischen Problemlöseprozesses situiert (siehe auch Kapitel 3.4.1). In einem ersten Schritt muss ein Problem gemäss Mayer verstanden werden (Verstehen der Sprache, Bedeutung der einzelnen Wörter). Des Weiteren braucht es Wissen über Fakten, beispielsweise dass 120 Minuten zwei Stunden entsprechen, und über die Art des Problems (z.B. Fläche berechnen). Die ersten drei Wissensarten dienen dabei laut Mayer der Übersetzung (Translation) und der Integration. Zusammen bilden sie die Stufe der Problemrepräsentation (Problem Representation). Das strategische Wissen beinhaltet das Wissen über Planungs- und Überwachungsstrategien (siehe auch Kapitel 3.5.3). Beim prozeduralen Wissen geht es um das Wissen darüber, wie Operationen ausgeführt werden müssen. Diese beiden Wissensarten sind der eigentlichen Problemlösung (Problem Solution) zugeordnet.

Problemlösen und Intelligenz

Wenn Vorwissen als wichtige Voraussetzung für erfolgreiches Problemlösen angesehen wird, stellt sich die Frage, ob fehlendes Wissen zum Beispiel durch Intelligenz kompensiert werden

⁶ In einer neueren Publikation sprechen Mayer und Wittrock (2006) von *factual, conceptual, procedural, strategic* und *metacognitive knowledge* sowie *beliefs*, meinen damit aber grundsätzlich die gleichen Wissensarten wie Mayer (1992).

kann, denn diese wird oft als „allgemeine Fähigkeit zum Denken und Problemlösen in Situationen, die für das Individuum neuartig, das heisst nicht durch Lernerfahrungen vertraut sind, sodass keine automatisierten Handlungsroutinen zur Problemlösung eingesetzt werden können“ (Perleth, 2008, S. 15) aufgefasst. Hasselhorn und Gold (2013) gelangten anhand verschiedener Studien zum Schluss, dass auch bei hoher Intelligenz Vorwissen nötig ist, wenn in einem Inhaltsbereich möglichst gute Lernleistungen erreicht werden sollen, und dass ein umfangreiches Vorwissen sogar bis zu einem gewissen Grad einen Mangel an allgemeiner Intelligenz kompensieren kann. Gemäss den Autoren scheint es aber für intelligenteren Personen zugleich einfacher zu sein, sich Vorwissen anzueignen. Bezüglich der Korrelation von Leistungen in Intelligenztests und Leistungen beim Problemlösen zeigen empirische Studien jedoch widersprüchliche Ergebnisse (zusammenfassend in Fritz et al., 2014). Fritz et al. (2014) erklären dies unter Verweis auf die unterschiedliche Art von Aufgaben in Intelligenz- und Problemlösetests und die damit einhergehenden unterschiedlichen kognitiven Prozesse, die beim Lösen eines Intelligenztests bzw. eines Problems erfordert werden. Bei den eindeutig lösbaren Aufgaben in Intelligenztests müssen Gemeinsamkeiten und Unterschiede ausfindig gemacht und verschiedene Beziehungen hergestellt werden. Es ist somit vor allem eine analytische Intelligenzkomponente (Analyse, Evaluation, Beurteilung, Vergleich) nach Sternberg (2003) nötig. Probleme sind hingegen nicht immer gut definiert und eindeutig lösbar. Bei gut definierten Problemen werden zwar auch analytische Intelligenzkomponenten (z.B. logisches Schliessen) benötigt, bei schlecht definierten Problemen steigt aber die Bedeutung der kreativen Intelligenz (Erfinden, Entdecken, Erkunden, Modellbilden) und beim Erkennen von Transfermöglichkeiten wird die praktische Intelligenz (Anwenden, Gebrauchen, Implementieren von Bedeutung) wichtig (Funke & Zumbach, 2006; Sternberg, 2003).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein gut strukturiertes und umfangreiches Fachwissen beim Lösen von Problemen sehr wichtig ist und ein umfangreiches Vorwissen sogar bis zu einem gewissen Grad einen Mangel an allgemeiner Intelligenz kompensieren kann. Ausserdem hängt es unter anderem vom verfügbaren Wissen ab, ob etwas als Problem (kein oder wenig Vorwissen) oder als Aufgabe (viel Vorwissen) wahrgenommen wird (siehe auch Kapitel 3.1). Überdies unterstützt Wissen das Problemlösen in verschiedenen weiteren Bereichen, da es beispielsweise die Nutzung von Strategien (siehe auch Kapitel 3.5.2), den Einsatz metakognitiver Regulation (siehe auch Kapitel 3.5.3) oder das Erstellen externer Visualisierungen (siehe auch Kapitel 3.5.7) erleichtert.

3.5.2 Problemlösestrategien

Wissen allein reicht nicht, um ein Problem erfolgreich zu bewältigen, sondern erfolgreiche Problemlösende verfügen auch über ein breites Repertoire von Problemlöseverfahren. In diesem Kapitel wird zunächst beschrieben, was unter Lern- und Problemlösestrategien verstanden wird, anschliessend wird aufgezeigt, welche Strategien besonders zum erfolgreichen Problemlösen beitragen. Abschliessend werden verschiedene Trainings zur Förderung von Problemlösestrategien vorgestellt.

Lern- und Problemlösestrategien

Gemäss verschiedenen Definitionen handelt es sich bei Lernstrategien „(a) um eine Abfolge von effizienten Lerntechniken, die (b) zielführend und flexibel eingesetzt werden, (c) zunehmend automatisiert ablaufen, aber (d) bewusstseinsfähig bleiben“ (Streblow & Schiefele, 2006, S. 353). Dabei kann der Begriff der Lernstrategien in einem engeren und weiteren Sinn verwendet werden: In einem engeren Sinn werden unter Lernstrategien gemäss Büchel und Büchel (2015) Strategien zur Integration neuer Informationen sowie deren Behalten und Abrufen verstanden (z.B. Mnemotechniken). In einem weiteren Sinn werden neben den eigentlichen Lernstrategien auch Problemlösestrategien miteinbezogen, wobei diese nicht trennscharf voneinander abgrenzbar sind. Laut Rollett (2008) werden unter Problemlösestrategien konkret „alle im Rahmen des Problemlöseprozesses unterscheidbaren zielbezogenen Massnahmen, die Probanden im Rahmen des Problemlöseprozesses einsetzen“ (S. 55, Hervorhebung getilgt) verstanden. Diese zielbezogenen Massnahmen können flexibel in verschiedenen unbekannten Situationen eingesetzt werden und sind nicht auf einen Inhalt begrenzt (Philipp & Herold-Blasius, 2016). Tabelle 8 zeigt, wie sich Problemlösestrategien gemäss Leuders (2003) je nach Bereich und Phase des Problemlösens genauer einstufen lassen. Der Autor bezieht sich dabei auf das Problemlösen im Mathematikunterricht.

Tab. 8: Verschiedene Problemlösestrategien nach Leuders (2003, S. 133)

Problemfindungsstrategien und Produktionsstrategien	<ul style="list-style-type: none"> • Systematische Aufgabenvariation, um neue Probleme und Lösungsansätze zu erzeugen
Ord nende Strategien	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellung als Diagramm, Tabelle oder Graph • Systematisches Aufzählen aller Fälle
Lösungsstrategien im engen Sinne	<ul style="list-style-type: none"> • Vorwärts- und Rückwärtsarbeiten • Zerlegen • Analogisieren • Wechsel der Darstellung • Beispiele suchen
Kontrollstrategien	<ul style="list-style-type: none"> • Festhalten des Arbeitsstandes • Checklisten • Rückbesinnung auf das Ausgangsproblem
Überprüfungs- und Reflexionsstrategien	<ul style="list-style-type: none"> • Plausibilitätsprüfung • Rechenprobe • Reflexion des Weges • Suche nach Alternativen

Im Kontext des Problemlösens wird oft auch von Algorithmen und Heuristiken gesprochen. Heuristische Verfahren werden seit den Anfängen der Mathematik genutzt (Zimmermann, 2003). Es sind spezielle Strategien, welche „angewendet werden, wenn der bestmögliche Lösungsweg unbekannt oder zu aufwändig ist“ (Betsch et al., 2011, S. 157). Heuristiken sind somit eine Art Faustregeln, welche aber nicht immer zum Erfolg führen. Immer zum Erfolg, falls sie richtig angewendet werden, führen hingegen Algorithmen, da es sich dabei um Verfahren mit klar bestimmten Regeln handelt (siehe auch Schukajlow, 2011).

In der Literatur wird eine Vielzahl von Problemlösestrategien, Algorithmen sowie Heuristiken beschrieben: Kuzle und Bruder (2016) unterscheiden beispielsweise zwischen heuristischen Hilfsmitteln, heuristischen Strategien und heuristischen Prinzipien und führen Beispiele aus dem Geometrieunterricht auf. Heuristische Hilfsmittel wie informative Figuren, Tabellen oder Gleichungen unterstützen gemäss den Autorinnen beim Verstehen und Strukturieren eines Problems. Sobald das Problem verstanden wurde, helfen heuristische Strategien beim Finden von Lösungen. Dazu gehören Vorwärts- bzw. Rückwärtsarbeiten, systematisches Ausprobieren, Analogieschlüsse oder die Mittel-Ziel-Analyse (ein Problem wird in kleinere, weniger komplexe Probleme unterteilt und das Hauptziel wird schrittweise über die Teilziele erreicht). Ist das Problem sehr spezifisch, sind allgemeine Strategien jedoch wenig hilfreich. Hier sind heuristische Prinzipien wie Zerlegungs- oder Ergänzungsprinzipien nützlich, welche sich stärker an Fachinhalten orientieren als allgemeine Strategien (siehe z.B. auch Assmus & Fritzlar, 2014; Bransford & Stein, 1993; Otto, Perels & Schmitz, 2008; Polya, 1949; Schukajlow, 2011; Yimer & Ellerton, 2010; Zimmermann, 2003).

Eine der bekanntesten Strategien zum systematischen Finden einer Lösung ist die von Tschirgi (1980) beschriebene Strategie VOTAT (vary-one-thing-at-a-time). Bei diesem Vorgehen wird jeweils gezielt ein Wert verändert und danach ermittelt, was sich an der Lösung geändert hat. Im Zusammenhang mit komplexen Problemen sprechen Lotz, Scherer, Greiff und Sparfeldt (2017) auch von der NOTAT-Strategie (vary-no-thing-at-a-time). Bei dieser Strategie verändert die problemlösende Person absichtlich nichts, damit sie die Veränderungen und die Eigendynamik bewusst verfolgen und nachvollziehen kann. Weiter beschreibt Tschirgi (1980) die Strategien HOTAT (hold-one-thing-at-a-time, d.h. die hypothetische Variable wird konstant gehalten und die restlichen Variablen werden verändert) und CA (change-all, d.h. alle Variablen werden geändert). VOTAT ist eine erfolgreiche Strategie, da sie es den Problemlösenden ermöglicht, die Auswirkungen einer Input-Variablen auf die Output-Variablen zu untersuchen. Diese Strategie wird vor allem im Zusammenhang mit komplexem Problemlösen untersucht (z.B. Greiff, Niepel, Scherer & Martin, 2016; Scherer & Tiemann, 2012; Wüstenberg, Greiff & Funke, 2012; Wüstenberg, Greiff, Molnár & Funke, 2014).

Im Gegensatz zum oben beschriebenen kognitiven Ansatz des systematischen Ausprobierens (z.B. VOTAT) ist die Lösungsmethode „Versuch und Irrtum“ („trial and error“) aus dem behavioristischen Modell gemäss verschiedenen Autorinnen und Autoren eine wenig effiziente Strategie und kann höchstens als eine Vorstufe des Problemlösens gesehen werden (Betsch et al., 2011; Escher & Messner, 2015; Funke, 2015). Willkürliches Ausprobieren ist vor allem dann beobachtbar, wenn die Lernenden eine Problemsituation nicht verstanden haben und kein passendes Problemschema heranziehen konnten (Arbinger, 1997). Das planlose Ausprobieren von verschiedenen Lösungswegen kann zwar zu zufälligen Lösungen führen, diese können jedoch kaum für andere Problemsituationen genutzt werden und so entstehen oft „unverstandene Lösungsgewohnheiten, welche in neuen Situationen versagen oder unangemessen sind“ (Escher & Messner, 2015, S. 301). Dass unverstandene Lösungswege in neuen Situationen versagen, zeigt auch die Beobachtung von Wertheimer (1964): Lernende konnten bei der Flächenberechnung von Parallelogrammen das Lösungsvorgehen der Lehrperson kopieren, ohne es verstanden zu haben. Als die Schülerinnen und Schüler jedoch die Fläche von Parallelogrammen berechnen sollten, bei welchen die Hilfslinien ausserhalb der Figur lagen, waren viele überfordert, da die „blinde Wiederholung“ (S. 18) des Vorgehens der Lehrperson in diesem Fall nicht mehr zum Ziel führte.

Neben „Versuch und Irrtum“ haben sich auch weitere Problemlösestrategien und heuristischen Vorgehen in empirischen Studien als nicht erfolgreich erwiesen. Anders als vermutet, konnte zum Beispiel Kantowski (1977) in seiner Untersuchung zeigen, dass die Strategie des Rückwärtsarbeitens nicht mit dem Problemlöseerfolg einhergeht. Des Weiteren bestehen nicht nur zwischen, sondern auch innerhalb einzelner Strategien Unterschiede. Beispielsweise können für die Problemlösung mehr oder weniger geeignete Skizzen erstellt werden (siehe auch Kapitel 3.5.7), was auch mit dem Wissen zusammenhängt (siehe auch Kapitel 3.5.1), oder die Strategie wäre an sich zwar erfolgreich, sie wird jedoch nicht adäquat eingesetzt. Welche Strategie passend ist, hängt laut Verschaffel, Luwel, Torbeyns und Van Dooren (2009) von der Aufgabenart, dem Individuum und dem soziokulturellen Kontext ab. Ausserdem spielt nicht die Häufigkeit des Strategieeinsatzes, sondern die Qualität der verwendeten Strategien und deren Zusammenspiel eine wichtige Rolle (siehe auch Karlen, 2016).

Training von Problemlösestrategien

Wer Problemlösestrategien kennt und passend anwenden kann, hat gemäss Kuzle und Bruder (2016) „einen großen Vorteil bei ungewohnten oder schwierig erscheinenden Aufgaben“ (S. 2). Wie bei einem Problem vorgegangen wird, muss aber auch gelernt werden. Strategietrainings können direkt durchgeführt werden, das heisst, die Strategien werden „gezielt beim Bearbeiten geeigneter fachlicher Lernaufgaben eingesetzt und bewusst gemacht“ (Escher & Messner, 2015, S. 257), oder indirekt erfolgen, wobei die Aufgabe im Zentrum steht und der Einsatz der Strategie nebenbei geschieht. Dabei können die Strategien von den Lernenden selbst gefunden oder sie können durch die Lehrperson vorgegeben und vermittelt werden (Philipp & Herold-Blasius, 2016). Wenn Lernende selbst eine Strategie entdeckt haben, bedeutet dies jedoch nicht notwendigerweise, dass sie diese sofort und immer anwenden: Bei den von Stern (1992) untersuchten Zweitklässlerinnen und Zweitklässlern haben sich die neu erworbenen Strategien erst allmählich durchgesetzt. Diese stehen zu Beginn mit bereits vorhandenen, möglicherweise weniger effizienten, jedoch vertrauten Strategien in Konkurrenz. Drittklässlerinnen und Drittklässler hingegen wendeten die neu entdeckte Strategie schneller an. Daher gelangte Stern (1992) zum Schluss, dass ältere Schülerinnen und Schüler eher in der Lage seien, „einmal entdeckte Strategien so zu repräsentieren, daß sie mit hoher Wahrscheinlichkeit wieder aktiviert werden können“ (S. 119).

In der Regel kann nicht davon ausgegangen werden, dass Lernende Problemlösen implizit „mitlernen“, sondern man muss „Verfahren des Problemlösens an die Oberfläche holen, explizit machen und reflektieren“ (Leuders, 2003, S. 133). Gerade schwächere Lernende sind gemäss Stebler (1999) „ohne explizite Strategievermittlung nur bedingt in der Lage, wirksame Problemlöseverfahren aufzubauen“, und verlassen sich notgedrungen „auf selbst erfundene, oft fehlerhafte und unwirksame Vorgehensweisen, die nicht selten nur dazu dienen, eine echte Auseinandersetzung mit der Sache zu umgehen“ (S. 13). Verschiedene Trainings haben deshalb zum Ziel, Lernenden Problemlösestrategien zu vermitteln. Im Folgenden werden verschiedene Ansätze vorgestellt.

Bruder (2002) schlug vier Etappen zum Erlernen von Heuristiken vor: (1) In einer ersten Etappe werden die Lernenden allmählich an gewisse heuristische Vorgehensweisen und typische Fragestellungen im Mathematikunterricht herangeführt. Die Lehrperson nennt dazu nicht die Heuristiken, sondern gibt mittels Fragen Impulse (z.B. „Kommt euch diese Aufgabe bekannt vor?“ oder „Wie sind wir in einer ähnlichen Situation vorgegangen?“). (2) Anschliessend werden Strategien, welche explizit erworben werden sollen, mithilfe von Musteraufgaben entwickelt und vorgestellt. (3) In der dritten Etappe folgt eine Übungsphase, in welcher die neu erworbene Strategie selbstständig an leicht veränderten Aufgabenkontexten eingesetzt wird. (4) Zuletzt geht es darum, schrittweise eine flexible Anwendung der neuen Strategien anzustreben und die neue Strategie im allgemeinen Problemlösemodell zu integrieren. Kuzle und Bruder (2016) entwickelten die letzte Phase nach Bruder (2002) weiter: So sollen die Lernenden zunächst die Strategie in anderen Kontexten erfahren und danach ihr eigenes Problemlösemodell, beispielsweise in einem Lerntagebuch oder auf einem Plakat, schriftlich festhalten. Die vier bzw. fünf Phasen sollen nicht einfach nacheinander abgearbeitet werden, sondern sie sollen stets präsent und abrufbar sein, „um ihre Funktion als wirksame Orientierungshilfe beim Problemlösen erfüllen zu können“ (Kuzle & Bruder, 2016, S. 7).

Philipp und Herold-Blasius (2016) haben sogenannte Strategieschlüssel entwickelt (z.B. „Erstelle eine Tabelle“), welche den Schülerinnen und Schülern helfen sollen, Strategien im mathematischen Problemlöseprozess flexibel einzusetzen. Dabei dienen die Schlüssel nicht nur zum Lösen, sondern auch zum Beschreiben und Reflektieren der eigenen Vorgehensweisen. Die Strategieschlüssel werden in vier Phasen eingeführt: (1) In der Einführungsphase werden die Lernenden mit offenen Problemsituationen vertraut gemacht. (2) Danach werden die Strategien anhand geeigneter Aufgaben eingeführt (z.B. zum Thema *Teilbarkeit und Primzahlen*).

(3) In der dritten Phase wird zusammen das Vorgehen besprochen und reflektiert. (4) Die letzte Phase bildet der Transfer, das heisst, die Lernenden üben die erworbenen Strategien an verschiedenen Aufgaben. Philipp und Herold-Blasius (2016) konnten beobachten, dass die von den Lernenden gemäss diesem Ansatz erworbenen Strategien bei unbekannten Aufgaben auch nach mehreren Wochen noch eingesetzt werden konnten.

Unabhängig von ihrer konkreten Konzeption scheint es bei solchen Strategietrainings wichtig zu sein, dass nicht nur hochspezifische Strategien (siehe auch Friedrich & Mandl, 1992, 2006) vermittelt werden. Solche sind zwar für Lernende oft nützlicher, können aber nur in einer kleinen Anzahl von Fällen eingesetzt werden (z.B. nur bei speziellen Textproblemen). Vielmehr sollen die Schülerinnen und Schüler in der Schule auch allgemeine Strategien erwerben, welche sich bei möglichst vielen Lern- und Denkaufgaben einsetzen lassen (z.B. Mittel-Ziel-Analyse, Generieren und Testen von Hypothesen, Stützstrategien). Dabei scheint es wichtig zu sein, dass die Lernenden die Strategien reflektiert und flexibel je nach Problem einsetzen können und nicht unkritisch Strategien übernehmen, welche möglicherweise in der konkreten Situation wenig sinnvoll sind. Das Ziel bestünde somit darin, dass die Schülerinnen und Schüler während der Schulzeit ein breites Repertoire an allgemeinen, aber auch spezifischen Vorgehensweisen erwerben, welche sie automatisiert, flexibel und reflektiert in verschiedenen Kontexten einsetzen können.

Problemlösestrategien in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten

In allen Schweizer Schulen sollen mit der Einführung des Lehrplans 21 auch Lern- und Problemlösestrategien im Unterricht behandelt werden. Diese werden im verbindlichen Lehrplan einerseits als überfachliche Ziele beschrieben: Die Schülerinnen und Schüler sollen unter anderem allgemeine Lernstrategien kennen und nutzen können, Problemstellungen sichten und verstehen sowie bei Bedarf nachfragen können, bekannte Muster hinter einem Problem erkennen und daraus einen Lösungsweg ableiten können, Ziele für die Problemlösungen setzen und Umsetzungsschritte planen können, aber auch Lern- und Arbeitsprozesse durchführen, dokumentieren und reflektieren können. Andererseits wird der Prozess des Problemlösens auch in verschiedenen Fachbereichen angesprochen. Im Fach Mathematik werden beispielsweise der Strategieeinsatz und das Einüben von heuristischen Strategien als eine methodische Kompetenz vorgegeben. Befolgen die Lehrpersonen die Vorgaben des Lehrplans 21, sollten daher Vorgehensweisen und Strategien des Problemlösens im Unterricht allgemein und in den einzelnen Fächern behandelt und eingeübt werden. Dadurch sollen die Lernenden über ihre

Schulzeit hinweg ein breites Repertoire an fachspezifischen und fachunspezifischen Strategien erwerben, die sich bei möglichst vielen schulischen, aber auch ausserschulischen Problemen einsetzen lassen.

Seit Jahrzehnten wird davon ausgegangen, dass pädagogische Konzepte der individuellen Förderung unter der Leitidee des personalisierten Lernens besondere Lerngelegenheiten für den Aufbau überfachlicher Kompetenzen wie dem Problemlösen bieten (siehe auch Kapitel 2.2). Konkret sollten in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten Problemlösestrategien besonders gut erworben und aufgebaut werden können (siehe auch Kapitel 2.4): Erstens dadurch, dass die Lehrpersonen in perLen-Schulen vermehrt Gelegenheiten zum individuellen und gemeinsamen Problemlösen in ihrem Unterricht schaffen (z.B. ein Problem zum Einstieg in ein neues Thema oder zur Vertiefung von Gelerntem), wobei die Schülerinnen und Schüler zum Lösen dieser Probleme verschiedene Strategien anwenden müssen (siehe auch indirektes Training von Problemlösestrategien). Diese Schulen können dabei insbesondere auch dem Aufbau von Problemlösekompetenz in überfachlichen Settings gerecht werden, da durch die Aufhebung des Lektionentaktes verschiedene fächerübergreifende Gefässe bestehen, in welchen Schülerinnen und Schüler auch über einen längeren Zeitraum an einem grösseren, fächerübergreifenden Problem arbeiten können. Solche grösseren Probleme erfordern neben dem Einsatz bestimmter Problemlösestrategien auch den Einsatz unterschiedlicher metakognitiver Strategien wie zum Beispiel das Setzen von Teilzielen oder das Erstellen eines Zeitplans (siehe auch Kapitel 3.5.3). Ein zweites Potenzial liegt sodann in jenen Gefässen personalisiert unterrichtender Schulen, in denen Problemlösestrategien und Lerntechniken explizit thematisiert und eingeübt werden (z.B. Wahlfach „Lernen lernen“; siehe auch direktes Training von Problemlösestrategien). Ausserdem kann erwartet werden, dass die Schülerinnen und Schüler in diesen Schulen angehalten werden, regelmässig über ihre Lern- und Arbeitsprozesse nachzudenken und ihre Reflexionen in Lerntagebüchern oder ähnlichen Formaten festzuhalten (siehe auch Kapitel 2.4). Diese Reflexionen werden in der Regel anschliessend mit der Lehrperson bzw. einem Coach oder auch mit Mitlernenden besprochen. Die Verschriftlichung und Besprechung von Prozessen kann dabei verschiedene Problemlösestrategien offenlegen und als Ausgangspunkt zur gezielten Weiterentwicklung von Strategien und zum Ausbau des eigenen Strategierepertoires dienen, auch dadurch, dass fehlerhafte Strategien frühzeitig entdeckt und korrigiert werden können.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass erfolgreiche und eigenständige Problemlöserinnen und Problemlöser über ein breites Repertoire von Problemlöseverfahren verfügen, Probleme algorithmisch wie auch heuristisch angehen und Strategien passend und flexibel anwenden können. Sie wissen also, „*wie* (Ausführung), *wann* (Auslösebedingung), *wo* (Sachbereich) und *warum* (Nutzen) die ins Auge gefassten Strategien einzusetzen sind“ (Stebler, 1999, S. 117, Hervorhebungen im Original). Laut Verschaffel et al. (2009) können Strategien bewusst oder unbewusst eingesetzt werden, wobei es gemäss Pressley et al. (1989) wichtig ist, dass der Strategieeinsatz automatisiert wird, denn je mehr er automatisiert ist, desto mehr Kapazität bleibt übrig, um gleichzeitig andere Prozeduren auszuführen. Es scheint, dass in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten anhand verschiedener Vorgehensweisen (im Sinne von direkten und indirekten Trainings) Problemlösestrategien eingeführt und in verschiedenen Kontexten über einen längeren Zeitraum automatisiert werden können.

Im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit wird allgemein von Vorgehensweisen beim Problemlösen gesprochen. Dazu gehören alle zielbezogenen Massnahmen, welche im Rahmen des Problemlöseprozesses eingesetzt werden: Problemlösestrategien im engeren und weiteren Sinn, also zum Beispiel Heuristiken und Algorithmen, wie auch Kontroll-, Überprüfungs- und Reflexionsstrategien (siehe Kapitel 3.5.3). Diese Vorgehensweisen können teilweise den verschiedenen Problemlösephasen (siehe Kapitel 3.4.3) zugeordnet werden: Sobald ein Problem wahrgenommen und verstanden wurde (1. Phase), können zum Beispiel Teilziele definiert werden, oder es wird, wie bei der Strategie „Versuch und Irrtum“, direkt und unsystematisch mit dem Ausführen des Plans begonnen (3. Phase). Es gibt aber auch Vorgehensweisen, welche an verschiedenen Stellen des Problemlöseprozesses sinnvoll eingesetzt werden können: Skizzen können erstellt werden, um das Problem zu verstehen (1. Phase), aber auch um die Lösung zu planen (2. Phase). Ausserdem können Skizzen das Lösen von Problem unterstützen (3. Phase) oder Skizzen können am Schluss des Problemlöseprozesses zur Kontrolle eingesetzt werden (4. Phase).

3.5.3 Metakognition

Für erfolgreiches Problemlösen reichen die in Kapitel 3.5.1 beschriebenen kognitiven Fähigkeiten und der in Kapitel 3.5.2 ausgeführte Einsatz von Problemlösestrategien nicht aus, sondern es sind zusätzlich metakognitive Fähigkeiten⁷ notwendig (z.B. Askill-Williams, Lawson & Skrzypiec, 2012; Fritz et al., 2014; Garofalo & Lester, 1985; Jacobse & Harskamp, 2012; Mayer, 1998; Yimer & Ellerton, 2010). Im Folgenden wird dargelegt, was unter Metakognition verstanden wird. Danach werden empirische Ergebnisse aufgeführt, welche die Notwendigkeit metakognitiver Fähigkeiten für das erfolgreiche Lösen mathematischer Probleme unterstreichen. In diesem Zusammenhang wird auch auf Trainings metakognitiver Fähigkeiten eingegangen.

Hasselhorn und Labuhn (2008) bestimmen den Begriff der Metakognition wie folgt:

Metakognition wird als Sammelbegriff für eine Reihe von Phänomenen, Aktivitäten und Erfahrungen verwendet, die mit dem *Wissen* und der *Kontrolle* über eigene kognitive Funktionen (z.B. Wahrnehmung, Lernen, Gedächtnis, Verstehen, Denken) zu tun haben. Von den übrigen Kognitionen heben sich die Metakognitionen dadurch ab, dass kognitive Zustände oder Funktionen die Objekte sind, über die reflektiert wird. (Hasselhorn & Labuhn, 2008, S. 28, Hervorhebungen im Original)

Bei der Metakognition geht es somit um das Wissen über die eigenen kognitiven Funktionen sowie um deren Kontrolle und Überwachung. Mithilfe der fortlaufenden Kontroll- und Überwachungsprozesse überprüfen Problemlösende, ob die Planungs- und Problemlöseprozesse tatsächlich zum Ziel führen. Dies ermöglicht es, bei Schwierigkeiten den Lösungsweg anzupassen. Andere Autorinnen und Autoren sprechen in diesem Zusammenhang auch von „knowledge of cognition“ und „regulation of cognition“ (Garofalo & Lester, 1985, S. 164) oder „deklarativer Komponente“ und „exekutiver Komponente“ (Fritz et al., 2014, S. 147). Bei Ersterem handelt es sich um das Wissen, welches eine Person über die eigene Informationsspeicherung

⁷ Das Interesse der vorliegenden Arbeit liegt auf dem schulischen Problemlösen, wobei in diesem Zusammenhang oft nicht von Metakognition, sondern von Selbstregulation bzw. selbstreguliertem Lernen gesprochen wird. Obwohl sich die Konzepte *Metakognition* und *selbstreguliertes Lernen* auf ähnliche Phänomene und Mechanismen menschlichen Verhaltens beziehen, werden sie meistens getrennt betrachtet, da die Konzepte auf unterschiedliche Forschungstraditionen zurückgehen (Hasselhorn & Labuhn, 2008). Das Konzept der Metakognition ist älter und stammt aus der entwicklungspsychologischen Gedächtnisforschung, während das Konzept des selbstregulierten Lernens in der pädagogisch-psychologischen Lernforschung zu verorten ist. Das Konzept des selbstregulierten Lernens ist umfassender als das Konzept der Metakognition (Baker, 1994) und beinhaltet zusätzlich zu den metakognitiven auch kognitive und motivationale Komponenten (Landmann, Perels, Otto, Schnick-Vollmer & Schmitz, 2015). Dies zeigt sich auch in der Definition von Zimmerman (2001): „Students can be described as self-regulated to the degree that they are metacognitively, motivationally, and behaviorally active participants in their own learning process“ (S. 5). Das Zusammenspiel der verschiedenen Faktoren kommt auch in den Modellvorstellungen zum selbstregulierten Lernen zum Ausdruck, zum Beispiel bei Boekaerts (1999) oder Zimmerman (2000) (siehe auch Vergleich verschiedener Modelle selbstregulierten Lernens bei Panadero, 2017). Obwohl in diesem Kapitel der Schwerpunkt auf der Metakognition liegt, werden nachfolgend trotzdem einzelne Ergebnisse zum Zusammenhang von Selbstregulation und Problemlösen berichtet.

und -wiedergabe hat, wie auch um das Wissen über Strategien. Die exekutive Komponente bezieht sich demgegenüber auf Prozesse, welche die Informationsverarbeitung steuern, überwachen und kontrollieren. Durch diese beiden Komponenten ermöglicht Metakognition laut Hefendehl-Hebeker (2003) „eine verbesserte Selbstbeobachtung und -beurteilung und eine daraus resultierende bewusste und effiziente Regulierung der eigenen geistigen Aktivität“ (S. 118).

Metakognition lässt sich noch weiter ausdifferenzieren. So unterscheiden beispielsweise Hasselhorn und Labuhn (2008) fünf Subkategorien: systemisches Wissen, epistemisches Wissen, exekutive Kontrollprozesse, Sensitivität für die Möglichkeit kognitiver Aktivitäten und metakognitive Erfahrung bezüglich der eigenen kognitiven Aktivität. Im Zusammenhang mit dem Problemlösen sind insbesondere die exekutiven Kontrollprozesse, worunter Orientieren, Planen, Überwachen und Beurteilen fallen (siehe z.B. Brown, 1984; Garofalo & Lester, 1985; Hasselhorn, 2012; Meichenbaum, 1977), von Bedeutung, da sie eine Ähnlichkeit mit den Problemlösephasen nach Dewey (1933) oder Polya (1949) aufweisen (siehe Kapitel 3.4.1). Tabelle 9 zeigt, wie die Problemlösephasen und metakognitiven Strategien einander zugeordnet werden können (siehe auch Stebler, 1999).

Tab. 9: Gegenüberstellung von Problemlösephasen und exekutiven Kontrollprozessen (siehe auch Stebler, 1999)

Problemlösephase (z.B. Dewey, 1933; Polya, 1949)	Exekutive Funktionen (z.B. Brown, 1984; Garofalo & Lester, 1985; Hasselhorn, 2012; Meichenbaum, 1977)
Wahrnehmen und Verstehen des Problems sowie erste Auseinandersetzung und Bearbeitung	Orientieren (u.a. Übersicht über neue oder irritierende Situation verschaffen, Analyse der Sachlage, Erkennen der möglichen Ursachen für das Problem)
Ausdenken eines Plans und Entstehung einer möglichen Lösung	Planen (u.a. Vorhersage von Resultaten, Definieren von Zielen und Teilzielen, Entwerfen von Strategien)
Ausführen des Plans und Durcharbeiten des Problems	Überwachen (Steuerung, Prüfung, allenfalls Entscheidungen zur Modifikation des Plans bzw. des Vorgehens)
Rückschau, Prüfung, Bewährung und Bestätigung der Lösung	Ergebnisprüfung, Beurteilen, Bewertung

In den letzten Jahren rückte die Metakognition nicht nur im Zusammenhang mit Lernen, sondern auch im Zusammenhang mit Problemlösen immer mehr ins Zentrum des Forschungsinteresses, weshalb eine Vielzahl qualitativer und quantitativer Studien sowie Interventionsstudien dazu durchgeführt wurden. Im Folgenden werden ausgewählte Studien vorgestellt.

Wie Metakognition beim mathematischen Problemlösen gemessen werden kann, haben Jacobse und Harskamp (2012) untersucht. Dazu testeten sie die Instrumente Lautes Denken, Selbstbeurteilungsfragebogen und VisA (Visualization and Accuracy) bei Fünftklässlerinnen und Fünftklässlern. Das VisA-Instrument erfasst den selbst eingeschätzten Lösungserfolg vor

und nach dem Lösen der jeweiligen Probleme (z.B. „Was denkst du, wie gut wirst du das Problem lösen?“, Antwort anhand einer Ampel mit drei Abstufungen) sowie die Qualität der Visualisierungen der Probleme (z.B. Bild ohne erkennbare inhaltliche Zusammenhänge zum Problem vs. schematische Visualisierung). Die Analysen zeigen, dass der Fragebogen weder einen Zusammenhang mit der Problemlöseleistung bei Textproblemen noch mit den anderen Instrumenten aufwies. Lautes Denken und das VisA-Instrument konnten hingegen die Problemlöseleistung vorhersagen.

Pugalee (2001) untersuchte, ob Lernende in Beschreibungen von Problemlöseprozessen über metakognitives Verhalten berichten. In die Studie einbezogen wurden 20 Neuntklässlerinnen und Neuntklässler, die sechs verschiedene mathematische Probleme lösten und dabei jeweils alle Gedanken aufschrieben, die sie während des Lösens gehabt hatten. Diese Texte wurden danach den vier exekutiven Funktionen von Garofalo und Lester (1985) zugeordnet: Orientierung (z.B. lesen/wiederlesen, Informationen analysieren), Organisation (z.B. Ziele identifizieren, Plan erstellen), Ausführung (z.B. Plan ausführen, Berechnungen anstellen) und Kontrolle (z.B. Entscheidungen und Resultate überprüfen). Die untersuchten Lernenden nannten mit Abstand am meisten metakognitive Elemente aus der Ausführungsphase (172 Nennungen), gefolgt von Elementen aus der Organisationsphase. Orientierung und Kontrolle wurden hingegen eher selten berichtet (20 bzw. 16 Nennungen). In einer Untersuchung von Kantowski (1974) waren Schülerinnen und Schüler umso erfolgreicher, „je genauer sie planen, je deutlicher sie Zwischenziele aufstellen, je klarer sie feststellen, was sie jeweils erreichen wollen und welche Voraussetzungen sie dafür haben“ (zit. n. Tietze et al., 1982, S. 55). Dies scheint darauf hinzudeuten, dass besonders Elemente aus der Organisationsphase gemäss Garofalo und Lester (1985) wichtig für das erfolgreiche Problemlösen sind. Rott (2014) hat ebenfalls solche Aktivitäten im mathematischen Problemlöseverlauf von Fünftklässlerinnen und Fünftklässlern untersucht. Er konnte zeigen, dass die Kategorien *Planung* und *Reflexion* nicht nur am Anfang oder am Schluss und die Kategorie *Monitoring* nicht nur in der Mitte des Problemlöseprozesses einbezogen worden waren, sondern dass die verschiedenen Aktivitäten in allen Phasen vorkamen.

Training von Metakognition in Kombination mit Problemlösen

Wie vorhergehend dargestellt, sind metakognitive Kompetenzen wichtig für das erfolgreiche Problemlösen (z.B. Kantowski, 1974; Rott, 2014), da mithilfe metakognitiver Kontroll- und Überwachungsprozesse während der ganzen Problembearbeitung überprüft werden kann, ob

die Problemlöseprozesse zum Ziel führen, was es erlaubt, das Vorgehen bei Schwierigkeiten entsprechend anzupassen. Viele Forschungsgruppen haben deshalb Trainings für den Erwerb dieser wichtigen Fähigkeit entwickelt, durchgeführt und auf ihre Wirksamkeit hin untersucht. Im Folgenden werden Ansätze vorgestellt, welche Metakognition in Kombination mit mathematischem Problemlösen trainieren.

Mevarech (1999) hat die Effekte von drei verschiedenen kooperativen Lernkontexten beim mathematischen Problemlösen von Siebtklässlerinnen und Siebtklässlern verglichen. Die erste Gruppe erhielt ein Metakognitions- und Strategietraining, der zweiten Gruppe wurden Strategien durch direkte Instruktion vermittelt und in der dritten Gruppe gab es weder ein Training zur Metakognition noch zu den Strategien. Das metakognitive Training nutzte Verständnisfragen (z.B. „Was ist das Problem?“), Vergleichsfragen (z.B. „Wie unterscheidet sich dieses Problem von vorherigen Problemen?“) und Strategiefragen (z.B. „Welche Strategie ist zum Lösen dieses Problems geeignet?“). Dank der Fragen sollte den teilnehmenden Lernenden der Problemlöseprozess bewusst werden und sie sollten ihre Fortschritte beobachten können. Diejenigen Lernenden, welche das metakognitive Training erhalten hatten, schnitten beim individuellen Problemlösen nach zwei Monaten deutlich besser ab als die Lernenden mit dem Strategietraining. Diese übertrafen jedoch wiederum signifikant diejenige Gruppe von Lernenden, welche weder ein Training zur Metakognition noch ein Training zu den Strategien absolviert hatten.

Mevarech, Terkieltaub, Vinberger und Nevet (2010) haben die Wirkung der metakognitiven Instruktion „IMPROVE“ auf das Lösen von mathematischen Textproblemen bei Schülerinnen und Schülern der 3. und 6. Klasse untersucht. Das Akronym *IMPROVE* steht für folgende Lehrschrte: „introducing the new material to the whole class; metacognitive questioning in small heterogeneous groups; practicing, reviewing, and obtaining mastery, verification, and enrichment“ (Mevarech, 1999, S. 198). Die Ergebnisse zeigen, dass die Lernenden im IMPROVE-Setting beim Lösen mathematischer Textprobleme signifikant besser abschnitten als die Gleichaltrigen in der Kontrollgruppe. Des Weiteren zeigte sich, dass die Lernenden der 3. Klasse stärker von der IMPROVE-Instruktion profitiert hatten als Lernende der 6. Klasse.

Im Zusammenhang mit mathematischem Problemlösen wird oft auch die Selbstregulation untersucht, wobei diese neben metakognitiven Elementen auch kognitive oder motivationale Elemente beinhaltet (siehe auch Fussnote 7). Im Folgenden werden deshalb Studien vorgestellt, welche Problemlösen in Zusammenhang mit Selbstregulation trainiert und untersucht

haben. Otto et al. (2008) gingen in ihrer Studie davon aus, dass zur mathematischen Problemlösekompetenz die Fähigkeit der Selbstregulation gehört, und ordneten die Phasen des selbstregulierten Lernens nach Schmitz (2001) und Zimmerman (2000)⁸ den Phasen des mathematischen Problemlösens zu (siehe Abbildung 6).

	Selbstreguliertes Lernen ... dem Lernen	Mathematisches Problemlösen ... der Aufgabenbearbeitung
Präaktional Vor ...	Zielsetzung, Planung	
↓ Aktional Während ...	Volitionale Strategien, Monitoring	Selektion, Skizze, Überslag, Zerlegung
↓ Postaktional Nach ...	Reflexion	Probe

Abb. 6: Phasen selbstregulierten Lernens mit Problemlösestrategien nach Otto et al. (2008, S. 223)

Otto et al. (2008) unterschieden bei den verschiedenen Phasen jeweils, ob es um das Lernen (Selbstregulation) oder die Aufgabenbearbeitung (mathematisches Problemlösen) geht. Beispielsweise wird während des Lernens der Lernprozess überwacht (Monitoring) und die Aufgaben werden anhand verschiedener Strategien bearbeitet. Aufgrund dieser Überlegungen haben Otto und Mitarbeitende ein Selbstregulationstraining entwickelt mit dem Ziel, die mathematische Problemlöseleistung bei Lernenden der 3. und 4. Klasse zu erhöhen. Sie konnten belegen, dass die Experimentalgruppe zwar signifikant häufiger die Strategien „Selektion“ und „Zerlegung“ (siehe auch Kapitel 3.5.2) angewandt hatte, es jedoch nicht wie erwartet Unterschiede hinsichtlich der Selbstregulationskompetenz gab. Ähnlich wie Otto et al. (2008) ordnete Perels (2007) für das Training für Lernende zu Beginn der Sekundarstufe Handlungen des selbstregulierten Lernens und des mathematischen Problemlösens der präaktionalen, aktionalen und postaktionalen Phase zu. Da sie davon ausging, dass Strategien des selbstregulierten Lernens kaum ohne fachspezifische Inhalte vermittelt werden können (siehe auch Landmann, Trittel & Krause, 2007), koppelte sie diese an mathematische Strategien. Im Gegensatz

⁸ Zimmerman (2000, 2002) beschreibt selbstreguliertes Lernen anhand eines dreiphasigen Prozessmodells: Forethought-Phase, Performance-Control-Phase und Self-Reflection-Phase (siehe auch Zimmerman & Labuhn, 2012). Die erste Phase beinhaltet die Aufgabenanalyse und die Selbstmotivation. Unter die Aufgabenanalyse fallen das Setzen von Zielen und das Planen. Zur Selbstmotivation gehören die Selbstwirksamkeit, das Interesse an der Aufgabe sowie die Zielorientierung (siehe auch Kapitel 3.5.4). In der anschließenden Überwachungsphase liegt der Schwerpunkt auf der Selbstkontrolle (Strategieeinsatz) und der Selbstregulation (metakognitives Monitoring und Selbstaufzeichnung, z.B. anhand eines Lernjournals). In der letzten Phase, der Selbstreflexionsphase, werden die Ergebnisse mit den gesetzten Zielen abgeglichen. Im besten Fall werden die neuen Erkenntnisse beim nächsten Durchlaufen des Prozesses mitberücksichtigt.

zum Training von Otto et al. (2008) hatten sich bei Perels (2007) nach dem zehnwöchigen Training sowohl die Selbstregulationsstrategien als auch die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler, mathematische Probleme zu lösen, verbessert.

Collet (2009) verfolgte in ihrer Untersuchung den Ansatz, mathematisches Problemlösen in Verbindung mit fächerübergreifenden Selbstregulationskompetenzen im regulären Mathematikunterricht auf der Sekundarstufe zu fördern. Dazu wurden Fortbildungen durchgeführt, um Lehrpersonen zu befähigen, Aspekte des Problemlösens und der Selbstregulation in den Mathematikunterricht und in die Hausaufgaben einzubringen. Anhand verschiedener qualitativer und quantitativer Verfahren hat die Autorin die Wirkungen dieser Fortbildung aufseiten der Lehrpersonen wie auch aufseiten der Schülerinnen und Schüler evaluiert. Collet (2009) konnte zeigen, dass Lehrpersonen durch die Fortbildungen heuristische Vorgehensweisen kennengelernt und Wissen über Elemente zum Fördern von selbstreguliertem Lernen erworben hatten. Des Weiteren konnte sie belegen, dass sich die Leistungen der Lernenden während des Projektjahrs signifikant verbessert hatten und auch nach Ende des Projektjahrs stabil geblieben waren.

Perels, Gürtler und Schmitz (2005) konnten zeigen, dass es möglich ist, mit einem sechswöchigen Problemlösetraining die Problemlösekompetenz von Achtklässlerinnen und Achtklässlern im Fach Mathematik zu verbessern. Ein höherer Kompetenzzuwachs war bei denjenigen Lernenden zu erkennen, bei denen Problemlösestrategien mit Selbstregulationsstrategien kombiniert wurden. Nicht erwartet hatten die Autorinnen und der Autor, dass auch das alleinige Selbstregulationstraining einen positiven Einfluss auf die Problemlöseleistung hatte. Sie erklärten sich dies dadurch, dass Selbstregulation eine überfachliche Kompetenz ist, welche unabhängig vom Inhalt den Lernprozess unterstützt und den Lernenden dabei hilft, sich neues Material anzueignen (siehe auch Perels, Schmitz & Bruder, 2005).

Dass selbstreguliertes Lernen sowohl auf der Grundschul- als auch auf der Sekundarstufe wirksam gefördert werden kann, hat auch die Metaanalyse von Dignath und Büttner (2008) gezeigt. Für beide Schulstufen waren die Effektgrößen höher, wenn das Training von Forscherinnen und Forschern und nicht von den regulären Lehrpersonen durchgeführt worden war. Interventionen erzielten ausserdem höhere Effekte, wenn sie im Rahmen der Mathematik durchgeführt wurden und nicht im Zusammenhang mit Lesen/Schreiben oder in anderen Fächern. Die höchsten Effektgrößen auf Sekundarschulniveau liessen sich bei Trainingsprogram-

men feststellen, welche sich auf die Kombination von metakognitiven Strategien mit komplexen kognitiven Strategien, beispielsweise Problemlösestrategien, und metakognitiver Reflexion konzentriert hatten.

Metakognition/Selbstregulation in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten

Ein weiteres Kernanliegen einer personalisierten Lehr-Lern-Kultur ist die Förderung von Selbstregulationsfähigkeiten (siehe Kapitel 2.2). In Schulen mit personalisierten Lernkonzepten, aber auch anderen verwandten pädagogischen Konzepten, wie zum Beispiel im ELF-Unterricht, werden vermehrt Freiräume für selbstreguliertes Lernen gewährleistet. Dadurch sind in solchen Schulen verschiedene metakognitive Kompetenzen, wie das Vorgehen planen und überwachen, am Schluss sowohl das Ergebnis als auch das Vorgehen überprüfen, zentral, da die Schülerinnen und Schüler einen Grossteil der Unterrichtszeit selbstständig beispielsweise an individuellen Wochenplänen arbeiten (siehe auch Kapitel 3.5.2). Dazu brauchen die Schülerinnen und Schüler einerseits metakognitive Fähigkeiten, um in einem solchen Unterricht zu bestehen und die Aufgaben bzw. Pläne durchzuarbeiten, andererseits bietet ein solcher Unterricht auch die erforderlichen Lerngelegenheiten, solche Fähigkeiten zu erwerben und über mehrere Jahre aufzubauen und zu vertiefen (siehe auch Kapitel 3.7).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass metakognitive Kompetenzen wichtig für das erfolgreiche mathematische Problemlösen sind, da dank metakognitiver Prozesse unter anderem der Problemlöseprozess geplant (z.B. Setzen von Zwischenzielen), stetig überwacht und kontrolliert werden kann. Die metakognitiven Aktivitäten können an verschiedenen Zeitpunkten im Problemlöseprozess vorkommen (z.B. werden am Anfang Ziele gesetzt und am Schluss wird überprüft, ob die Ziele zufriedenstellend erreicht wurden) und sich auf verschiedene Phasen beziehen (siehe Kapitel 3.4.3). Gute Problemlösende überwachen ständig den eigenen Problemlöseprozess und reflektieren die Wirksamkeit der eingesetzten Verfahren. Fehlende Rückschau ist hingegen ein Grund, wieso Problemlöseprozesse scheitern können. Metakognition bzw. Selbstregulation in Verbindung mit Problemlösen lässt sich gemäss verschiedenen Studien auch erfolgreich in der Schule einüben, wenn entsprechende Lerngelegenheiten geschaffen werden. Dies sollte beim personalisierten Lernen der Fall sein.

3.5.4 Motivation und Volition

Neben Wissen, Problemstrategien und Metakognition ist auch Motivation wichtig für das Lernen und Problemlösen (siehe z.B. Schiefele & Streblow, 2006), da bei fehlender Motivation ein Problem möglicherweise gar nicht erst angegangen wird. Zudem muss beim Problemlösen eine Barriere überwunden werden, wozu es Anstrengungsbereitschaft und Durchhaltewillen braucht (siehe auch Holzäpfel et al., 2016; Kuzle & Bruder, 2016). In diesem Kapitel wird zunächst allgemein beschrieben, was unter Motivation und Volition verstanden wird. Im Anschluss daran wird dargelegt, in welchem Zusammenhang sie zum Lernen und Problemlösen stehen. Zudem wird am Schluss versucht, die theoretischen Ausführungen und empirischen Befunde in die Praxis des Unterrichts zu transferieren.

Motivation ist gemäss Schiefele (2008) ein zentrales Konstrukt der Verhaltenserklärung und beschreibt eine situationsspezifische Verhaltensbereitschaft. Motivationsabhängige Verhaltensmerkmale sind laut Schiefele und Schaffner (2015) vor allem die Zielrichtung (was jemand tut), die Ausdauer (wie lange jemand etwas tut) sowie die Intensität (wie sehr sich jemand bei einer Tätigkeit anstrengt). Ein Basiskonzept in der Tradition der kognitiv-handlungstheoretischen Motivationsforschung ist das Erwartungs-Wert-Modell (Krapp, Geyer & Lewalter, 2014). Dieses geht davon aus, dass Zielrichtung und Stärke der Motivation davon abhängen, wie gross der mögliche Nutzen einer Handlung eingeschätzt wird. Neben dem erwarteten Nutzen der Handlungsergebnisse spielt auch die subjektive Einschätzung der Erfolgswahrscheinlichkeit des Handelns eine Rolle. Die Motivation wird in diesem Verständnis somit als das Produkt der Erfolgserwartung und der subjektiven Bewertung des antizipierten Handlungsergebnisses betrachtet. Bezogen auf das Problemlösen würde dies einerseits bedeuten, dass ein Problem eher angegangen wird, wenn der Nutzen der Problemlösung sowie die Erfolgswahrscheinlichkeit positiv eingeschätzt werden. Andererseits wird ein Problem möglicherweise gar nicht in Angriff genommen, wenn der Nutzen und/oder die Erfolgswahrscheinlichkeit tief eingeschätzt werden. Mayer (1998) spricht diesbezüglich von interessensbasierter Motivation, da Lernende an Problemen, die sie interessieren, eher intensiv arbeiten und diese deshalb eher erfolgreicher lösen als Probleme, die sie wenig interessieren (siehe auch intrinsische Motivation nach Deci & Ryan, 1993). In diesem Zusammenhang wird auch von High-stake- und Low-stake-Problemen gesprochen (siehe Kapitel 3.2.1).

Eine im pädagogischen Kontext viel beigezogene Theorie ist die Selbstbestimmungstheorie der Motivation von Deci und Ryan (1985, 1993). Diese interpretiert den Zusammenhang zwischen Motivation und Lernen auf der Basis einer Theorie des Selbst. Sie geht weiter davon aus, dass es verschiedene qualitative Ausprägungen des motivierten Handelns gibt. Es wird somit nicht nur zwischen motiviertem und amotiviertem Handeln unterschieden, sondern motivierte Handlungen können sich auch in Bezug auf den Grad ihrer Selbstbestimmung bzw. dem Ausmass ihrer Kontrolliertheit unterscheiden (z.B. intrinsische und extrinsische Motivation). Diesbezüglich zeigte sich, dass selbstbestimmte Formen von Lernmotivation zu besseren Leistungen im Allgemeinen und bei komplexen Aufgaben im Speziellen führen und dass selbstbestimmte Formen der Lernmotivation mit höherem Engagement und grösserer Ausdauer einhergehen (Deci & Ryan, 2008; Hugener, 2008).

Eng im Handlungsablauf mit der Motivation verbunden ist die Volition. Der Begriff der Volition bezieht sich auf die Prozesse der Umsetzung von Absichten (Wild et al., 2006). Motivation allein reicht nicht, um ein Problem erfolgreich zu lösen, sondern entscheidend ist, dass die Absichten auch umgesetzt werden. Volition kann zudem auch als Teil einer weit gefassten Selbstregulation verstanden werden, denn beim volitionalen Handeln sind gemäss Corno und Kanfer (1993) selbstregulative Fähigkeiten (abwägen, planen, handeln, bewerten) involviert (siehe auch Kapitel 3.5.3).

Das Rubikonmodell der Handlungsphasen in Abbildung 7 postuliert einen diskreten Wechsel zwischen motivationalen und volitionalen Handlungsphasen (Achtziger & Gollwitzer, 2010; Heckhausen, 1989; Heckhausen & Gollwitzer, 1987).

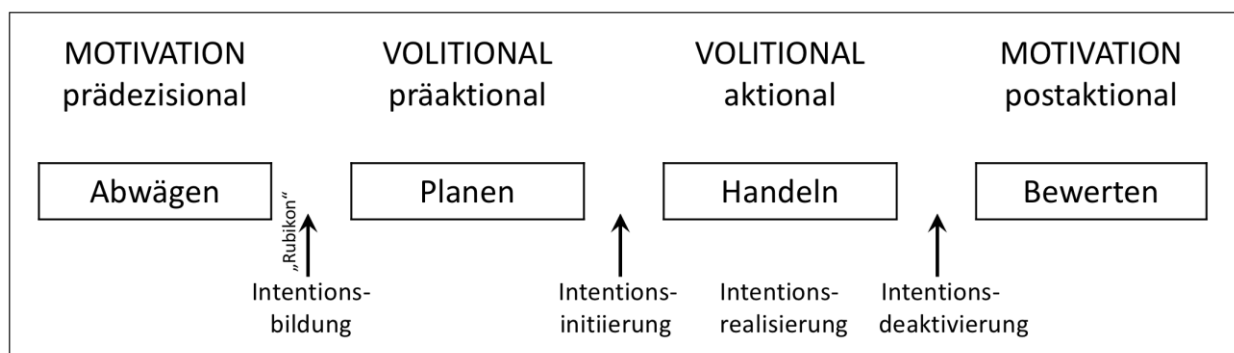


Abb. 7: Rubikonmodell der Handlungsphasen nach Achtziger und Gollwitzer (2010, S. 311)

Gemäss diesem Modell wird in einer ersten, prädezisionalen Handlungsphase aufgrund eines Wunschs oder einer Absicht ein Ziel festgelegt. In der präaktionalen Phase überlegt sich die Person, wie das festgelegte Ziel erreicht werden kann und welche Strategien dazu notwendig sind. In der darauffolgenden aktionalen Phase wird versucht, die vorher gefassten Pläne zur

Realisierung umzusetzen. Konkret bedeutet dies, dass zum Beispiel beim Auftreten von Schwierigkeiten die Anstrengung gesteigert wird. In der letzten Phase wird laut dem Modell das erreichte Handlungsergebnis bewertet. Ist dieses zufriedenstellend, wird die Intention deaktiviert. Ist es nicht zufriedenstellend, wird entweder das Anspruchsniveau gesenkt, das Ziel deaktiviert oder aber das Ziel wird beibehalten und es werden neue Handlungen geplant, damit das Ziel doch noch erreicht werden kann.

Für das erfolgreiche Lösen von Problemen spielt es auch eine Rolle, ob eine Person davon überzeugt ist, ein Problem erfolgreich lösen zu können, das heisst, wie selbstwirksam eine Person ist (siehe zu Selbstwirksamkeit Bandura, 1986). Empirische Studien konnten allgemein zeigen, dass zwischen der schulischen Selbstwirksamkeitsüberzeugung und der schulischen Leistung in der Regel ein positiver Zusammenhang besteht (zusammenfassend in Möller & Trautwein, 2015). In Bezug auf die Selbstwirksamkeit in Mathematik konnten Pajares und Miller (1994) unter anderem zeigen, dass diese die Problemlöseleistung stärker vorhersagt als zum Beispiel das mathematikbezogene Selbstkonzept, Vorerfahrungen mit Mathematik oder das Geschlecht.

Motivation in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten

In Schulen mit personalisierten Lernkonzepten ist Motivation in Phasen des selbstständigen Lernens besonders wichtig: Die Lernenden müssen sich selber motivieren, mit den Aufgaben zu beginnen, auch wenn die Mitlernenden an etwas Anderem, möglicherweise etwas subjektiv gesehen Attraktiverem, arbeiten. Die Selbstbestimmung und Wahlfreiheit in den Phasen des selbstständigen Lernens dürfte jedoch insgesamt förderlich für die Motivation sein. Bei der Wahlfreiheit in Bezug auf die Aufgabenwahl ist die Motivation insofern wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler nicht nur (zu) einfache Aufgaben auswählen, sondern auch solche, die fordernd sind (siehe auch Kapitel 2.3). Wichtig ist neben der Motivation ebenfalls, dass die Lernenden an den Aufgaben dranbleiben; besonders, wenn sie schwierig sind – und zwar auch ohne „soziale Kontrolle“ durch die Lehrpersonen oder Mitlernenden, da in perLen-Schulen alle an einem individuellen Programm arbeiten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass erfolgreiche Problemlöserinnen und Problemlöser einen Nutzen in der Problemlösung sehen, das Problem als lösbar einschätzen und über günstige Selbstwirksamkeitsüberzeugungen verfügen. Das heisst, dass sie das Problem lösen wollen und auch einen Sinn darin sehen. Da aber Ziele nicht immer klar und einfach zu

erreichen sind, braucht es für gutes Lernen und gute Leistung zusätzlich zur Motivation volitionale Prozesse, welche die Umsetzung der Absichten unterstützen. Motivation und Volition sind insbesondere auch in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten von grosser Bedeutung.

In der Schule werden Probleme mit fachlichem und lernpsychologischem Potenzial zur problemorientierten Wissensaneignung, aber auch zum Vertiefen, Überprüfen und Anwenden von bereits erworbenem Wissen eingesetzt (siehe auch Reusser, 2005). Die Schülerinnen und Schüler sind gewissermassen verpflichtet, diese Probleme zu lösen, auch wenn sie nicht intrinsisch motiviert sind bzw. wenn keine interessenbasierte Motivation vorliegt, um unter anderem anhand der Probleme neue Inhalte zu lernen, Gelerntes zu festigen oder Problemlösekompetenzen zu erwerben. Da aber Probleme gemäss den oben stehenden Annahmen erfolgreicher gelöst werden, wenn die Problemlösenden motiviert sind und sich für die Probleme interessieren, scheint es zielführend zu sein, darauf zu achten, dass Probleme möglichst das Interesse der Lernenden wecken, damit sie sich, trotz Vorgabe durch die Lehrperson, möglichst mit dem Problem identifizieren können und es motiviert lösen. Im Sinn des Erwartungswert-Modells kann es möglicherweise sinnvoll sein, den Nutzen beispielsweise anhand des Gegenwartsbezugs oder der erwarteten Zukunftsbedeutung aufzuzeigen (siehe Werteanalyse nach Klafki, 1958). Es ist denkbar, dass die Motivation der Lernenden stärker geweckt werden kann, wenn das Problem von den Lernenden nicht nur als nützlich eingestuft wird, sondern wenn es durch eine alltagsnahe Aufgabenstellung und beispielsweise durch anregendes Material aufbereitet wird.

3.5.5 Emotionen

Wie in Kapitel 3.1.1 ausgeführt, zeichnet sich ein Problem dadurch aus, dass eine Barriere zwischen Anfangs- und Zielzustand besteht, wobei diese Barriere nicht mühelos überwunden werden kann. Es ist daher naheliegend, dass gerade zu Beginn des Problemlösens oder bei Sackgassen negative Emotionen wie zum Beispiel Frust, Ärger oder Hoffnungslosigkeit entstehen können. Konnte ein Problem hingegen erfolgreich gelöst werden, können positive Emotionen wie Stolz oder Freude entstehen. In diesem Kapitel wird zunächst beschrieben, was unter Emotionen verstanden wird. Anschliessend wird dargelegt, wie Emotionen mit Leistung und Problemlösen einhergehen.

Unter Emotionen werden laut Spering, Wagener und Funke (2005) kurzfristige, intensive Phänomene, die in der Regel einen klaren kognitiven Inhalt und eine bestimmte Ursache haben,

verstanden. Gemäss Frenzel und Mitarbeitenden sind Emotionen ein mehrdimensionales Konstrukt, welches aus affektiven, physiologischen, kognitiven, expressiven und motivationalen Komponenten besteht (Frenzel, Götz & Pekrun, 2015; Frenzel & Stephens, 2011). Stimmungen werden laut Krapp et al. (2014) im Gegensatz zu Emotionen weniger intensiv erlebt. Emotionen, welche in der Schule auftreten können, sind gemäss verschiedenen Arbeiten von Götz Freude, Ärger, Angst, Langeweile oder Hoffnungslosigkeit (z.B. Götz, 2004; Pekrun & Götz, 2006). Laut Krapp et al. (2014) ist es jedoch schwierig, verschiedene Emotionen klar voneinander abzugrenzen.

Des Weiteren hängen Emotionen mit Kognition (siehe Kapitel 3.5.1) zusammen: Gemäss Martin und Nicolaisen (2015) ergänzen sich Emotionen und Kognition zu einer umfassenderen Wahrnehmung und Bewertung von Information. Zudem sind Emotionen eng mit der Motivation (siehe Kapitel 3.5.4) verknüpft, da laut Krapp et al. (2014) „Emotionen im Verlauf einer Handlung eine motivationale Funktion aus[üben], indem sie die aktuelle Motivation in diesem Handlungsbereich beeinflussen und damit die generelle Handlungsbereitschaft anregen oder beeinträchtigen können“ (S. 197). Gemäss dieser Annahme würde man sich beispielsweise in einem freudigen Zustand eher auf ein neues Problem einlassen als in einem ängstlichen Zustand.

Ergebnisse aus der Stimmungsforschung zeigen, dass positive wie auch negative Stimmung kognitive Ressourcen binden und deshalb im Gegensatz zur neutralen Stimmung die kognitive Leistung negativ beeinflussen können (Frenzel & Stephens, 2011). Des Weiteren konnte in verschiedenen Untersuchungen auch beobachtet werden, dass je nach Stimmung andere Denk- und Verarbeitungsstile auftraten: Bei Versuchspersonen in negativer Stimmung wurde eher konvergentes, analytisches und detailorientiertes Denken beobachtet. Bezüglich Emotionen zeigte sich Folgendes: Positive Emotionen führten eher zu flexiblem sowie kreativem Denken und Entscheidungen wurden effizienter getroffen (siehe auch Efklides & Petkaki, 2005; Spring et al., 2005). Weiter wird angenommen, dass positive Emotionen selbstreguliertes Lernen und negative Emotionen eher das Befolgen von vorgegebenen Regeln fördern (Frenzel & Stephens, 2011).

Im Folgenden wird auf ausgewählte empirische Studien aus dem Schul- und Universitätskontext vertieft eingegangen. Op 't Eynde, De Corte und Verschaffel (2007) haben beispielsweise eine multiple Fallstudie mit 16 vierzehnjährigen Lernenden durchgeführt, um die Rolle der Emotionen beim Problemlösen zu untersuchen. In der Untersuchung wurden die Lernenden

gefilmt, als sie laut denkend ein mathematisches Problem lösten. Zudem wurden sie anhand eines Fragebogens und eines Interviews mit Videovignette unter anderem zu ihrer Motivation, ihren Zielen beim Problemlösen sowie zu ihrem Vorgehen beim Lösen befragt. Die häufigsten beobachteten negativen Emotionen in der Fallstudie waren Frustration und Nervosität. Zudem haben die Autoren herausgefunden, dass Emotionen die Motivation für das Problemlösen erhöhen, aber auch senken können. Sie schliessen daraus, dass Emotionen mit kognitiven, motivationalen und volitionalen Prozessen interagieren. Zudem sind gemäss den Autoren einige Lernende fähig, mit den unangenehmen Emotionen wie beispielsweise Frustration aufgabenorientiert umzugehen, während andere Vermeidungsverhalten zeigen. Aus diesem Grund vermuten Op 't Eynde et al. (2007) in der Regulation von (negativen) Emotionen eine wichtige Determinante erfolgreichen mathematischen Problemlösens.

Spering et al. (2005) haben die Effekte von Emotionen beim Lösen eines komplexen Problems untersucht. Dazu hat das Autorenteam 74 Studierenden vor dem Lösen und während des Lösens eines komplexen Problems (Simulationsexperiment, in welchem ein Forstbetrieb geführt werden musste, siehe auch Kapitel 3.3.2) ein falsches positives bzw. negatives Feedback zu ihrer Leistung gegeben. Die bereits vorliegenden Befunde konnten insofern bestätigt werden, als Personen mit negativen Emotionen (z.B. Wut oder Angst) beim Lösen von Problemen nach mehr Informationen suchten und die Aufgaben systematischer angingen als Personen mit positiven Emotionen. Anders als erwartet, zeigten in dieser Untersuchung die Emotionen jedoch keine Auswirkungen auf die Leistung beim Lösen komplexer Probleme. Als mögliche Erklärung nennen Spering et al. (2005), dass sich die Personen beim Lösen komplexer kognitiver Probleme stärker auf die Aufgabe als auf ihre Gefühle konzentrieren müssen.

Efklides und Petkaki (2005) haben untersucht, welchen Einfluss die Stimmung von Schülerinnen und Schülern der 5. Klasse auf die Mathematikleistung (Textproblem) sowie das metakognitive Erleben hat. Dazu haben sie jeweils 30 Lernende in eine positive bzw. negative Stimmung versetzt. 30 Lernende dienten als Kontrollgruppe und wurden in keine bestimmte Stimmung versetzt. Die Autorinnen konnten zeigen, dass die positive Stimmung zu Beginn des Problemlösens einen Einfluss auf die Intensität des Einsatzes hatte. Ob die Problemlöseaufgabe gern gelöst wurde, hing in dieser Untersuchung hingegen mit der Stimmung am Ende des Problemlösens zusammen. Die Autorinnen konnten zeigen, dass das nach dem Problem-

lösen berichtete emotionale Erleben durch die positive und die negative Stimmung vorhergesagt werden kann. Eine Ausnahme bildete jedoch das Gefühl von Zufriedenheit, welches nur durch die positive Stimmung hervorgesagt werden konnte.

Emotionen in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten

Auch in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten erleben Schülerinnen und Schüler vor, beim und nach dem Lösen von Problemen verschiedene Emotionen. Da die Lernenden in solchen Schulen oftmals an individuellen Plänen arbeiten, müssen sie möglicherweise vermehrt auch allein mit diesen Emotionen zurechtkommen können, da zum Beispiel Frustration, Freude etc. nicht immer mit den Mitschülerinnen und Mitschülern geteilt werden können, da sich diese an anderen Stellen im Lernprozess befinden. Somit haben möglicherweise Lernende aus perLen-Schulen mehr Übung darin, ihre Emotionen selber zu regulieren und diese auch während des Lernens und Problemlösens zu kontrollieren und mit ihnen angemessen umzugehen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Lernende in der Schule verschiedene Emotionen erleben, dass sie Probleme mit verschiedenen Emotionen angehen und dass während des Lernens und Problemlösens unterschiedliche Emotionen ausgelöst werden können. Die Forschung hat unter anderem gezeigt, dass Personen mit negativen Emotionen beim einfachen Problemlösen (siehe auch Kapitel 3.3.2) nach mehr Informationen suchen und Aufgaben systematischer angehen, während Personen mit positiven Emotionen eher kreativer denken und Entscheidungen effizienter treffen können. Insgesamt sind die Auswirkungen von negativen Emotionen auf die Leistung jedoch widersprüchlich und in der Forschung noch nicht eindeutig geklärt.

3.5.6 Soziale Ressourcen

Neben den beschriebenen individuellen Voraussetzungen spielen auch soziale Ressourcen beim Problemlösen eine wichtige Rolle. Diese sozialen Ressourcen sind im Unterricht insbesondere dann von Bedeutung, wenn beim individuellen Problemlösen Schwierigkeiten auftreten und die Schülerinnen und Schüler Hilfe benötigen bzw. anfordern möchten, wobei im schulischen Kontext vor allem bei Lehrpersonen, Mitschülerinnen oder Mitschülern Unterstützung geholt wird. Im Folgenden wird dieser Aspekt des Hilfesuchens ausgeführt.

Können Probleme nicht allein gelöst werden, verhalten sich gemäss Schworm und Fischer (2006) viele Lernende passiv oder weichen dem Problem sogar aus, und wenn sie sich an andere Personen wenden, wollen sie am liebsten direkt eine Antwort erhalten. Karabenick und Sharma (2009) nennen dieses Vorgehen „executive help-seeking“. Dieses Vorgehen trägt laut den Autoren kaum zum Lernerfolg bei und macht von anderen Personen abhängig. Im Gegensatz dazu wird beim „instrumental help-seeking“ nur so wenig Hilfe wie nötig in Anspruch genommen, um die Aufgabe zu lösen. Gemäss Cress (1999) ist in angemessener Weise Unterstützung zu suchen nicht etwa ein Zeichen von Unselbstständigkeit oder sogar Schwäche, sondern eine Strategie erfolgreicher Lernender, welche wesentlich zum Lernerfolg beiträgt. Nach Schworm und Fischer (2006) sowie Nelson-Le Gall (1981, 1992) verläuft der Prozess des Hilfesuchens in fünf Schritten:

1. Bewusst werden, dass zur Lösung der Aufgabe Hilfe benötigt wird;
2. Entscheid, Hilfe in Anspruch zu nehmen;
3. Identifikation potenzieller Helfenden;
4. Anwenden einer Strategie, um die notwendige Hilfe zu erhalten;
5. Evaluation, ob die Hilfe erfolgreich war.

Laut diesem Modell des Hilfesuchens muss in einem ersten Schritt erkannt werden, dass für die Bewältigung des Problems Hilfe benötigt wird. Danach entscheidet sich die Person, Hilfe in Anspruch zu nehmen, oder sie entscheidet sich dagegen, denn auch wenn eingesehen wird, dass Hilfe benötigt wird, kann es sein, dass die wahrgenommenen kognitiven, sozialen und motivationalen Kosten zu hoch sind, um Hilfe anzufordern. Beispielsweise wird auf Hilfe verzichtet, wenn das Gefühl besteht, dadurch in den Augen anderer inkompetent zu wirken. Soll Hilfe eingefordert werden, müssen potenzielle Helfende ausgewählt werden, wobei Geschlecht und Alter der Hilfe suchenden Person und der helfenden Person eine Rolle spielen können. Des Weiteren beeinflussen laut Schworm und Fischer (2006) Status, Persönlichkeit, Expertise sowie Kompetenz der helfenden Person und auch die Beziehung zwischen der Hilfe suchenden und der potenziell helfenden Person die Entscheidung, welche Person anfragt wird. Nachdem eine geeignete helfende Person ausgewählt wurde, müssen passende, beispielsweise kommunikative, Strategien eingesetzt werden, damit die gewünschte Unterstützung geboten wird. In einem letzten Schritt entscheiden die Hilfesuchenden, ob die Hilfe zum Lösen des Problems beigetragen hat oder ob weitere Unterstützung benötigt wird. Diese fünf Schritte des Hilfesuchens wurden einerseits im Kontext der Schule (Nelson-Le Gall, 1981, 1992) und andererseits im Kontext der Hochschule (Schworm & Fischer, 2006) beschrieben.

Die Überlegungen sind aber durchaus auch auf Kontexte und Probleme übertragbar, die sich nicht auf den Bildungsbereich im engen Sinne beziehen.

Laut Webb, Farivar und Mastergeorge (2002) haben in einem solchen Prozess des Hilfesuchens Hilfe suchende wie auch Hilfe gebende Personen gewisse Verantwortlichkeiten: Erstere müssen beispielsweise klar mitteilen, wo Schwierigkeiten und Unklarheiten bestehen, und beim Anfordern von Hilfe hartnäckig sein. Demgegenüber müssen helfende Personen gemäss Webb et al. (2002) zunächst überhaupt willens sein, Hilfe zu geben, und fähig sein, klare und elaborierte Erklärungen zu geben, welche für die Hilfe suchende Person sinnvoll sind. Danach sollten sie helfen, die gegebene Hilfe umzusetzen, und sie sollten beobachten, ob die Hilfe suchende Person die Erklärung tatsächlich verstanden hat (siehe auch Webb, 1992).

Wie sich Lernende der 7. Klasse bei mathematischen Problemlöseaufgaben gegenseitig helfen, haben Webb et al. (2002) untersucht (siehe auch Webb & Farivar, 1999). Sie konnten zeigen, dass das Level der erhaltenen Hilfe signifikant mit dem Lernergebnis zusammenhing, wobei die Hilfelevels von 0 (keine Antwort) bzw. 1 (nicht inhaltliche oder nicht informative Antwort) bis 6 (verbale Erklärung, wie das Problem bzw. Teile davon gelöst werden müssen) reichen.

Ein wichtiger Aspekt beim Suchen von Hilfe ist, dass dadurch gelernt werden kann. Durch das Erklären lernt jedoch nicht nur die Hilfe suchende Person, sondern auch die erklärende Person. Gemäss den Ausführungen von van Blankenstein, Dolmans, van der Vleuten und Schmidt (2011) kann durch das Erklären das Lernen erhöht werden, weil die erklärende Person ihr Wissen strukturieren muss, bevor sie es verbalisieren kann. Van Blankenstein et al. (2011) konnten zudem zeigen, dass Studierende, welche Mitstudierenden aktiv etwas erklärt hatten, sich einen Monat später besser an die Inhalte erinnern konnten als ihre Kolleginnen und Kollegen. Laut Wellenreuther (2011) ist das Erklären für die erklärende Person sogar lernwirksamer als das passive Aufnehmen von Informationen.

Soziale Ressourcen in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten

In Schulen mit personalisierten Lernkonzepten ist es besonders wichtig, dass Schülerinnen und Schüler in den Phasen selbstständigen Lernens bei Problemen zum richtigen Zeitpunkt (nicht zu früh und nicht zu spät) bei der richtigen Person (z.B. Fachlehrperson) Hilfe holen können, da sie in einem solchen Konzept von Unterricht stärker verantwortlich für ihre eigenen Lernprozesse sind als in einem traditionellen Unterricht und deshalb auch selber entscheiden müs-

sen, wann und welche sie Hilfe benötigen („Holschuld“; siehe auch Kapitel 7.3.1). In den meisten perLen-Schulen gibt es bestimmte Regeln, welche Lehrpersonen wann gefragt werden dürfen (z.B. Ampelsystem: bei grün darf gefragt werden, bei orange nur bei dringenden Fragen und bei rot dürfen die Lehrpersonen nicht gestört werden, da sie beispielsweise am Vorbereiten der Inputlektionen oder Korrigieren von Prüfungen sind). Auch gibt es in vielen perLen-Schulen sogenannte Lernpartnerschaften, wobei bei Fragen zunächst bei der Lernpartnerin bzw. dem Lernpartner nachgefragt werden muss. Wichtig ist beim Einfordern von Hilfe, dass die Lernenden ihre Anliegen gut versprachlichen können, da die Lehrpersonen bzw. die Lernpartnerinnen und Lernpartner durch die individuellen Programme nicht immer genau wissen können, an welchen Inhalten die Hilfe suchende Person momentan arbeitet. Somit verfügen die perLen-Schulen ein grosses Potenzial, dass die Schülerinnen und Schüler lernen, gezielt Hilfe anzufordern und Fragen zu stellen. Dieses System kann aber auch eine Überforderung für einzelne Lernende darstellen und dadurch, dass sie aus verschiedenen Gründen (z.B. unmotiviert, unfähig) nicht nachfragen und Hilfe aktiv einfordern, sogar nachteilig sein.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es eine Strategie erfolgreicher Lernender ist, in angemessener Weise Unterstützung zu suchen („instrumental help-seeking“). Ob und von wem Hilfe angefordert wird, hängt von verschiedenen Aspekten ab. Wurde Hilfe angefordert, haben Hilfe suchende wie auch Hilfe gebende Personen gewisse Verantwortlichkeiten. Die gegebenen Hilfestellungen können sich in ihrer Qualität unterscheiden, wobei Untersuchungen gezeigt haben, dass das Level der erhaltenen Hilfe signifikant mit dem Lernergebnis zusammenhängt.

Im schulischen Kontext, aber auch in den verschiedenen ausserschulischen Bereichen, werden Probleme oft bereits von Anfang an in Kleingruppen gelöst und nicht erst, wenn Schwierigkeiten auftreten. Dies ist insbesondere auch in perLen-Schulen der Fall, da das gemeinsame, ko-produktive oder ko-konstruktive Lernen (vgl. Reusser & Pauli, 2015) einen wichtigen Aspekt in diesen Schulen darstellt. Diese Schulen verfügen darüber hinaus auch über das organisatorische Potenzial wie eine Vielzahl von Gruppenräumen (siehe auch Kapitel 2.4). Auf das gemeinsame Problemlösen wird in Kapitel 3.6 ausführlich eingegangen.

3.5.7 Hilfsmittel und externe Repräsentationen

Die beim Problemlösen erforderliche Überwindung der Barriere zwischen Anfangs- und Zielzustand (siehe Kapitel 3.1.1) kann durch Hilfsmittel und externe Repräsentationen unterstützt

werden. Zunächst kann gemäss Bruner (1974) grundsätzlich zwischen symbolischen (Erfassung von Sachverhalten durch Symbole wie z.B. Texte oder Zeichen), ikonischen (Erfassung von Sachverhalten durch z.B. Bilder) und enaktiven Repräsentationsformen (Erfassung von Sachverhalten durch z.B. eigene Handlungen oder Bewegungen) unterschieden werden. Je nach Themenbereich können andere Hilfsmittel und Repräsentationsformen vorkommen. Beispielsweise beschreiben Franke und Ruwisch (2010) beim Sachrechnen in der Grundschule konkrete Hilfsmittel (z.B. Zahlenstrahl, Kalender), symbolische Hilfsmittel (z.B. Formeln, Gleichungen) und heuristische Hilfsmittel (z.B. Tabellen, Skizzen). Die problemlösende Person kann diese Hilfsmittel entweder selbst herstellen oder bestehendes Material zur Hand nehmen. Unter externen Repräsentationen werden häufig visuelle Darstellungen verstanden (Bodemer, 2013) wie symbolische oder heuristische Hilfsmittel. Beispiele visueller Darstellungen sind Mindmaps oder Conceptmaps (Renkl & Nückles, 2006). Oft ist jedoch nicht von Beginn an ersichtlich, welche Repräsentation für das Lösen des Problems geeignet ist (Aebli, 1981). So ist es auch möglich, dass die Darstellungsform oder das Hilfsmittel während des Problemlöseprozesses angepasst werden muss.

Dank Darstellungen kann laut Bransford und Stein (1993) die problemlösende Person freier über das zu lösende Problem nachdenken, da sie wichtige Angaben externalisieren kann und diese zum Beispiel auf einem Papier vor sich sieht. Renkl und Nückles (2006) zeigen insgesamt vier Funktionen externer Visualisierungen auf: (1) Funktion der Tiefenverarbeitung: Zum Beispiel werden durch visuelle Darstellungen bestimmte Sachverhalte explizit gemacht, was zu neuen Einsichten und tieferem Verständnis führt. (2) Metakognitionsfunktion: Da bestimmte Aspekte expliziert werden müssen, können Wissens- und Verstehenslücken bewusst gemacht werden, welche danach geschlossen werden können. (3) Übersetzungsfunktion: Eine Visualisierung kann als eine Übersetzung, zum Beispiel von einem Text in eine Skizze, gesehen werden. Solche multiplen Repräsentationen eines Sachverhalts helfen wiederum dem tiefen Verstehen. (4) Inferenzfunktion: Zuletzt erleichtern Darstellungen das Ablesen von Informationen und diese können einfacher als aus einem mentalen Modell erschlossen werden.

Bei einem mathematischen Modellierungsproblem (siehe Kapitel 3.2.2), wie der Tanken-Aufgabe von Blum und Leiss (2005), in welcher bestimmt werden muss, ob es sich für einen günstigeren Benzinpreis lohnt, eine gewisse Strecke zurückzulegen, ist zum Beispiel eine Skizze hilfreich, welche den Text in eine Darstellung übersetzt (Übersetzungsfunktion). Anhand der Skizze wird unter anderem ersichtlich, dass der Weg zweimal zurückgelegt werden muss: zur

Tankstelle und wieder zurück. Die gegebenen Informationen (z.B. Länge der Strecke) können anschliessend anhand der Skizze leichter abgelesen werden (Inferenzfunktion). Ausserdem kann eine Skizze aufzeigen, wo möglicherweise noch Wissenslücken bestehen (Metakognitionsfunktion) oder welche Informationen fehlen bzw. nicht benötigt werden (z.B. Benzinverbrauch des Autos oder Automarke).

Die Qualität von Problemlöserepräsentationen unterscheidet sich zwischen Anfängerinnen und Anfängern sowie Expertinnen und Experten: Laut Neber (1987) hängt die Verwendung qualitativ hochstehender Problemrepräsentationen unter anderem vom Wissen der problemlösenden Person ab und gemäss Rellensmann, Schukajlow und Leopold (2016) hat das Wissen über die externen Repräsentationen, also zum Beispiel über Skizzen, einen Einfluss auf die Problemlöseleistung (siehe auch Kapitel 3.5.1). Des Weiteren nutzen gute Problemlöserinnen und Problemlöser verschiedene (externe) Repräsentationsformen (Funke & Zumbach, 2006). Empirische Studien haben nachgewiesen, dass Hilfsmittel und externe Repräsentationen beim Problemlösen hilfreich sein können. Rasch (2001) konnte beispielsweise in ihrer Untersuchung zeigen, dass vor allem diejenigen Grundschul Kinder problemhaltige Textaufgaben im Mathematikunterricht erfolgreich gelöst hatten, die eine geeignete Repräsentation für die Problemlöseaufgabe gefunden hatten. Laut der Autorin ist es wichtig, dass die Repräsentationsform dabei nicht nur zum Problem, sondern auch zur problemlösenden Person passt. Kinder sollen deshalb Lerngelegenheiten erhalten, die es ihnen ermöglichen, selbst Repräsentationen des Problems herzustellen. Sturm (2018) hat mit Grundschulkindern ein Repräsentationstraining durchgeführt, um herauszufinden, ob eine gezielte Förderung der Generierung und Nutzung externer Repräsentationen bei problemhaltigen Textaufgaben eingeübt werden kann und ob dies positive Effekte auf den Lösungserfolg sowie die Problemlösekompetenz hat (siehe auch Sturm & Rasch, 2015). Die Autorin konnte zeigen, dass nach der Intervention bei allen Gruppen ein signifikanter Kompetenzzuwachs stattgefunden hatte, die trainierten Klassen jedoch höhere Repräsentationsfähigkeiten erreichten als nicht trainierte Klassen. Zudem erzielten Schülerinnen und Schüler, welche externe Repräsentationen als Denk- und Erkenntniswerkzeuge in ihren Lösungsprozess integriert hatten, einen höheren Kompetenzzuwachs, als diejenigen Lernenden, die nicht auf externe Repräsentationen zurückgegriffen hatten. Den stärksten Prädiktor für den Problemlöseerfolg bildeten Skizzen (siehe auch Sturm, Wahle, Rasch & Schnotz, 2015).

Ubuz und Ersoy (1997) haben die Wirksamkeit von Materialien beim Einüben von Optimierungsproblemen untersucht. Dazu haben sie Studierende in eine Experimental- und eine Kontrollgruppe eingeteilt, wobei Erstere verschiedene Materialien zum Einüben von Optimierungsproblemen erhielt. Dieses Material bestand unter anderem aus einer kurzen Übersicht von Theoremen, welche mit den Optimierungsproblemen zusammenhingen, oder einer Beschreibung des allgemeinen Lösungsablaufs von Optimierungsaufgaben. Die Kontrollgruppe erarbeitete das Thema nur anhand einer traditionellen Vorlesung. Es zeigte sich, dass Studierende mit dem zusätzlichen Material besser gelernt hatten, diese Art von Problemen zu lösen. Das Anfertigen von Diagrammen und Bildern hatte somit den Studierenden geholfen, Optimierungsprobleme erfolgreich zu lösen.

Eine häufige externe Repräsentation in der Mathematik sind Skizzen. Unter einer Skizze verstehen Rellensmann et al. (2016) eine selbst erstellte Visualisierung, in welcher die relevanten Objekte sowie die in der Aufgabenstellung gegebenen Verknüpfungen enthalten sind. Das Autorenteam konnte zeigen, dass Lernende der Klassen 9 und 10 mit höherem Skizzenwissen akkuratere Skizzen hergestellt hatten als ihre Mitschülerinnen und Mitschüler und anschließend die Modellierungsprobleme (siehe auch Kapitel 3.2.2) besser lösen konnten, wobei die Beziehung zwischen dem Wissen über Skizzen und der Modellierungsleistung über die Genauigkeit der Skizze vermittelt wurde. Rellensmann et al. (2016) gehen davon aus, dass durch das Erstellen einer Skizze die lösungsrelevanten Objekte und Beziehungen ausgewählt und organisiert werden müssen, was dem Verständnis des Problems dient (siehe auch verschiedene Funktionen externer Visualisierungen nach Renkl & Nückles, 2006). Sie machen aber darauf aufmerksam, dass korrekte und genaue Skizzen nicht automatisch zu einer richtigen Lösung führen würden, da es zum Lösen des Problems unter anderem Rechenkenntnisse brauche (siehe auch Kapitel 3.5.1).

Nicht für die Skizzen der Schülerinnen und Schüler, sondern für die visuellen Repräsentationsformen der Lehrpersonen interessierten sich Boonen et al. (2016). In ihrer Untersuchung zeigte sich, dass die Lehrpersonen Darstellungen eher nach ihren individuellen Präferenzen ausgewählt hatten statt nach der besten Passung zum mathematischen Textproblem. Dieses Ergebnis scheint problematisch, da Lehrpersonen in der Lage sein sollten, als Modelle für ihre Schülerinnen und Schüler passende Darstellungen auswählen. Wie die oben referierte Studie von Rasch (2001) gezeigt hat, sollte die Repräsentationsform aber nicht nur zum Problem, sondern auch zur problemlösenden Person passen.

Bei den oben vorgestellten Studien zeigte sich insgesamt, dass Probleme erfolgreicher gelöst worden waren, wenn eine geeignete Repräsentation für das Problem gefunden worden war. Ob überhaupt eine geeignete Problemrepräsentation hergestellt werden kann, hängt aber möglicherweise vom fachlichen Vorwissen (siehe auch Kapitel 3.5.1) und vom Wissen über Repräsentationsformen ab (siehe auch Rellensmann et al., 2016). Es stellt sich daher die Frage, ob die Schülerinnen und Schüler das Problem besser gelöst haben, weil sie dieses besser visuell repräsentieren konnten (z.B. anhand einer Skizze), oder ob sie das Problem von Beginn an besser verstanden hatten und deshalb einerseits eine detailliertere Skizze herstellen konnten und andererseits im Anschluss daran das Problem besser lösen konnten.

Wie bereits festgehalten sollten Schülerinnen und Schüler in der Schule immer wieder Gelegenheiten erhalten, verschiedene Hilfsmittel und Visualisierungen kennenzulernen und anzuwenden. Dies kann beispielsweise anhand von Problemen geschehen, zu deren Lösung unterschiedliche Hilfsmittel eingesetzt werden müssen. Bei einem schlecht definierten Problem (siehe Kapitel 3.1.1) beispielsweise gälte es zunächst, die fehlenden Informationen, zum Beispiel anhand von Büchern oder im Internet, zu beschaffen (Hilfsmittel). Anschliessend müssen die zusammengetragenen Informationen sortiert und geordnet werden, was mithilfe eines Mindmaps oder einer Tabelle geschehen könnte (Visualisierungen). Auf der Grundlage dieser Vorarbeiten kann schliesslich mit dem eigentlichen Lösen des Problems begonnen werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass verschiedene Arten von Hilfsmitteln unterschieden werden können. Empirische Untersuchungen bei verschiedenen Altersgruppen haben gezeigt, dass passende Repräsentationen beim Lösen von Problemen helfen können. Die Art der externen Repräsentation hängt dabei jeweils vom Problem und von der Zieldefinition ab. Es kann gemäss Ainsworth (2006) aber auch von Nutzen sein, verschiedene Repräsentationen zu kombinieren (z.B. ikonische und symbolische Repräsentationsform oder verschiedene ikonische Repräsentationsformen nach Bruner, 1974), damit sich diese gegenseitig ergänzen können, Interpretationsmöglichkeiten begrenzt werden und das Verständnis gefördert werden kann.

3.5.8 Zwischenfazit

In den vorhergehenden Kapiteln wurde aufgezeigt, dass verschiedene individuelle Voraussetzungen und Ressourcen unterschiedliche Auswirkungen auf das Problemlösen und den Prob-

lemlöseprozess haben. Zunächst ist, auch bei hoher Intelligenz, ein umfangreiches, gut organisiertes und strukturiertes sowie flexibles Wissen zentral (siehe Kapitel 3.5.1). Dadurch ist eine differenzierte Situations- und Problemanalyse möglich, was die Basis für die Lösungsplanung bildet. Ausserdem kann Vorwissen unter anderem bei der Auswahl von Problemlösestrategien und Vorgehensweisen (siehe Kapitel 3.5.2) oder der Erstellung von Visualisierungen (siehe Kapitel 3.5.7) hilfreich sein. Wissen allein reicht für das erfolgreiche Lösen eines Problems jedoch nicht aus, sondern die problemlösenden Personen müssen Problemlösestrategien zum Lösen des Problems kennen und anwenden können (siehe Kapitel 3.5.2). Diese zielbezogenen Problemlösemassnahmen sollten flexibel und passend eingesetzt werden. Ob die Planungs- und Problemlöseprozesse zum Ziel führen, wird anhand metakognitiver Kontroll- und Überwachungsprozesse überprüft (siehe Kapitel 3.5.3). Es soll also beim Problemlösen nicht nur am Schluss überprüft werden, ob das erhaltene Resultat stimmen kann, sondern bereits während des Problemlösens soll das Vorgehen ständig überwacht und überprüft werden, damit bei Schwierigkeiten eingegriffen und das Vorgehen angepasst werden kann.

Ebenfalls wichtig für das Problemlösen ist Motivation (siehe Kapitel 3.5.4), da bei deren Fehlen ein Problem möglicherweise gar nicht erst angegangen wird. Besonders günstig ist es, wenn ein Problem aus eigenen Interessen bearbeitet wird und in der Problemlösung auch ein Nutzen erkannt wird. Wurde ein Problem in Angriff genommen, helfen volitionale Prozess bei der bewussten Umsetzung der Absichten, indem geplant, gehandelt und bewertet wird (siehe auch Kapitel 3.5.3). Ausserdem spielen Emotionen beim Problemlösen eine Rolle, wenngleich die Lage der empirischen Evidenz diesbezüglich nicht eindeutig ist (siehe Kapitel 3.5.5). Es scheint aber, dass in der Regulation von (negativen) Emotionen eine Determinante erfolgreichen Problemlösens liegt. Da sich ein Problem durch eine Barriere auszeichnet (siehe Kapitel 3.1.1) und beim Problemlösen dementsprechend oftmals Schwierigkeiten auftreten, ist das Lösen mit verschiedenen Emotionen verbunden, mit welchen aufgabenorientiert umgegangen werden sollte.

Neben diesen individuellen Voraussetzungen kommt auch sozialen Ressourcen (siehe Kapitel 3.5.6) sowie Hilfsmitteln und externen Ressourcen (siehe Kapitel 3.5.7) eine wichtige Rolle zu. Wenn Schwierigkeiten auftreten, können andere Personen um Hilfe gebeten werden. Dabei hat sich gezeigt, dass die Qualität der erhaltenen Hilfe mit dem Lernergebnis zusammenhängt. Wie empirische Befunde belegen, lernt beim Hilfesuchen nicht nur die Hilfe anfordernde Person, sondern auch die Hilfe gebende Person, da Letztere vor dem Erklären zunächst

ihr eigenes Wissen strukturieren muss. Wenn beim Problemlösen Schwierigkeiten auftreten oder sich diese bereits von Beginn an zeigen, bieten sich Hilfsmittel oder externe Repräsentationsformen an. Visualisierungen können helfen, einen Sachverhalt zusätzlich anders zu repräsentieren und das Problem vertieft zu verstehen.

Da diese verschiedenen individuellen Voraussetzungen und externen Hilfsmittel eine wichtige Rolle beim Problemlösen spielen, wurde das in Kapitel 3.4.3 vorgeschlagene Problemlösemodell mit ebendiesen Aspekten zu einem umfassenderen Modell ergänzt (siehe Abbildung 8). Die verschiedenen Komponenten erfolgreichen Problemlösens hängen dabei untereinander integrativ und interaktiv zusammen (siehe auch De Corte, 1995). Zurzeit ist jedoch noch nicht genügend erforscht, wie die verschiedenen Aspekte genau miteinander zusammenwirken müssen, damit Probleme erfolgreich gelöst werden können (Hasselhorn & Gold, 2013). Deshalb werden diese Zusammenhänge im vorgeschlagenen Problemlösemodell nicht explizit dargestellt.

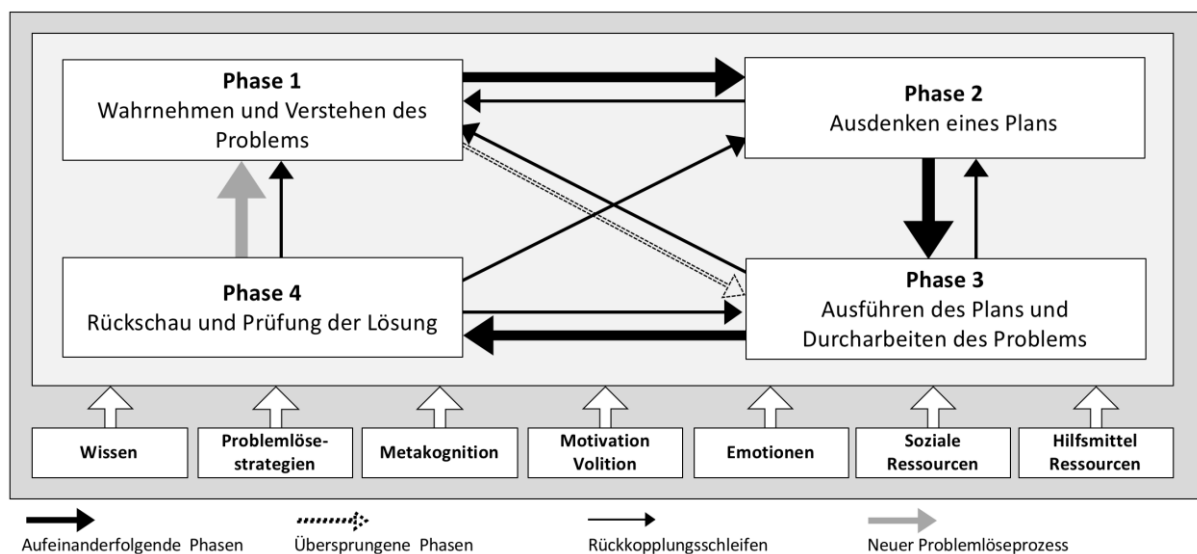


Abb. 8: Problemlösemodell (II) (eigene Darstellung)

3.5.9 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit): Ganzheitliche Analyse

Im in Kapitel 3.1.3 vorgestellten Verpackungsproblem müssen drei verschiedene Schachteln für genau vier Tischtennisbälle gefunden und gezeichnet werden (Aufgabe 1). Ausserdem müssen die entsprechenden Faltpläne skizziert werden (Aufgabe 2), wobei ein Faltpfad in Originalgrösse hergestellt werden muss (Aufgabe 3). Zuletzt müssen für alle drei Verpackungen die Oberfläche sowie das Volumen berechnet werden (Aufgabe 4). Im Folgenden werden die

in den vorhergehenden Kapiteln thematisierten individuellen Voraussetzungen und Ressourcen am Beispiel der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ zusammenfassend dargestellt (siehe v.a. auch Kapitel 3.2.3 und 3.4.3):

- *Wissen* (siehe Kapitel 3.5.1): Für das Lösen mathematischer Probleme wie des Verpackungsproblems sind verschiedene Wissensarten erforderlich. Zunächst muss das Problem verstanden werden. Wichtige Verstehenselemente in Anlehnung an Drollinger-Vetter (2011) sind beim Verpackungsproblem, (1) dass die Verpackung eine Öffnung hat und (2) dementsprechend die Lage im Raum eine Rolle spielt (siehe auch verschiedene mögliche Lösungen des Verpackungsproblems in Kapitel 3.2.3). Ausserdem müssen (3) die vier Tischtennisbälle eng verpackt sein (siehe auch Kapitel 3.6.5). Nachdem das Problem verstanden wurde, wird für die Aufgaben 1, 2 und 3 unter anderem Wissen über verschiedene geometrische Körper und über perspektivisches Zeichnen benötigt (prozedurales Wissen und Handlungswissen: Transformation von einem dreidimensionalen Körper in eine zweidimensionale Abbildung und einen zweidimensionalen Faltpapier). Da zusätzlich Oberfläche und Volumen der Schachteln berechnet werden müssen (Aufgabe 4), wird darüber hinaus unter anderem Faktenwissen zu Formeln benötigt und Anwendungswissen, wie diese Formeln benutzt werden. Je nachdem welche geometrischen Körper ausgewählt werden, braucht es unterschiedlich viel Vorwissen: Die perspektivische Darstellung und die Berechnung verschiedener Grössen ist bei einer Pyramide oder bei einem Zylinder anspruchsvoller als bei einem Quader.
- *Problemlösestrategien* (siehe Kapitel 3.5.2): Der erste Schritt bei der Lösung des Verpackungsproblems besteht darin, die Problemstellung jeder Aufgabe zu lesen, möglicherweise auch mehrmals. Anschliessend sind ganz unterschiedliche Vorgehensweisen denkbar, zum Beispiel könnten die wichtigsten Informationen kurz festgehalten werden: Was ist gegeben? Was ist gesucht? Hilfreich wäre auch, sich an ähnliche Problemstellungen zu erinnern und, falls sich die Vorgehensweise bewährt hatte, analog vorzugehen. Es könnten als Hilfsmittel auch vier Tischtennisbälle zur Hand genommen werden. Damit könnten enaktiv verschiedene Konstellationen ausprobiert werden. Die drei besten Ideen könnten danach ausgewählt und gezeichnet werden. Viele weitere Vorgehensweisen, welche beim Lösen des Verpackungsproblems zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Problemlöseprozess möglich sind, sind in Anhang B zusammengestellt.
- *Metakognition* (siehe Kapitel 3.5.3): Um das Verpackungsproblem zu lösen, braucht es auch metakognitive Fähigkeiten. Zunächst muss eine Übersicht über die Situation geschaffen und

die Sachlage analysiert werden (Orientieren). Da das Problem relativ schnell gelöst werden kann, wenig Handlungsspielraum bietet und das Ziel trotz mehrerer korrekter Lösungen definiert ist, muss die Problemlösung möglicherweise weniger ausführlich geplant werden, als dies bei einem grösseren Problem nötig wäre, bei welchem unter anderem Teilziele definiert werden müssten (Planen). Während des Lösens des Verpackungsproblems muss der Problemlöseprozess aber dennoch überwacht und allenfalls angepasst werden (Überwachen). Zum Schluss müssen die drei Verpackungen, die entsprechenden Faltpläne und die verschiedenen Oberflächen- und Volumenberechnungen überprüft werden, beispielsweise indem die Verpackungen zusätzlich in Originalgrösse gebaut werden und getestet wird, ob die Tischtennisbälle tatsächlich Platz haben oder indem die Rechnungen zusätzlich im Taschenrechner eingegeben werden (Kontrolle, siehe auch Kapitel 3.4.4).

- *Motivation und Volition* (siehe Kapitel 3.5.4): Das Problem wird Schülerinnen und Schülern vorgelegt und somit lösen sie es nicht aus eigener Initiative. Zudem ist unklar, wie hoch die Lernenden den Nutzen einschätzen (siehe Erwartungs-Wert-Modell). Da das Problem aber handlungsnah ist und auch ansprechendes Material bereithält (Tischtennisbälle), ist gut vorstellbar, dass es auf die Lernenden motivierend wirkt. Da das Lösen des Problems weder zu einer Note noch einer Belohnung führt, werden die Schülerinnen und Schüler nicht speziell extrinsisch motiviert.
- *Emotionen* (siehe Kapitel 3.5.5): Die Schülerinnen und Schüler gehen das Problem möglicherweise mit ganz unterschiedlichen Emotionen an. Zudem können während des Problemlösens Emotionen entstehen, beispielsweise Frust, wenn nicht drei verschiedene Schachteln gefunden werden, oder Freude, wenn die drei Volumen berechnet werden konnten.
- *Soziale Ressourcen* (siehe Kapitel 3.5.6): Wie die Formulierung der Aufgabenstellung in Kapitel 3.1.3 zeigt, muss das Problem allein gelöst werden. Treten beim Lösen des Problems jedoch Fragen auf, wäre es sinnvoll, andere Personen wie Mitlernende oder Lehrpersonen um Hilfe zu bitten. Hilfe kann zu verschiedenen Zeitpunkten im Problemlöseprozess gesucht werden: etwa bereits am Anfang, wenn das Problem nicht verstanden wird, oder wenn man nicht weiss, wie man die Oberfläche oder das Volumen berechnet. Damit kann das Problemlösen auch Phasen des Lernens und Wissenserwerbs umfassen.
- *Hilfsmittel und externe Ressourcen* (siehe Kapitel 3.5.7): Ausgehend von einer Aufgabe in Textform (symbolisch) müssen verschiedene Schachteln und Faltpläne gezeichnet werden (ikonisch). Es sind somit verschiedene Transformationen der Repräsentationsformen nach

Bruner (1974) nötig. Als Hilfsmittel zur Generierung verschiedener Verpackungen können die zur Verfügung gestellten Tischtennisbälle verwendet werden (enaktiv-handelnde Repräsentationsform). Zur Berechnung der Oberfläche und des Volumens sind eine Formelsammlung oder ein Taschenrechner geeignete Hilfsmittel. Bei der Oberflächenberechnung sind auch Visualisierungen wie Skizzen sinnvoll, in welchen ersichtlich wird, welche verschiedenen Teilflächen berechnet werden müssen.

3.6 Wie werden Probleme gemeinsam gelöst?

Probleme werden im Alltag oft nicht allein, sondern gemeinsam gelöst. In vielen Berufen wird erwartet, dass Probleme kollaborativ⁹ angegangen werden können, was hoch ausgeprägte Team-, Kooperations- und Kommunikationsfähigkeiten erfordert (Greiff et al., 2013; Hild, 2013; OECD, 2016). Im schulischen Kontext werden Probleme oftmals von Beginn an in Kleingruppen gelöst und nicht erst dann, wenn Schwierigkeiten auftreten und Hilfe in Anspruch genommen werden muss (siehe auch Kapitel 3.5.6). Gemäss verschiedenen Lehrplänen (z.B. Lehrplan 21, D-EDK, 2015) und pädagogisch-methodischen Empfehlungen ist neben dem Problemlösen die Arbeit in Kleingruppen im Mathematikunterricht von zentraler Bedeutung. In Schulen mit personalisierten Lernkonzepten arbeiten Lernende zwar häufig an individuellen Lernprogrammen, jedoch messen solche Schulen auch dem gemeinsamen Lernen eine wichtige Rolle bei (siehe auch Kapitel 2.2). Dies zeigt sich unter anderem darin, dass die Lehrpersonen gemäss ihren eigenen Aussagen bewusst verschiedene kooperative Lernformen und gemeinsam zu lösende Probleme in den Unterricht einbauen (siehe auch Kapitel 2.4). Für das gemeinsame Bearbeiten von Aufgaben und Problemen wird den Schülerinnen und Schülern in einigen Schulen zu Beginn des Schuljahres sogar eine Lernpartnerin bzw. ein Lernpartner zugeteilt (siehe auch Kapitel 3.5.6). In diesen fixen Lernpartnerschaften wird während des ganzen Schuljahres gelernt und gearbeitet. Darüber hinaus verfügen perLen-Schulen auch über das räumliche Potenzial zum gemeinsamen Arbeiten und Lernen (z.B. viele Gruppenräume). Während in den Lernlandschaften nicht gesprochen werden darf, können in den Gruppenräumen zusammen Aufträge bearbeitet werden.

Theoretisch gesehen spricht ebenfalls einiges für das gemeinsame Lernen und Problemlösen (z.B. King, 1999; Lipowsky, 2015; Pauli & Reusser, 2000; Renkl, 2008; Reusser, 2006; Reusser

⁹ In der vorliegenden Arbeit wird Kollaboration als Zusammenarbeit mit mindestens einer Partnerin oder einem Partner verstanden und nicht im historischen Sinne von Zusammenarbeit mit dem Feind (siehe auch Stebler, 1999).

& Pauli, 2015): Aus der Perspektive eines *kognitiv-konstruktivistischen Verständnisses* im Sinne von Piaget sind kognitive Konflikte, welche während der Zusammenarbeit auftreten können, wichtig für das Lernen, da sie eine Umstrukturierung und Weiterentwicklung der eigenen kognitiven Strukturen initiieren können. Aus der Sicht eines *sozial erweiterten Konstruktivismus* in der Tradition von Vygotsky erfolgt die kognitive Entwicklung hauptsächlich durch Aushandlungs- und Interaktionsprozesse mit (kompetenteren) Personen. Durch die Interaktionen mit anderen verinnerlichen Lernende schrittweise neue Konzepte, Denkweisen und Strategien, was einen Lernzuwachs ermöglicht. Auch ähnlich kompetente Personen können in der Zusammenarbeit voneinander lernen, da sie sich durch ihre verschiedenen Perspektiven und ihr unterschiedliches Vorwissen wechselseitig unterstützen können.

In diesem Kapitel wird darauf eingegangen, wie Probleme gemeinsam gelöst werden. Dazu wird in Kapitel 3.6.1 zunächst dargestellt, was unter gemeinsamem Problemlösen verstanden wird. Wie Kooperation und Interaktion beim gemeinsamen Problemlösen untersucht werden und was wichtig für das erfolgreiche gemeinsame Problemlösen ist, wird in Kapitel 3.6.2 dargelegt. Analog zu den in Kapitel 3.5 beschriebenen individuellen Voraussetzungen spielen auch für das gemeinsame Lösen von Problemen Wissen, Problemlösestrategien, Metakognition, Motivation und Emotionen (siehe dazu z.B. Camacho-Morlesa, Slempa, Oadesa, Morrisha & Scoular, 2019) eine wichtige Rolle. Da sich in Abhängigkeit davon, ob Probleme allein oder gemeinsam gelöst werden, vor allem in Bezug auf die Metakognition Unterschiede ergeben, wird in Kapitel 3.6.3 auf die verschiedenen metakognitiven Prozesse beim gemeinsamen Problemlösen eingegangen. Abschliessend werden in Kapitel 3.6.4 die verschiedenen Aspekte zusammenfassend dargestellt und in Kapitel 3.6.5 zusätzlich anhand der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit), welche auf dem allein zu lösenden Verpackungsproblem aufbaut (siehe Kapitel 3.1.3), erörtert.

3.6.1 Definition von kollaborativem Problemlösen

In diesem Kapitel wird erläutert, was unter kollaborativem Problemlösen verstanden wird.

Eine aktuelle Definition von kollaborativem Problemlösen findet sich bei PISA 2015:

Collaborative problem-solving competency is (1) the capacity of an individual (2) to effectively engage in a process (3) whereby two or more agents (4) attempt to solve a problem (5) by sharing the understanding and effort required to come to a solution (6) and pooling their knowledge, skills and efforts to reach that solution. (OECD, 2017d, S. 134, Nummerierung durch Autorin eingefügt)¹⁰

¹⁰ Eine deutsche Übersetzung findet sich bei Zehner, Weis, Vogel, Leutner und Reiss (2017): „PISA definiert diese Kompetenz [kollaboratives Problemlösen] als die Fähigkeit, sich effektiv und zielorientiert am Lösungsprozess

Diese Definition baut auf der Definition der individuellen Problemlösekompetenz von PISA 2012 auf und bezieht sich explizit auf Fünfzehnjährige und Probleme, welchen die Jugendlichen inner- und ausserhalb der Schule begegnen (OECD, 2017c). Im Folgenden wird auf die verschiedenen Aspekte der Definition einzeln eingegangen: (1) PISA 2015 definiert die Kompetenz des kollaborativen Problemlösens als die *individuelle* Kapazität innerhalb einer kollaborativen Situation und bezieht sich somit auf die Leistung, die ein Individuum beim gemeinsamen Problemlösen erbringt. (2) Gemäss PISA beinhaltet das kollaborative Problemlösen sowohl eine individuelle Verarbeitung, welche kognitive (siehe auch Kapitel 3.5.1) und soziale Fähigkeiten umfasst, als auch einen Kommunikationsprozess, bei welchem mit anderen interagiert wird. Hierbei muss ein gemeinsames Verständnis geschaffen und müssen geeignete Massnahmen ergriffen werden, um die Probleme zu lösen und die Gruppenorganisation aufzubauen und aufrechtzuerhalten (siehe auch Kapitel 3.6.3). (3) Beim kollaborativen Problemlösen interagieren mindestens zwei „Agents“ (OECD, 2017d, S. 135) miteinander. Damit sind sowohl Menschen als auch computersimulierte Teilnehmende gemeint (siehe auch Kapitel 5.1). Agents können Ziele festlegen, Handlungen ausführen, kommunizieren, auf Nachrichten anderer reagieren, die Umgebung wahrnehmen, sich an veränderte Umgebungen anpassen und lernen. (4) Hinsichtlich der gemeinsamen Lösung eines Problems setzt PISA den Schwerpunkt auf die kollaborativen Handlungen, während die Lösung weniger stark gewichtet wird. (5) Kollaboration kann nur entstehen, wenn die Teilnehmenden ein gemeinsames Verständnis des Problems und der Lösung anstreben, was durch Kommunikation und Interaktion erreicht werden kann. (6) Schliesslich verlangt Kollaboration, dass jede bzw. jeder weiss, wie das eigene Wissen und die eigenen Fähigkeiten zum Problemlösen beitragen können. Um gemeinsam ein Problem zu lösen, müssen sich die verschiedenen Teilnehmenden anstrengen und bemühen.

Die oben erläuterte Definition zum kollaborativen Problemlösen von PISA 2015 beinhaltet drei Kernkompetenzen (OECD, 2017d): (1) Ein gemeinsames Verständnis schaffen und aufrechterhalten, (2) adäquat kollaborativ handeln und (3) Teamorganisation aufbauen und aufrechterhalten können. (1) Für eine erfolgreiche Kommunikation ist zunächst eine gemeinsame

einer Problemsituation mit mindestens zwei Akteuren zu beteiligen, bei dem die Akteure das für die Lösung notwendige gemeinsame Verständnis herstellen und die notwendige gemeinsame Anstrengung aufbringen sowie ihr Wissen, ihre Fertigkeiten und ihre Anstrengungen vereinen“ (S. 2).

Grundlage wichtig. Dazu müssen die Lernenden fähig sein, gemeinsames Wissen und die Ansichten der anderen zu identifizieren sowie eine gemeinsame Vorstellung des Problems zu schaffen. Jede Person muss deshalb darauf achten, wie die eigenen Fähigkeiten und das eigene Wissen mit den Fähigkeiten und dem Wissen der anderen interagieren (siehe auch Kapitel 3.6.3). Aber auch das geteilte Verständnis soll während des Problemlösens stets überprüft und allenfalls neu ausgehandelt werden. (2) Des Weiteren müssen Lernende fähig sein, die Art der kollaborativen Problemlöseaktivitäten zu erkennen, welche zum Lösen des Problems erforderlich sind. Dazu müssen sie die entsprechenden Handlungen umsetzen können. Dies beinhaltet unter anderem das Verstehen des Problems, das Formulieren von Gruppenzielen für die Problemlösung und den Einsatz adäquater Handlungen. (3) Zuletzt müssen Lernende die Fähigkeit besitzen, ihre eigene Rolle, welche unter anderem von den Fähigkeiten und vom Vorwissen abhängt, und die Rolle der anderen zu verstehen. Neben dem Kommunizieren von Informationen muss ausserdem Feedback mitgeteilt und eingeholt und die Teamorganisation überwacht werden. Ohne Teamorganisation kann die Gruppe nicht wirksam funktionieren, wobei bei einigen Problemen eine starke Führung und bei anderen eher eine demokratische Organisation benötigt wird.

Vor dem Hintergrund dieser generellen Überlegungen wird in der vorliegenden Arbeit dann von gemeinsamem Problemlösen gesprochen, wenn zwei oder mehr Personen oder Computeragenten zusammen ein Problem lösen (siehe auch Kapitel 3.1 und 3.3).

3.6.2 Empirische Ergebnisse zum gemeinsamen Problemlösen

In diesem Kapitel werden verschiedene empirische Studien zum gemeinsamen Problemlösen vorgestellt. Ein besonderer Schwerpunkt wird dabei auf Untersuchungen gelegt, welche Interaktionen während des gemeinsamen Lösens erforschten, da sich gezeigt hat, dass eine qualitätsvolle Interaktion für das erfolgreiche Problemlösen zentral ist.

Bereits Schoenfeld (1985) untersuchte Interaktionen während des mathematischen Problemlösens. Er verglich dazu Gesprächsprotokolle hinsichtlich verschiedener Episoden (Lesen, Analysieren, Explorieren, Planen, Implementieren und Überprüfen, siehe auch Kapitel 3.5.3) bei Novizinnen und Novizen, Semi-Novizinnen und Semi-Novizen sowie Expertinnen und Experten. Der Autor konnte zeigen, dass Novizinnen und Novizen nach dem Lesen vor allem Zeit für das Explorieren einsetzen. Bei Expertinnen und Experten treten hingegen alle sechs Episoden, zum Teil sogar mehrmals, auf. Sie analysieren und explorieren beispielsweise nach dem Überprüfen noch einmal das Problem. Des Weiteren zeigte sich, dass die Problemlösephasen

auch beim gemeinsamen Problemlösen nicht linear und zum Teil auch mehrmals durchlaufen werden (siehe auch Kapitel 3.4.3).

Nicht das Vorkommen von Episoden, sondern die Kooperationshandlungen des Erklärens, Abguckens, Vorsagens, Erfragens und Vergleichens während des gemeinsamen Problemlösens hat Lange (2014) untersucht. Sie konnte zeigen, dass die Kooperationshandlungen bei Lernenden der 5. Klasse im Mathematikunterricht nicht nur punktuell auftraten, sondern auch länger andauerten und sich durch eine „häppchenweise Weitergabe“ (S. 191) charakterisieren lassen, das heisst, es wurde beispielsweise nach und nach „abgeguckt“ oder vorhergesagt. Die Lernenden kooperierten dabei nicht nur im Hinblick auf das Was und das Wie, sondern auch in Bezug auf das Warum. Sie begründeten und rechtfertigten somit auch ihre Aussagen.

Rosen (2015) hat Vierzehnjährige aus drei verschiedenen Ländern verglichen, welche entweder mit einer Partnerin bzw. einem Partner oder aber mit einem simulierten, computergesteuerten Gegenüber ein Problem lösten (siehe auch Kapitel 5.1). Das Problem bestand darin, die optimalen Bedingungen für ein Tier im Zoo zu finden. Der Autor konnte zeigen, dass kooperatives Problemlösen mit dem Computer mit einem signifikant höheren Niveau von gemeinsamem Verständnis, Verlaufskontrolle und Feedback einherging als wenn die Lernenden mit einer Partnerin bzw. einem Partner das Problem lösten. Dies hängt gemäss Rosen (2015) möglicherweise damit zusammen, dass Schülerinnen und Schüler im Setting mit dem Computer mehr Gelegenheit hatten, ihre kooperativen Problemlösefähigkeiten zu zeigen, als wenn die Lernenden mit einer Partnerin bzw. einem Partner arbeiteten. Keine Unterschiede wurden hingegen bei der Motivation der Lernenden gefunden (siehe auch Kapitel 3.5.4). Insbesondere grosse Studien wie beispielsweise PISA erheben kollaboratives Problemlösen ebenfalls mit Computern (OECD, 2017e). Die ersten Ergebnisse von PISA 2015 zeigen unter anderem, dass die Fünfzehnjährigen aus Singapur beim kollaborativen Problemlösen am besten abschnitten, dass rund 8% der Schülerinnen und Schüler über eine sehr hohe Kompetenz des kollaborativen Problemlösens verfügten und dass die Mädchen in allen teilnehmenden Staaten besser abschnitten als die Jungen (OECD, 2017a, 2017d). Die Kompetenz des kollaborativen Problemlösens der deutschen Fünfzehnjährigen ist im Vergleich zum OECD-Durchschnitt überdurchschnittlich ausgeprägt (Zehner et al., 2017). Ausserdem zeigen die Daten zum kollaborativen Problemlösen ein tendenziell besseres Abschneiden derjenigen Schülerinnen und Schüler, die eine positive Beziehungen zu ihren Peers, Lehrpersonen und Eltern haben (OECD, 2017a). Für die Schweiz liegen keine Daten vor.

Die Forschung hat des Weiteren gezeigt, dass Gruppen mathematische Probleme nicht unbedingt erfolgreicher lösen als Einzelpersonen: Stacey (1992) hat die mathematische Problemlöseleistung von Sekundarschülerinnen und Sekundarschülern beim gemeinsamen und individuellen Problemlösen verglichen, wobei die Gruppen nicht besser abgeschnitten haben als die Einzelpersonen. Aufgrund von Videoanalysen der Gespräche kam die Autorin zum Schluss, dass die Gruppen zwar viele korrekte Ideen und Hypothesen generierten, jedoch Mühe hatten, diese sorgfältig zu überprüfen und auszuwählen. Nachfragenden, zweifelnden Lernenden wurde in der Gruppenarbeit kaum Zeit gelassen, sich auszudrücken. Stattdessen wählten die Gruppen einfache Vorgehensweisen aus. Auch in der Untersuchung von Barron (2003) scheiterten eigentlich leistungsstarke Gruppen beim gemeinsamen Problemlösen. Weder frühere Mathematikleistungen noch die Anzahl genannter korrekter Lösungen während der gemeinsamen Problemlösung spielten eine Rolle für das erfolgreiche gemeinsame Problemlösen. Was sich jedoch für das erfolgreiche kollaborative Problemlösen als bedeutsam herausstellte, waren diejenigen Vorschläge, die von den Gruppenmitgliedern auch tatsächlich aufgenommen worden waren. Erfolgreiche Gruppen besprachen in der Untersuchung von Barron (2003) Vorschläge signifikant ausführlicher und setzten diese häufiger mit früheren Aussagen in Verbindung. Wenig erfolgreiche Gruppen hingegen generierten zwar durchschnittlich mehr korrekte Vorschläge in der Gruppe, diskutierten diese jedoch kaum und verwarfen sie schnell wieder.

Entscheidend für das erfolgreiche gemeinsame Problemlösen scheint somit die Qualität der Interaktion zu sein. Diese manifestiert sich darin, dass Lernende sich in einer vertrauensvollen Atmosphäre gegenseitig aktiv zuhören, sich präzise verständigen, die verschiedenen Beiträge aufeinander aufbauen, Aussagen kritisch hinterfragen, Erklärungen formulieren und sich konstruktiv mit Ideen und Lösungsvorschlägen auseinandersetzen (z.B. King, 1999; Mercer, 1995, 1996; Webb et al., 2014; Wegerif et al., 2017). Der Austausch mit anderen hilft, Ideen zu klären, Bedeutungen auszuhandeln, neue Einsichten zu entwickeln, die Denkprozesse explizit zu machen und neues Wissen zu schaffen (Resnick, Asterhan, Clarke & Schantz, 2018; Webb et al., 2002; Wittrock, 1990). Diese zusätzliche Anstrengung kann erklären, weshalb Gruppen mit qualitätsvollen Interaktionen bessere Leistungen erzielen, Probleme effizienter lösen als Einzelpersonen und Probleme lösen können, für welche eine einzelne Person nicht über alle erforderlichen Kapazitäten verfügen würde (OECD, 2017d).

Im Zusammenhang mit kooperativem Lernen und Problemlösen in Schulkontexten werden Gruppengespräche, welche die oben genannte Kriterien erfüllen, auch als Exploratory Talk bezeichnet (Mercer, 1995, 1996). Diese Gesprächsart steht in Abgrenzung zum Disputational und Cumulative Talk (siehe auch Mercer, 2002; Mercer, Wegerif & Dawes, 1999). Tabelle 10 zeigt, wie sich die drei Gesprächstypen nach Mercer charakterisieren lassen.

Tab. 10: Überblick über die Gesprächstypen nach Mercer (1995, S. 104 ff.; 1996, S. 369)

Disputational Talk	
<ul style="list-style-type: none"> • Nicht produktiv • Viele Meinungsverschiedenheiten • Lernende fällen selbst Entscheide und setzen diese durch • Wenige Versuche, Ressourcen, zu bündeln 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaum konstruktive Kritik • Viele Behauptungen („Ja, so ist es!“, „Nein, es ist nicht so!“) und Gegenbehauptungen • Kompetitive statt ko-konstruktive Stimmung
Cumulative Talk	
<ul style="list-style-type: none"> • Produktiv • Aufbau gemeinsamen Wissens durch Akkumulation 	<ul style="list-style-type: none"> • Oft Wiederholungen, unkritische Bestätigungen und Darstellungen • Kaum Bewertung der Ideen anderer
Exploratory Talk	
<ul style="list-style-type: none"> • Produktiv • Kritischer, aber konstruktiver Umgang mit Ideen anderer • Aktives Zuhören • Verständnisfragen, welche Erklärungen und Begründungen hervorrufen • Wichtige Informationen werden miteinander geteilt • Beiträge bauen aufeinander auf 	<ul style="list-style-type: none"> • Aussagen werden (mit Begründung) infrage gestellt • Alle werden ermutigt, mitzumachen • Mit Ideen und Meinungen wird respektvoll umgegangen • Vertrauensvolle Atmosphäre • Gruppe sucht nach Übereinstimmung und gemeinsamer Entscheidung

Exploratory Talk zeichnet sich dadurch aus, dass sich die Lernenden in einer vertrauensvollen Atmosphäre aktiv zuhören, einander Fragen stellen und einen kritischen, aber konstruktiven Umgang mit den Ideen anderer Lernenden pflegen. Die Beiträge bauen aufeinander auf und das Gespräch ist insgesamt produktiv. Diese Eigenschaften von Exploratory Talk wurden auch von anderen Autorinnen und Autoren als Charakteristika erfolgreicher Gespräche identifiziert. Solche Gesprächsmuster werden in der Literatur auch als *Ko-Konstruktion* (Roschelle & Teasley, 1995), *Accountable Talk* (Michaels, O'Connor, Hall & Resnick, 2010) oder *dialogische Gespräche* (Alexander, 2008) bezeichnet.

Da sich qualitätsvolle Gespräche, also beispielsweise Exploratory Talk, als in hohem Masse bedeutsam für das erfolgreiche gemeinsame Problemlösen erwiesen haben, Lernende jedoch selten spontan explorative Verhaltensweisen zeigen (King, 1999; Webb & Treagust, 2006), wurden verschiedene Interventionen entwickelt, um diese Gesprächsfähigkeiten bei Schülerinnen und Schülern, aber auch bei Lehrpersonen gezielt zu fördern. Im Folgenden werden

empirische Studien zum Exploratory Talk allgemein sowie Studien, die Lernende bzw. Lehrpersonen in Exploratory Talk trainierten, vorgestellt.

Wegerif und Mercer (1997) erforschten die Argumentation von Schülerinnen und Schülern beim Lösen einer Problemlöseaufgabe (Bestimmen des fehlenden Puzzleteils) in Kleingruppen anhand typischer Schlüsselwörter von Exploratory Talk. Nach der Intervention konnten die Autoren generell mehr Eigenschaften eines explorativen Gesprächs finden. Soter et al. (2008) identifizierten in Anlehnung an Wegerif und Mercer (1997) ebenfalls Schlüsselwörter und untersuchten deren Auftreten bei verschiedenen Gesprächsarten. Die Autoren konnten bei kritisch-analytischen Gesprächen den höchsten Anteil an Reasoning beobachten. Auch die Untersuchung von Barnes (1999) zeigte, dass die Art des Gesprächsanlasses einen Einfluss darauf haben kann, wie Schülerinnen und Schüler miteinander interagieren. Sie untersuchte Gruppengespräche von Lernenden der 10. Jahrgangsstufe in Mathematik und ordnete diese Gespräche den drei Gesprächstypen nach Mercer (1995, 1996) zu. Kein Gespräch wurde dabei als Disputational Talk eingestuft, was gemäss der Autorin auch an der Reife der Lernenden liegen könnte. Cumulative Talk konnte vor allem dann beobachtet werden, wenn die Lernenden eine Problemlöseaufgabe lösen mussten, bei welcher kaum Unklarheiten bestanden. Musste hingegen neues Wissen generiert werden, trat der Exploratory Talk auf. Welcher Gesprächstyp nach Mercer vorkommt, kann also auch von der Aufgabe bzw. dem Vorwissen und dem Können der Lernenden abhängen.

In der Studie von Webb und Treagust (2006) konnte eine signifikante Verbesserung in der naturwissenschaftlichen Problemlöseleistung derjenigen Schülerinnen und Schüler der 7. Klasse festgestellt werden, welche an einem Training zu Exploratory Talk teilgenommen hatten. Mercer und Sams (2006) stellten in ihrem Interventionsprogramm „Thinking Together“ ähnliche Effekte fest: Primarschülerinnen und Primarschüler, in deren Unterricht Exploratory Talk eingeführt worden war, konnten Sprache wirksamer als Werkzeug für das gemeinsame Problemlösen einsetzen als Schülerinnen und Schüler, welche keine Einführung zu Exploratory Talk erhalten hatten. Zudem verbesserte die Gesprächsqualität auch das individuelle Lernen und Verstehen von Mathematik. Der Autor und die Autorin gelangten ausserdem zum Schluss, dass Mathematiklehrpersonen eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Gesprächskompetenzen für das Reasoning spielen.

Die wichtige Rolle der Lehrpersonen beim Einüben von Exploratory Talk zeigen auch verschiedene Untersuchungen der Forschungsgruppe um Gillies. So führten Gillies und Khan (2008)

eine Vergleichsstudie zur Wirksamkeit verschiedener Lehrpersonentrainings durch. Sie konnten zeigen, dass die Lernenden von Lehrpersonen, welche ein kommunikatives und kooperatives Training besucht hatten, bei einer offenen Problemlöseaufgabe signifikant besser abschnitten, als Lernende von Lehrpersonen, welche nur an einem Workshop zur Gruppenarbeit teilgenommen hatten. Zudem waren die Gespräche der Schülerinnen und Schüler aus der kommunikativen und kooperativen Bedingung elaborierter als die Gespräche der Lernenden aus der anderen Bedingung und der Kontrollgruppe. Gillies und Khan (2009) untersuchten in einer weiteren Studie, wie Lehrpersonen das kognitive und metakognitive Denken der Schülerinnen und Schüler herausfordern können und inwieweit dies einen Einfluss auf die Gespräche sowie einen Follow-up-Test (Problemlösen und Reasoning) aufweist. Sie konnten zeigen, dass das Unterrichtshandeln von Lehrpersonen nach einem Workshop zu kooperativem Lernen und Fragetechniken einen höheren Anteil an herausforderndem Verhalten und Scaffolding aufwies als dasjenige von Lehrpersonen, welche nur einen Workshop zu kooperativem Lernen absolviert hatten. Dieser Unterschied spiegelte sich auch in den Antworten der Schülerinnen und Schüler wider: Die Antworten der Lernenden derjenigen Lehrpersonen, die am umfangreicheren Workshop teilgenommen hatten, waren elaborierter sowie reicher an Argumenten und Begründungen als die Antworten der Lernenden aus den anderen Klassen. Jedoch gab es im Follow-up-Test keine Unterschiede zwischen den Lernenden verschiedener Bedingungen. Gillies und Khan (2009) vermuten, dass die Zeit für einen Transfer vom kooperativen Setting zu einem individuellen Setting (Problemlösetest) zu knapp war. Weiter untersuchte Gillies (2016) das Auftreten verschiedener dialogischer Interaktionen beim kooperativen Problemlösen, nachdem die drei untersuchten Lehrpersonen ein Training zu dialogischen Gesprächen erhalten hatten. Die verschiedenen Gruppengespräche bestanden zwischen 66 und 90% aus produktivem Gespräch. Gillies (2016) hielt zusammenfassend fest, dass die Lernenden ein Inventar von Gesprächswerkzeugen angelegt hätten, auf die sie sich stützen konnten, um auf Fragen, Aussagen, Herausforderungen oder Vorschläge zu antworten.

Mit Blick auf die in diesem Kapitel referierten Studien gilt es abschliessend generell festzuhalten, dass eine Einschränkung der Gesprächsqualitätskonzepte und der darauf bezogenen Analyseinstrumente darin besteht, dass vor allem die interaktive Qualität der Gespräche im Zentrum steht, während fachliche und inhaltliche Aspekte der Problembearbeitung weitgehend

vernachlässigt werden. Beispielsweise wird nicht berücksichtigt, ob Fachbegriffe adäquat verwendet oder ob die Argumente inhaltlich korrekt sind. In der vorliegenden Arbeit sollen solche Aspekte ebenfalls berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.6.4).

3.6.3 Metakognition und Regulation

In der Definition des kollaborativen Problemlösens nach Care und Griffin (2017) kommt explizit die Regulation der Aufgabe vor. So spielen ähnlich wie beim individuellen Problemlösen auch beim gemeinsamen Problemlösen Metakognition und Regulation eine wichtige Rolle (siehe Kapitel 3.5.3). Zunächst ist gemäss Miller und Hadwin (2015) Selbstregulation erforderlich, denn auch beim Zusammenarbeiten müssen die einzelnen Personen bewusst die eigene Kognition, das eigene Verhalten, die Motivation und die Emotionen überwachen und regulieren (siehe auch Kapitel 3.5.4 und 3.5.5). Des Weiteren ist die Co-Regulation wichtig, das heisst, die Lernenden helfen und unterstützen sich gegenseitig bei der erfolgreichen Selbstregulation. Dabei kann die Co-Regulation verschiedene Formen annehmen: Zum Beispiel hilft eine Schülerin einem Schüler, sich besser in der Gruppe zu beteiligen („Hattest du nicht vorhin eine Zusammenfassung? Kannst du schauen, was du dort geschrieben hast?“) oder seine Emotionen zu regulieren („Kein Stress, wir können warten, bis du den Abschnitt noch einmal gelesen hast!“). Zuletzt spielt auch die Socially Shared Regulation eine Rolle, also diejenigen Prozesse, bei welchen die Gruppenmitglieder zusammen ihre gemeinsame Aktivität regulieren (Hadwin & Oshige, 2011). Bei der Socially Shared Regulation werden beispielsweise zusammen die Ziele ausgehandelt oder es wird gemeinsam entschieden, wie im Weiteren vorgegangen werden soll. Es ist auch möglich, dass sich die Mitglieder einer Gruppe nicht alle im gleichen Ausmass an der Regulation beteiligen, sondern dass eine einzige Person oder ein Teil der Gruppe die Regulation für die restlichen Gruppenmitglieder übernimmt (Rogat & Adams-Wiggins, 2014). Volet, Vauras, Khosa und Iiskala (2013) haben die Socially Shared Metacognitive Regulation (SSMR) unter anderem bei jüngeren Schülerinnen und Schülern untersucht. Dabei kam SSMR signifikant häufiger bei schwierigen als bei mittelschweren oder einfachen Problemlöseaufgaben vor. Es scheint, dass die Schwierigkeit einer Aufgabe entscheidend dafür ist, ob die Lernenden gemeinsam regulieren müssen oder nicht. Je schwieriger eine Problemlöseaufgabe war, desto mehr verschiedene Funktionen der SSMR konnten die Autorinnen beobachten: Bei einfachen Problemlöseaufgaben musste kaum gemeinsam reguliert werden und es kamen fast nur Bestätigungen und Zusagen vor. Je schwieriger eine Problemlöseaufgabe war, desto häufiger liessen sich auch hemmende Funktionen beobachten. Dies konnten verlangsamende

(z.B. vorhergehende Arbeit wurde infrage gestellt), wechselnde (z.B. eine Aktivität wurde verworfen und ein neuer Ansatz wurde gewählt) oder stagnierende Funktionen (z.B. eine Sackgasse wurde erreicht und die Gruppe wusste nicht, wie sie weiterarbeiten sollte) sein.

Je nach Gruppenzusammensetzung lässt sich zudem unterschiedlich viel metakognitives Verhalten feststellen. Artzt und Armour-Thomas (1997) konnten nachweisen, dass Siebtklässlerinnen und Siebtklässler in stark heterogenen Gruppen am meisten metakognitives Verhalten beim Lösen eines mathematischen Problems zeigten. Wichtig ist dabei gemäss Artzt und Armour-Thomas (1997), dass Lernende mit höheren metakognitiven Fähigkeiten glauben, dass sie von den Beiträgen ihrer Mitlernenden profitieren können. Denn dann würden sie ihre Gruppenmitglieder eher unterstützen und ermutigen, metakognitive Beiträge zu leisten, als wenn sie davon überzeugt seien, nicht von ihren Mitlernenden profitieren zu können.

3.6.4 Zwischenfazit

Die Zusammenarbeit beim Lösen von Problemen bringt viele Vorteile mit sich: Verschiedene Perspektiven, Meinungen und Erfahrungen können miteinbezogen werden, Synergien zwischen den Beteiligten können entstehen, was zu effizienteren und besseren Lösungen führt, und die Arbeit kann aufgeteilt werden, wobei jede Person das übernehmen kann, worin sie am besten ist. Forschungsergebnisse zum kollaborativen Problemlösen haben jedoch gezeigt, dass Gruppen Probleme nicht per se erfolgreicher lösen als Einzelpersonen. Entscheidend für erfolgreiches gemeinsames Problemlösen ist die Qualität der Interaktion. In erfolgreichen Gruppen hören sich die Mitglieder in einer vertrauensvollen Atmosphäre aktiv zu, bauen die verschiedenen Beiträge aufeinander auf, hinterfragen Aussagen kritisch, setzen sich ko-konstruktiv mit Ideen und Lösungsvorschlägen auseinander und die gemeinsame Entscheidung steht im Zentrum. Im Zusammenhang mit kooperativem Lernen und Problemlösen in Schulkontexten werden Gruppengespräche, die solche Merkmale aufweisen, auch als *Exploratory Talk* (Mercer, 1995, 1996) bezeichnet. Dabei liegt der Fokus der Analysen im Wesentlichen auf der interaktiven Qualität der Gruppengespräche, während fachlich-inhaltliche oder regulative Aspekte der Problemlöseprozesse weitgehend vernachlässigt werden (siehe auch Kapitel 3.6.2). Diese sollen neben der interaktiven Gesprächsqualität (im Sinne von *Exploratory Talk*) in der vorliegenden Arbeit daher ebenfalls berücksichtigt werden.

Bezogen auf die fachlich-inhaltliche Dimension interessieren insbesondere drei Gesichtspunkte, welche im Folgenden ausgeführt werden: (1) Verwendung von Fachbegriffen, (2) Verstehenselemente und (3) Argumentieren und Begründen. (1) Jede Disziplin verfügt über eine

Fachsprache und einen eigenen Fachwortschatz. Die mathematische Fachsprache zeichnet sich durch eine bestimmte syntaktische Struktur aus: Zum Beispiel haben Konjunktionen in der mathematischen Fachsprache eine spezifische Bedeutung und werden anders verwendet als in der Alltagssprache (Ehret, 2017). Zudem unterscheidet sich die mathematische Fachsprache von anderen Fachsprachen und der Alltagssprache dadurch, dass sie eine grosse Menge an Symbolen beinhaltet (z.B. für Konstanten und Variablen). Beim gemeinsamen Problemlösen sollen Fachbegriffe korrekt verwendet und adäquat eingesetzt werden (siehe auch Brunner, 2013; Linneweber-Lammerskitten, 2014). (2) Des Weiteren müssen die Lernenden verstehen, worum es geht, oder sie müssen während der Bearbeitung Begriffe oder Inhalte klären. Drollinger-Vetter (2011) definiert dazu Verstehenselemente als Teilelemente, welche miteinander verknüpft einen Begriff oder ein Konzept im kognitionspsychologischen Sinne des Begriffsaufbaus ausmachen. Die verschiedenen Verstehenselemente müssen verstanden werden, um ein Konzept als Ganzes zu verstehen (siehe auch Kapitel 3.5.9). (3) Ausserdem muss beim gemeinsamen Problemlösen argumentiert und begründet werden. Gemäss Linnemann und Bruder (2016) sind beim Argumentieren auch Begründungen zulässig, die (noch) nicht völlig gesichert sind und beispielsweise noch Ausnahmen zulassen. Somit ist Argumentieren eine Vorform des strengen mathematischen Beweisens. Laut Schwarzkopf (2015) entsteht eine Argumentation dann, wenn „für eine Aussage ein Begründungsbedarf angezeigt wird“ (S. 39). So dienen Argumente dazu, „andere Menschen von der Gültigkeit einer Aussage oder von deren Angemessenheit zu überzeugen“ (Tebaartz & Lengnink, 2015, S. 105), wozu sprachliche Kompetenz benötigt wird (Linneweber-Lammerskitten, 2014).

Diese drei Gesichtspunkte sind nicht unabhängig voneinander: Beispielsweise braucht es Fachbegriffe und die verschiedenen Verstehenselemente müssen verstanden werden, damit eine fachlich korrekte, qualitätsvolle inhaltliche Auseinandersetzung stattfinden kann. Auch die Qualität der Interaktion gemäss Mercer (1995) hängt unter anderem mit dem Argumentieren und Begründen zusammen: Im Gegensatz zum Exploratory Talk stellen die Lernenden beim Disputational Talk beispielsweise Behauptungen auf und begründen diese nicht. Weiter ist es zum Beispiel möglich, dass eine Gruppe zwar Exploratory Talk verwendet, die verwendeten Fachbegriffe und Argumente aus fachlicher Perspektive jedoch nicht vollständig, nicht angepasst oder sogar falsch sind.

3.6.5 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit): Aufgabenstellung und ganzheitliche Analyse

Aufbauend auf der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) aus Kapitel 3.1.3 wurde das Problem in der vorliegenden Arbeit für das kollaborative Setting erweitert (siehe Abbildung 9).

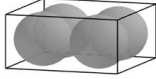
	<p>Verpackungen</p> <p>In diese Schachtel passen genau vier Tischtennisbälle. Es können aber auch andere Formen von Schachteln hergestellt werden, in die ebenfalls genau vier Bälle passen.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Insgesamt gibt es über 15 verschiedene Schachteln für genau vier Tischtennisbälle. Versucht gemeinsam, möglichst viele unterschiedliche Schachteln zu finden. Macht jeweils eine Zeichnung von den Schachteln mit den vier Bällen darin! 2. Welches ist in euren Augen die beste Verpackung? Warum ist genau die von euch gewählte Schachtel die beste Verpackung? Wie unterscheidet sie sich von den anderen Verpackungen? Begründet eure Wahl ausführlich!
---	--

Abb. 9: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

Vorgegeben ist wiederum dieselbe Schachtel ohne Deckel mit vier Tischtennisbällen (Ausgangszustand) und es sollen in Aufgabe 1 möglichst viele weitere Schachteln gezeichnet werden, in welche ebenfalls genau vier Bälle passen (Zielzustand). Im Gegensatz zur allein zu lösenden Problemlöseaufgabe ist hier der Zielzustand weniger klar, da nicht konkret angegeben wird, wie viele Verpackungen erwartet werden. Als Richtwert wird angegeben, dass es über 15 mögliche Schachteln gibt. Wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben, braucht es zur Überwindung der Barriere vor allem räumliches Vorstellungsvermögen, da verschiedene dreidimensionale Schachteln gefunden und anschliessend durch eine Transformation in zweidimensionale Zeichnungen überführt werden müssen. Analog zum allein zu lösenden Verpackungsproblem braucht es auch bei diesem darauf aufbauendem Problem gewisse individuelle Voraussetzungen wie Wissen (siehe Kapitel 3.5.1 und 3.5.9): Zentrale Verstehenselemente in Anlehnung an Drollinger-Vetter (2011) sind, (1) dass die Verpackung eine Öffnung hat und (2) dementsprechend die Lage im Raum eine Rolle spielt. Ausserdem müssen (3) die vier Tischtennisbälle eng verpackt sein (siehe für diese drei Verstehenselemente auch Kapitel 3.5.9). (4) Zudem ist die Anzahl korrekter Lösungen offen, es gibt aber gemäss dem Auftrag über 15 verschiedene korrekte Schachteln. Des Weiteren spielen Problemlösestrategien eine wichtige Rolle: Zusätzlich zu den bereits in Kapitel 3.5.9 beschriebenen Strategien kann es beispielsweise eine sinnvolle Strategie sein, zunächst eine Schachtel auszuwählen und diese jeweils im Raum zu drehen und so systematisch alle Lagen zu ermitteln (z.B. aus dem länglichen Quader gibt es eine stehende und eine liegende Verpackung, siehe auch Verstehenselement 2 und Kapitel 3.2.3). Wird die-

ses wichtige Verstehenselement nicht verstanden, ist es kaum möglich, mehr als 15 verschiedene Schachteln zu finden. Im Vergleich zum allein zu lösenden Verpackungsproblem gibt es vor allem in der Regulation Unterschiede, da nicht nur selbst reguliert, sondern auch co-reguliert (z.B. „Welche drei Schachteln hast du allein gefunden?“) und sozial geteilt reguliert werden muss (z.B. „Wie wollen wir vorgehen? Zunächst zeigen alle die in der Einzelarbeit gezeichneten Schachteln und darauf aufbauend suchen wir möglichst viele weitere Schachteln, okay?!“ oder „Beginnst du einmal mit dem Zeichnen der Schachteln? Und ich nehme die Bälle und versuche, sie auf möglichst viele verschiedene Arten hinzulegen. Nach ein paar Schachteln tauschen wir die Rollen. Was meinst du, sollen wir so vorgehen?“).

Zusätzlich sollen die Schülerinnen und Schüler in Aufgabe 2 entscheiden, welches in ihren Augen die beste Verpackung ist. Was mit „beste Verpackung“ gemeint ist, wird nicht näher ausgeführt. Der Zielzustand ist insofern klar, als genau eine Schachtel ausgewählt werden soll. Anhand welcher Kriterien entschieden werden soll, ist hingegen offen. Die Herausforderung besteht nun darin, geeignete Kriterien heranzuziehen und die Auswahl nachvollziehbar und plausibel zu begründen. Die Schachteln könnten zum Beispiel hinsichtlich ökologischer, ökonomischer (z.B. möglichst wenig Verpackungsmaterial, möglichst einfach herzustellen), praktischer (z.B. gut stapelbar) oder ästhetischer Aspekte (z.B. möglichst attraktiv) beurteilt werden. Das Vorwissen bzw. die Vorerfahrung kann hierbei auch eine grosse Rolle spielen, da möglicherweise eher Verpackungen als gut eingeschätzt werden, welche bereits in Sportgeschäften zum Verkauf von Bällen gesehen wurden. Je nach gewähltem Kriterium und je nach Vorwissen werden andere Verpackungen als besser bzw. schlechter eingeschätzt. Unterschiede dürften sich auch in der Argumentation zeigen.

3.7 Welche besonderen Lerngelegenheiten ermöglicht personalisiertes Lernen für den Aufbau von Problemlösefähigkeiten?

Personalisiertes Lernen hat gemäss unterschiedlicher Definitionsansätze den Anspruch, verschiedene fachliche und überfachliche Kompetenzen aufzubauen und selbstgesteuertes Lernen auf eigenen Wegen zu ermöglichen (v.a. Stebler et al., 2018; siehe auch Kapitel 2.2). In den vorangehenden Kapiteln wurde an mehreren Stellen beschrieben, welche konkreten Lerngelegenheiten personalisiertes Lernen in Bezug auf wichtige Fähigkeiten im Zusammenhang mit dem Aufbau von Problemlösekompetenz ermöglichen kann (v.a. Kapitel 3.5.2 und 3.5.3). In diesem Kapitel werden diese Überlegungen zusammenfassend dargestellt und es

wird darüber hinaus in diesem Zusammenhang auch auf die Qualität der Tiefenstruktur von Unterricht eingegangen.

Schülerinnen und Schüler arbeiten in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten vermehrt selbstständig und selbstgesteuert an individuellen Lernprogrammen (z.B. Wochenplan, siehe auch Kapitel 2.4). Dank dieser Arbeitsweise dürften indirekt verschiedene für das Problemlösen wichtige Fähigkeiten gefördert werden: Teilziele bilden, einhalten und kontrollieren, sich selber motivieren und an einer Aufgabe dranbleiben, Emotionen regulieren sowie passende soziale und/oder mediale Hilfen nutzen (siehe Kapitel 3.5). Jedoch bietet ein solcher Unterricht nicht nur vielfältige Lerngelegenheiten, sondern er stellt auch äusserst hohe Anforderungen an die Lernenden: Die Schülerinnen und Schüler müssen zum Beispiel zunächst lernen, selbstständig und selbstreguliert an einem individuellen Lernprogramm zu arbeiten und Verantwortung für ihr eigenes Lernen zu übernehmen (siehe auch Kapitel 2.2). Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Schülerinnen und Schüler dies einfach indirekt und nebenbei lernen. So wünschen sich selbst Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II zum Teil noch „so etwas wie eine Anleitung zum selbstständigen Lernen“ (Kyburz-Graber & Notter, 2019, S. 71). Benötigt wird somit – zumindest zu Beginn – auch eine direkte Förderung dieser verschiedenen Fähigkeiten. Das bedeutet, dass die Schülerinnen und Schüler zum selbstständigen Lernen angeleitet und dabei unterstützt werden müssen.

Grundsätzlich verfügen Schulen mit personalisierten Lernkonzepten insbesondere auch über das zeitliche und räumliche Potenzial, um Problemlösefähigkeiten und damit zusammenhängende Fähigkeiten indirekt, aber auch direkt zu fördern. So können die Lernenden beispielsweise dank der Aufhebung des klassischen Lektionentaktes in den Phasen selbstständigen Lernens auch über einen längeren Zeitraum hinweg an einem umfangreicheren Problem arbeiten, welches zudem über den Inhalt eines Faches hinausgehen kann, da diese Phasen selbstständigen Lernens nicht einem bestimmten Fach zugeordnet sind. Ausserdem verfügen diese Schulen über verschiedene zeitliche Gefässe, in welchen direkte Trainings zum „Lernen lernen“ angeboten werden (z.B. Wahlfach oder auch Projektwochen; siehe auch Kapitel 3.5.2). Darüber hinaus kann das räumliche Potenzial – insbesondere die grosse Anzahl von Gruppenräumen – dazu beitragen, dass die Schülerinnen und Schüler relativ einfach zusammenarbeiten können und sich dadurch gewohnt sind, gemeinsam Aufgaben und Probleme zu lösen (siehe auch Kapitel 3.6.4).

Die perLen-Schulen scheinen somit unter anderem dank diesen individuellen Lernplänen über verschiedene günstige Voraussetzungen für den direkten und indirekten Aufbau der Problemlösefähigkeit zu verfügen. Neben diesen eher oberflächenstrukturellen Merkmalen (z.B. Organisation des Unterrichts anhand von individuellen Lernprogrammen, Aufheben des Lektionentaktes oder Einrichten von Lernateliers) spielt aber insbesondere die Qualität der Tiefenstruktur eine wichtige Rolle für die Lernwirksamkeit (siehe auch Kapitel 2.3). Diese wird im deutschsprachigen Raum meistens anhand der drei Qualitätsdimensionen guten Unterrichts „Kognitive Aktivierung“, „Verständnisorientierung“ sowie „Unterstützungsverhalten und Fürsorglichkeit der Lehrperson“ beschrieben (z.B. Hess & Lipowsky, 2016; Klieme et al., 2006; Kunter & Ewald, 2016; Kunter & Trautwein, 2013; Kunter & Voss, 2011). Dies bedeutet, dass Lernende in den Phasen selbstständigen Lernens zum Beispiel kognitiv aktivierende (Problemlöse-)Aufgaben lösen und nicht bloss einfache, kleinschrittig aufgebaute und wenig anregende Aufgaben, welche kaum eine vertiefte Auseinandersetzung veranlassen, abarbeiten sollen. Beobachtungen zum Handeln von Schülerinnen und Schülern in offenen Unterrichtsformen haben jedoch gezeigt, dass die Lernende die Aufgaben möglichst schnell abarbeiten wollen und schwierigeren oder komplizierteren Aufgaben tendenziell eher ausweichen (Breidenstein, 2018; Huf & Breidenstein, 2009).

Des Weiteren ist hinsichtlich der Basisdimensionen guten Unterrichts zentral, dass die Schülerinnen und Schüler in den Phasen selbstständigen Lernens eine qualitätsvolle Unterstützung durch die Lehrpersonen erfahren. Dabei sollen Lehrpersonen den Lernenden nicht nur bei der Organisation oder Korrektur von Aufgaben helfen, sondern vielmehr auch kognitiv anregend unterstützen und zum Beispiel auf einer fachlichen Ebene Inputs geben. Verschiedene Studien haben jedoch gezeigt, dass eine solche erwünschte kognitiv aktivierende Lernunterstützung in offenen Unterrichtsphasen nur selten vorkommt (zusammenfassend in Lipowsky & Lotz, 2015). Dabei muss berücksichtigt werden, dass ein individualisierter Unterricht eine grosse Herausforderung an die Lehrpersonen stellt: Da jede Schülerin bzw. jeder Schüler an einer anderen Aufgabe oder sogar an einem anderen Thema arbeitet, ist es für Lehrpersonen äusserst anspruchsvoll, den Überblick zu behalten und jeweils innert kürzester Zeit qualitativ hochstehende fachliche Inputs zu geben, obwohl solche für den Aufbau fachlicher Fähigkeiten zentral wären. Stattdessen werden eher Rückmeldungen zur formalen Organisation der Lern- und Arbeitsprozesse gegeben, da diese das einzige gemeinsame Thema in der Lerngruppe dar-

stellen (siehe auch Martens, 2018). Die Aufgabe der Lehrperson besteht somit in individualisierendem Unterricht weitgehend in der „Organisation der Selbstorganisation der Schülerinnen und Schüler durch die Steuerung der Aufgabenwahl oder das rechtzeitige Zur-Verfügung-Stellen von Unterrichtsmaterial“ (Martens, 2018, S. 215).

Insgesamt sollten jedoch Lernende aus Schulen mit personalisierten Lernkonzepten gegen Ende ihrer Schulzeit verschiedene Lerngelegenheiten zum Erwerb und Aufbau von Problemlösekompetenzen erhalten und genutzt haben. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass personalisierte Lernkonzepte nicht nur viele Lernmöglichkeiten bieten, sondern gleichzeitig auch hohe Anforderungen an die Schülerinnen und Schüler stellen. Die Lernenden müssen lernen, wie sie selbstständig mit einem Lernplan arbeiten und wie sie dabei ihre eigene Motivation aufrechterhalten und Hürden bewältigen können. Auch wenn einiges darauf hindeutet, dass an diesen wichtigen Fähigkeiten des Problemlösens in perLen-Schulen gearbeitet wird und der Ertrag nicht ausbleibt – insbesondere wenn der Unterricht auf der Tiefenstruktur qualitativ umgesetzt wird – liegen bislang nur wenige empirische Ergebnisse vor. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dieser Forschungslücke.

4 Forschungsfragen

Wie vorgängig ausgeführt wurde, liegt ein Schwerpunkt von Schulen mit personalisierten Lernkonzepten auf der Förderung fachlicher und überfachlicher Kompetenzen, wobei eine zentrale Kompetenz das Problemlösen ist. Personalisiertes Lernen verspricht hinsichtlich der Förderung der Problemlösekompetenz vor allem aus theoretischer und praktischer Sicht viel; bislang liegen jedoch keine Studien vor, die das Problemlösen in Deutschschweizer Schulen mit personalisierten Lernkonzepten untersucht haben. Hier setzte die vorliegende Forschungsarbeit an, indem versucht wurde, die nachfolgend aufgeführten Fragestellungen zu klären.

Fragestellung 1: Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen allein und gemeinsam ein Problem?

In einem ersten Schritt sollte analysiert werden, wie erfolgreich Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen das Problem „Verpackungen“ (Einzelarbeit) lösen, welches ursprünglich aus TIMSS 1995 stammt (siehe v.a. Kapitel 3.1.3 und 5.4.1). Neben dem Problemlöseprodukt interessierte weiter, wie die Lernenden beim Lösen des Verpackungsproblems vorgehen.

Da es zunehmend als wichtig erachtet wird, dass Probleme nicht nur allein, sondern auch gemeinsam erfolgreich gelöst werden können (siehe Kapitel 3.6), sollte des Weiteren untersucht werden, wie erfolgreich Schülerinnen und Schüler das Problem „Verpackungen“ (Gruppenarbeit) gemeinsam lösen (siehe Kapitel 3.6.5 und 5.4.3). Hier wurde zusätzlich der Prozess fokussiert, das heisst die Weise, in der Gespräche organisiert sind, und die Frage, welche interaktive, fachlich-inhaltliche sowie regulative Qualität diese Gespräche aufweisen.

Konkret sollten die folgenden Fragestellungen untersucht werden:

Frage 1a: Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen allein das Problem „Verpackungen“?

Produkt

- Wie erfolgreich lösen die Schülerinnen und Schüler die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)?
- Wie erfolgreich lösen die Schülerinnen und Schüler im Vergleich zur Schweizer TIMSS-Stichprobe (1995) die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)?
- Welche Lösungen erzielen die Schülerinnen und Schüler in den verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)?

Das hier verwendete Verpackungsproblem wurde neben anderen Problemlöseaufgaben bereits in TIMSS 1995 eingesetzt, wobei das Verpackungsproblem verglichen mit den anderen Problemlöseaufgaben am schlechtesten gelöst wurde (Harmon, 1999). In der vorliegenden Studie wurde jedoch vermutet, dass die Schülerinnen und Schüler aus den perLen-Schulen die vom Curriculum weitgehend unabhängige Problemlöseaufgabe relativ erfolgreich lösen würden, da in diesen Schulen ein Schwerpunkt auf dem Aufbau überfachlicher Kompetenzen liegt. Zudem konnte angenommen werden, dass die Lernenden es gewohnt sein sollten, selbstständig beispielsweise in der Lernlandschaft innerhalb einer vorgegebenen Richtzeit problemhaltige Aufgaben zu lösen (siehe auch Kapitel 2.4). Des Weiteren wurde auch davon ausgegangen, dass die hier untersuchten Lernenden die Aufgabe besser lösen würden als die in TIMSS 1995 untersuchten Schweizer Lernenden, da sie zum Erhebungszeitpunkt zwei Jahre älter waren (9. vs. 7. Klasse). Allerdings muss hier berücksichtigt werden, dass die Schweizer Schülerinnen und Schüler bereits 1995 ausgezeichnet abgeschnitten haben und nur Lernende aus Singapur höhere Testwerte erzielt haben (Stebler et al., 1997).

Hinsichtlich der konkreten Lösungen wurden ähnliche Lösungen wie in der Erhebung von TIMSS 1995 erwartet (siehe Kapitel 3.2.3, Leibundgut, 1996). Da nur drei Verpackungen erfunden werden müssen, wurde vermutet, dass die meisten Schülerinnen und Schüler kaum speziell kreative oder komplizierte Verpackungen, sondern eher aus dem Alltag bekannte Verpackungsformen (z.B. verschiedene Quader) abgeben würden, welche einfach zu zeichnen und berechnen sind. Es wurden also nicht viele verschiedene Schachteltypen erwartet, sondern viele ähnliche Schachteln.

Prozess

- Über welche Vorgehensweisen beim Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) berichten die Schülerinnen und Schüler?
- Nennen die Schülerinnen und Schüler bei der Beschreibung des Lösens der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) vollständige Problemlöseprozesse?
- Über welche Vorgehensweisen beim Lösen eines Problems berichten die Schülerinnen und Schüler?
- Nennen die Schülerinnen und Schüler bei der Beschreibung des Lösens eines Problems vollständige Problemlöseprozesse?

Da die Schülerinnen und Schüler in perLen-Schulen häufig ihren Arbeits- und Lernprozess reflektieren müssen (z.B. Portfolio, Lernbuch, Lerntagebuch, siehe Kapitel 2.4) wurde davon ausgegangen, dass sie relativ ausführlich über ihre Vorgehensweisen berichten können (siehe auch Kapitel 3.5.2). In Bezug auf das Beschreiben des Problemlöseprozesses beim Verpackungsproblem wurden viele ähnliche Vorgehensweisen, insbesondere aus der Ausführungsphase erwartet, da das Vorgehen relativ klar definiert ist. Hingegen wurden bei der allgemeinen Beschreibung unterschiedlichere Vorgehensweisen erwartet, da davon auszugehen war, dass die sich Lernenden auf unterschiedliche Probleme beziehen würden.

Es wurde davon ausgegangen, dass beim Verpackungsproblem eher über vollständige Problemlöseprozesse berichtet wird, da es einfacher zu sein scheint, das Vorgehen bei einem konkreten, soeben gelösten Problem vollständig zu beschreiben als bei einem abstrakten Problem. Die Literatur hat jedoch gezeigt, dass Lernende beim Problemlösen längst nicht immer linear vorgehen und nicht alle Phasen in der theoretisch aufbauenden Reihenfolge durchlaufen werden (siehe auch Kapitel 3.4.4).

Frage 1b: Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen gemeinsam das Problem „Verpackungen“?

Produkt

- Wie erfolgreich lösen die Gruppen die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)?
- Welche Lösungen erzielen die Gruppen in den verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)?

Es wurde davon ausgegangen, dass die Gruppen viele, das heisst weit mehr als drei Verpackungen für vier Tischtennisbälle finden, da sie bereits im Vorfeld allein je drei Schachteln gefunden haben sollten. Zudem wurden, da möglichst viele Verpackungen gefunden werden sollten, bei dieser Problemlöseaufgabe mehr verschiedene Schachteltypen erwartet.

Prozess

- Wie sind die Gespräche beim Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit) organisiert?
- Welchem Gesprächstyp nach Mercer (1995, 1996) lassen sich die Gespräche zuordnen?
- Welche fachlich-inhaltliche sowie regulative Qualität weisen die Gespräche auf?

Obwohl die Schülerinnen und Schüler in perLen-Schulen an persönlichen, individuellen Lernprogrammen arbeiten, legen die Schulen auch Wert auf Zusammenarbeit. Die Lehrpersonen bauen beispielsweise kooperative Lernformen in den Unterricht ein, damit die Schülerinnen und Schüler lernen, gemeinsam ein Problem zu lösen, oder sie geben den Lernenden Zeit, um sich über verschiedene Vorgehensweisen beim Problemlösen auszutauschen. Zudem stehen in diesen Schulen für die Zusammenarbeit auch spezielle Räume zur Verfügung. Es wurde daher erwartet, dass die Gruppen gut miteinander arbeiten können. Konkret vermutet wurden eine ausgeglichene Gesprächsbeteiligung, das Vorherrschen des Exploratory Talks, da sich dieser als in hohem Masse bedeutsam für das erfolgreiche gemeinsame Problemlösen herausgestellt hat (siehe Kapitel 3.6.2), und eine eher hohe fachlich-inhaltliche sowie regulative Qualität der Gespräche (siehe auch Kapitel 3.6.3).

Fragestellung 2: Welche Rolle spielen verschiedene Merkmale der Schülerinnen und Schüler beim individuellen Problemlösen?

Ausgehend von der Theorie, die den Einfluss verschiedener individueller Voraussetzungen für das erfolgreiche Problemlösen verdeutlicht (siehe Kapitel 3.5), sollten diese Merkmale in der vorliegenden Arbeit empirisch untersucht werden. Zusätzlich interessierten mögliche Zusammenhänge zwischen der Problemlöseleistung beim Verpackungsproblem (Einzelarbeit) und den von den Schülerinnen und Schülern wahrgenommenen Oberflächen- und Tiefenstrukturen des Unterrichts, da sich perLen-Schulen durch teilweise stark veränderte Strukturen auszeichnen. Konkret sollten die folgenden Fragestellungen beantwortet werden.

Frage 2a: Welche Rolle spielen soziodemografische Merkmale sowie individuelle Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler für ihre Problemlöseleistung beim Verpackungsproblem (Einzelarbeit)?

Als soziodemografische Merkmale der Schülerinnen und Schüler wurden das Geschlecht, die Muttersprache Deutsch und die Anzahl Bücher zu Hause als Indikator für den sozioökonomischen Hintergrund hinzugezogen. Zudem wurde auch das schulische Niveau in die Berechnungen miteinbezogen. Als individuelle Merkmale wurden die folgenden berücksichtigt: Wissen (siehe Kapitel 3.5.1), wobei dazu als eher distaler Indikator die Leistungsdaten aus einem Leistungstest (dem sogenannten Klassenscockpit Mathematik und Klassenscockpit Deutsch) verwendet wurden (siehe auch Kapitel 5.4.4 und 5.5.4), die Anzahl genannter Vorgehensweisen während des Lösens des Verpackungsproblems (siehe Kapitel 3.5.2), mehrere Skalen, welche

metakognitive Fähigkeiten abbilden (siehe Kapitel 3.5.3), die selbstberichtete Motivation vor dem Lösen (siehe Kapitel 3.5.4) sowie die selbstberichtete Konzentration während des Lösens des Verpackungsproblems, eine Skala zu den allgemeinen Emotionen im Fach Mathematik (siehe Kapitel 3.5.5) und eine Skala, in welcher die Schülerinnen und Schüler über die sozialen Unterstützungen Auskunft gaben (siehe Kapitel 3.5.6).

In der TIMSS-Untersuchung von 1995 gab es insgesamt und in der Schweiz im Speziellen keine signifikanten Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen (Harmon, 1999; Stebler et al., 1997). Unterschiede gab es hingegen beim schulischen Niveau: Die Problemlöseaufgabe wurde in der Schweiz von Realschülerinnen und -schülern signifikant schlechter gelöst als von Sekundar- oder Gymnasialschülerinnen und -schülern (Leibundgut, 1996). Aufgrund dieser früheren Auswertungen wurde erwartet, dass auch in der vorliegenden Studie keine Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen auftreten, jedoch Lernende aus dem höheren Niveau das Problem besser lösen würden als Lernende aus tieferen Niveaus.

Wie die in Kapitel 3.5 dargestellten Forschungsbefunde zeigen, spielen alle oben aufgeführten individuellen Merkmale der Schülerinnen und Schüler eine Rolle beim erfolgreichen Problemlösen. Es wurde jedoch erwartet, dass vor allem der mathematische und der sprachliche Wissensstand einen Zusammenhang zur Problemlöseleistung aufweisen würden, da Vorwissen, obwohl dieses in der vorliegenden Untersuchung eher distal mit dem Klassencockpit Mathematik und dem Klassencockpit Deutsch operationalisiert wurde, in traditionellem und offenem Unterricht als eine sehr aussagekräftige Determinante für Schulerfolg gilt (siehe auch Messner & Blum, 2019; Weinert, 1996). Ebenfalls erwartet wurde, dass insbesondere die individuellen Merkmale, welche in direktem Zusammenhang mit der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ stehen, beispielsweise die Anzahl selbstberichteter Vorgehensweisen beim Lösen, selbstberichtete Motivation vor dem Lösen und selbstberichtete Konzentration während des Lösens des Verpackungsproblems, einen Zusammenhang mit der Problemlöseleistung im Verpackungsproblem aufweisen würden.

Frage 2b: Welche Rolle spielt die von den Schülerinnen und Schülern wahrgenommene Personalisierung der Oberflächen- und Tiefenstruktur für ihre Problemlöseleistung beim Verpackungsproblem (Einzelarbeit)?

Neben soziodemografischen Merkmalen der Schülerinnen und Schüler (Geschlecht, Muttersprache Deutsch und Anzahl Bücher zu Hause als Indikator für den sozioökonomischen Hintergrund) sowie dem schulischen Niveau als Kontrollvariablen wurde zudem berücksichtigt, wie die Lernenden die Personalisierung des Unterrichts wahrnehmen, und zwar einerseits die Oberflächenstruktur und andererseits die Tiefenstruktur des Unterrichts (siehe auch Kapitel 3.7). Es wurde vermutet, dass die wahrgenommene Oberflächenstruktur (verschiedene Arten von Plänen, Lernatelier und Werkstatt, aber auch z.B. Wahlfreiheit, siehe Kapitel 5.4.4) keinen Zusammenhang mit der Problemlöseleistung im Verpackungsproblem aufweisen würden, da in der Unterrichtsforschung mittlerweile gut belegt ist, dass für den Lernerfolg nicht die Oberflächenstruktur, sondern die Qualität der Tiefenstruktur bedeutsam ist (z.B. Gold, 2015; Hess & Lipowsky, 2016; Klieme et al., 2006; Kunter & Ewald, 2016; Kunter & Trautwein, 2013; Kunter & Voss, 2011). Aufgrund dessen wurde davon ausgegangen, dass personalisiertes Lernen tiefergehend umgesetzt werden muss und eine reine Umsetzung auf der Oberflächenstruktur, wie die Einführung von Lernateliers, nicht ausreicht, um Problemlösekompetenzen zu fördern. Deshalb wurde erwartet, dass die für die Unterrichtsqualität wichtigen tiefenstrukturellen Merkmale einen Zusammenhang mit der Problemlöseleistung aufweisen würden (kognitive Aktivierung der Lernenden und unterstützendes Unterrichtsklima, siehe auch Kapitel 5.4.4).

In Kapitel 5 wird im Folgenden ausführlich dargestellt, mithilfe welcher methodischen Vorgehensweisen versucht wurde, die aufgeführten Forschungsfragen empirisch zu klären.

5 Methode

In Kapitel 5.1 wird die vorliegende Untersuchung zum Problemlösen in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten methodologisch eingeordnet. Danach werden in Kapitel 5.2 das Forschungsdesign und die Datenerhebung beschrieben. In Kapitel 5.3 werden die Stichprobe des gesamten perLen-Projekts sowie die Stichprobe der vorliegenden Untersuchung dargestellt. Anschliessend werden in Kapitel 5.4 die Erhebungsinstrumente und in Kapitel 5.5 die Auswertungsinstrumente ausführlich erläutert. In Kapitel 5.6 wird schliesslich auf das verwendete Auswertungsverfahren eingegangen.

5.1 Methodologische Einordnung

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie (1) individuelles und (2) gemeinsames Problemlösen untersucht werden können. Gemäss Arbinger (1997) können dabei entweder (a) die Ergebnisse von Problemlösebemühungen oder (b) die Prozesse, die zur Lösung bzw. nicht zur Lösung führen, betrachtet werden. Beim resultatorientierten Ansatz, der vor allem bis Anfang der 1960er-Jahre verwendet wurde, steht hauptsächlich die Leistung im Zentrum, welche sich beispielsweise an der Lösungsgüte, der Lösungsmenge oder der Lösungszeit messen lässt. Beim prozessorientierten Ansatz hingegen interessiert, wie eine Problemlösung zustande kommt. Im Folgenden werden diese beiden Ansätze für das individuelle und das gemeinsame Problemlösen erläutert.

(1a) Problemlöseleistung beim individuellen Problemlösen

Soll die individuelle Problemlöseleistung untersucht werden, kann diese beispielweise mit einem Leistungstest gemessen werden. Bei Leistungstests wird laut Rost (2004) „von den Personen die Lösung von Aufgaben oder Problemen verlangt . . . , [also] die Reproduktion von Können, Ausdauer oder Konzentrationsfähigkeit“ (S. 43). Leistungstests gibt es in unterschiedlichen Testformaten wie zum Beispiel verschiedene Arten von Aufsätzen, Ergänzungsaufgaben, Zuordnungs-, Ordnungs- und Konstruktionsaufgaben oder Multiple-Choice-Aufgaben (Becker, 2007). Diese zum Teil sehr test- und finanzökonomischen Messinstrumente, zum Beispiel Multiple-Choice-Fragen, erfordern selten gründliches Verstehen und komplexes Problemlösen, sondern messen meistens isoliertes Faktenwissen, Inhalte, Routineverfahren sowie Prozessoutcomes und geben kaum Auskunft über den Prozess und die Gedanken der Lernenden während des Lösens eines Problems (Lie, Taylor & Harmon, 1996; Reusser & Stebler, 1999). Eine Art von Leistungstests, welche versuchen, Einblick in den Problemlöseprozess zu geben,

sind Performance Assessments. Solche Assessments sind unter anderem 1995 in der Third International Mathematics and Science Study (TIMSS), aber auch in anderen empirischen Untersuchungen zur Erfassung der Problemlösekompetenz eingesetzt worden (siehe z.B. Baxter, Shavelson, Herman, Brown & Valadez, 1993; Magone, Cai, Silver & Wang, 1994; Parke, 2002; Shavelson, Gao & Baxter, 1996). Im Folgenden werden die wichtigsten Eckpunkte von TIMSS 1995 dargelegt und es wird ausgeführt, was unter „Performance Assessment“ verstanden wird.

TIMSS 1995 ist eine internationale Vergleichsstudie zu Leistungen in der Mathematik und in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern aus dem Jahr 1995, welche von der International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA) in über 40 Ländern durchgeführt wurde (Beaton & Robitaille, 1999; Gonzalez & Smith, 1997; Köller, Baumert & Bos, 2002). TIMSS wird weiterhin alle vier Jahre durchgeführt, jedoch ohne Schweizer Beteiligung. Der Fokus von TIMSS 1995 lag auf Bildungspolitiken, -praktiken und -ergebnissen. Dies sollte es ermöglichen, unter anderem den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht zu untersuchen und diesen zwischen den Bildungssystemen zu vergleichen (Beaton et al., 1996). TIMSS 1995 umfasste drei Teilstudien mit unterschiedlichen Stichproben: Population 1 an der Grundschule (Martin et al., 1997; Mullis et al., 1997), Population 2 auf der Sekundarstufe I (Beaton et al., 1996) sowie Population 3 am Ende der Sekundarstufe II (Mullis et al., 1998). Zusätzlich zu diesen verschiedenen Teilstudien gab es 1995 einige begleitende Studien. Beispielsweise wurden in 21 Ländern, darunter in der Schweiz, mit 10'200 vierzehnjährigen Schülerinnen und Schülern zwölf handlungsorientierte Experimentiertests, sogenannte „Performance Assessments“, durchgeführt (Gonzalez & Smith, 1997; Harmon & Kelly, 1996; Harmon et al., 1997).

Diese Performance Assessments hatten zum Ziel, authentisches Problemlösen (siehe Kapitel 3.3) zu messen und die Aufgaben aus der Haupterhebung, zu deren Lösung lediglich Mehrfach- und Kurzantworten erforderlich waren, zu ergänzen (Labudde & Stebler, 1999). Der Begriff „Performance Assessment“ wird für „assessment tasks in which students are required to carry out ‚hands-on‘ activities with equipment to show how well they are able to apply strategies and procedures to investigate and solve problems in practical settings“ (Garden, 1999, S. 3) verwendet. Solano-Flores und Shavelson (1997) führen drei Komponenten von Performance Assessments auf: Zusätzlich zum bereits genannten Aufgabenformat (praktische Aufgabe mit Material) weisen Performance Assessments auch ein bestimmtes Antwortformat

(z.B. einen Graphen zeichnen oder eine Konklusion schreiben) und ein Punktesystem auf, um die Ergebnisse der Lernenden vergleichen zu können. Bei solchen Aufgaben können die Lernenden zeigen, ob sie sich zum Beispiel mathematische Problemlösefähigkeiten und Prozesse angeeignet haben und diese anwenden können (Garden, 1999; Lane, 1993). Dabei interessieren nicht nur das Endergebnis und die Korrektheit der Lösung, sondern auch die Lösungsmethode, die Art und Weise, wie etwas erklärt wird, sowie die Art der Fehler und die damit verbundenen „Misconceptions“ (Lie et al., 1996). Die Performance Assessments von TIMSS 1995 erfassten somit nicht bloss die Ergebnisse von Problemlösebemühungen, sondern gaben auch einen kleinen Einblick in den Problemlöseprozess.

Im Rahmen des Programme for International Student Assessment (PISA) werden alle drei Jahre Kompetenzen in Mathematik, Lesefähigkeit und Naturwissenschaften von fünfzehnjährigen Schülerinnen und Schülern erfasst. Zudem wird jedes Jahr ein Schwerpunkt gesetzt. In PISA 2003 war dies analytisches Problemlösen (Leutner, Klieme, Meyer & Wirth, 2004, 2005). Dazu mussten die Lernenden insgesamt zehn Aufgaben aus den drei Problemtypen „Entscheidungen treffen“, „Systeme analysieren und entwerfen“ und „Fehler suchen“ lösen (siehe Beispielaufgaben in Leutner et al., 2004). Auch in PISA 2012 wurde die Problemlösekompetenz als zusätzliche Kernkomponente erfasst (OECD, 2014a). Im Unterschied zu 2003 wurde die Problemlösekompetenz 2012 jedoch am Computer erhoben und zusätzlich wurde interaktives Problemlösen miteinbezogen (siehe Beispielaufgaben in OECD, 2014b). Abgesehen von diesen Zusatzerhebungen wurde in PISA 2003 wie auch in PISA 2012 jedoch, ähnlich wie in TIMSS 1995, vor allem das Produkt der individuellen Problemlöseleistung bewertet, während der Problemlöseprozess kaum berücksichtigt wurde.

(1b) Problemlöseprozess beim individuellen Problemlösen

Um die nicht direkt beobachtbaren Denk- und Problemlöseprozesse zu erfassen, eignen sich Leistungstests und auch Performance Assessments nur bedingt, weshalb zusätzlich auf andere Erhebungsarten zurückgegriffen werden muss. Die längste Tradition weist dabei die Selbstbeobachtung bzw. Introspektion auf (Hussy, 1993). Auch in neueren Arbeiten werden solche Selbstbeobachtungs- und Selbstberichtsverfahren verwendet, beispielsweise Fragebogen, Interview, Lautes Denken und Lerntagebuch (Spörer & Brunstein, 2006). Lernende können aber unter anderem auch während Problemlösesituationen beobachtet werden (Martin, 2015; Winne & Perry, 2000). Um Problemlöseprozesse zu erheben, werden auch neue Instrumente

entwickelt (z.B. VisA von Jacobse & Harskamp, 2012, siehe auch Kapitel 3.5.3) oder neue Technologien wie beispielsweise Eye-Tracker (z.B. Catrysse et al., 2016) oder Logfiles (z.B. Greiff et al., 2016; Zoanetti & Griffin, 2017) eingesetzt.

Im Folgenden wird auf verschiedene Selbstbeobachtungs- und Selbstberichtsverfahren sowie ihre Vor- und Nachteile eingegangen. Ein in der Sozialforschung häufig eingesetztes Selbstberichtsverfahren sind Fragebogen. Diese sind sehr reliabel, lassen sich einfach mit einer grossen Stichprobe durchführen, sind effizient und schnell in der Auswertung und ermöglichen einen objektiven Vergleich der Leistungen von Lernenden (Spörer & Brunstein, 2006). Vorgehensweisen beim Problemlösen lassen sich mit diesem Instrument jedoch kaum valide abbilden, da die Items oft nur einen schwachen Bezug zur tatsächlich erarbeiteten Aufgabe aufweisen und es problematisch ist, dass in einigen Fragebogen Strategien bereits vorformuliert werden (Martin, 2015).

Mit Interviews können retrospektive, aber auch prospektive Aussagen zu Strategien und zum Problemlösen eingeholt werden (Spörer & Brunstein, 2006). Es stellt sich hierbei zwar die Frage, wie gut Personen überhaupt über ihre eigenen kognitiven und metakognitiven Prozesse Auskunft geben können. Durch das offene Antwortformat kann jedoch verhindert werden, dass Personen auf vorformulierte Strategien reagieren und diese beschreiben. Ein weiterer Vorteil des Interviews liegt darin, dass während des Gesprächs nachgefragt und auf einzelne Aspekte näher eingegangen werden kann.

Wenn es um die Erhebung einer Beschreibung konkreter Problemlöseprozesse geht, muss das Ausfüllen eines Fragebogens oder die Durchführung eines Interviews sehr zeitnah erfolgen, damit sich die Lernenden noch an ihr Vorgehen erinnern können (siehe auch Garner & Alexander, 1989; Winne, Jamieson-Noel & Muis, 2002). Zeit- und handlungsnahe Daten bei Problemlöseprozessen können des Weiteren auch durch die Methode des Lauten Denkens erhoben werden (Konrad, 2010; Sandmann, 2014). Bei dieser Methode müssen Versuchspersonen ihre Gedankengänge während des Problemlösens beschreiben, die Verbalisierung kann aber auch erst nach der Handlung geschehen (retrospektives Lautes Denken). Wird während der Handlung verbalisiert, können zwar kognitive und metakognitive Strategien sowie Problemlöseprozesse sehr zeitnah erhoben werden, jedoch werden die kognitiven und metakognitiven Abläufe gemäss Spörer und Brunstein (2006) durch das Verbalisieren möglicherweise unterbrochen und durch die von den Forschenden verlangte Eigenreflexion verändert. Die Er-

hebung mit Lautem Denken ist ausserdem sehr zeitaufwendig und kann deshalb nur mit kleinen Stichproben durchgeführt werden, weshalb statistische Auswertungen kaum möglich sind (Lipshitz & Bar-Ilan, 1996).

Eine weitere Methode sind Lerntagebücher, in welchen die Lernenden ihren Lern- oder Problemlöseprozess beschreiben (Spörer & Brunstein, 2006). Das Lerntagebuch als Erhebungsmethode ist deshalb interessant, weil die Forschenden laut Zeder (2006) auf diese Weise einen „direkteren Zugang zum selbstständigen Lernen der Schülerinnen und Schüler und damit einen besseren Einblick in die ablaufenden Denk- und Handlungsprozesse ... als durch den Einsatz von Fragebogen“ (S. 45) erhalten. Das Lerntagebuch gibt somit Auskunft darüber, wie die Lernenden beim Lernen und Lösen von Problemen vorgegangen sind und was sie dabei gedacht haben. Solche Selbstberichte setzen jedoch eine hohe Reflexionsfähigkeit voraus (Martin, 2015). Zudem können Motivation, Schreibkompetenz, Lernzeit und Reaktivität die Validität von Lerntagebüchern beeinflussen (Spörer & Brunstein, 2006).

(2a) Problemlöseleistung beim gemeinsamen Problemlösen

Wenn beim resultatorientierten Ansatz die Ergebnisse von gemeinsamen Problemlösebemühungen untersucht werden sollen, kann dies analog zur individuellen Problemlöseleistung anhand der Lösungsgüte, der Lösungsmenge oder der Lösungszeit der gemeinsamen Problemlöseleistung geschehen. Beim gemeinsamen Problemlösen kann aber auch die individuelle Problemlösekompetenz erhoben werden. Studien mit grossen Stichproben wie PISA 2015 nutzen dazu Computer (siehe auch Kapitel 3.6.2). Die Testpersonen müssen beispielsweise am Computer mit simulierten Teammitgliedern über einen Chat kommunizieren (Care & Griffin, 2017; OECD, 2017b, 2017e; Zehner et al., 2017) und gemeinsam einen Ausflug planen (siehe Items in OECD, 2015). Dank dieser Computersimulationen können innerhalb einer begrenzten Zeit verschiedene Aspekte gemeinsamen Problemlösens für die einzelnen Individuen genau gemessen werden und die Leistung hängt nicht von anderen Personen ab. Ein weiterer Vorteil von Computersimulationen liegt gemäss der OECD (2017b, 2017e) darin, dass der Lösungsraum begrenzt werden kann. So müssen sich die Schülerinnen und Schüler beispielsweise jeweils zwischen vier Lösungen entscheiden, was die Auswertung und Vergleichbarkeit der Antworten vereinfacht. Das Verwenden eines Computeragenten kann realitätsfern erscheinen; laut PISA gibt es jedoch keine relevanten Unterschiede in den Antworten der Schülerinnen und Schüler, wenn statt eines Computeragenten eine Person mit einer Auswahl von vorgegebenen Antworten mit den Lernenden chattete (OECD, 2017b, 2017e). Da die Leistung in der

Interaktion mit dem Computeragenten in PISA 2015 ein guter Prädiktor für die Leistung in der Interaktion mit einem menschlichen Partner war, gelangte die OECD (2017b) zu folgendem Schluss: „So, while there are differences between how students collaborate with other people and how they collaborate with computer agents, the computer-based assessment used by PISA can still describe students’ ability to collaborate with other humans“ (S. 5).

(2b) Problemlöseprozess beim gemeinsamen Problemlösen

Neben der Gruppenleistung und der individuellen Leistung kann beim gemeinsamen Problemlösen auch der Prozess untersucht werden. PISA 2015 beispielsweise setzt den Schwerpunkt auf die kollaborativen Handlungen beim Problemlösen (siehe auch Abschnitt 2a). Konkret wurden die drei Kernkompetenzen kollaborativen Problemlösens mit den vier Phasen des individuellen Problemlösens (siehe Kapitel 3.4) kombiniert. Anhand dieser zwölf spezifischen Fähigkeiten wurde die kollaborative Problemlösefähigkeit untersucht (siehe Tabelle 11).

Tab. 11: Matrix der kollaborativen Problemlösefähigkeiten PISA 2015 nach OECD (2017d, S. 137)

	(1) Establishing and maintaining shared understanding	(2) Taking appropriate action to solve the problem	(3) Establishing and maintaining team organisation
(A) Exploring and understanding	(A1) Discovering perspectives and abilities of team members	(A2) Discovering the type of collaborative interaction to solve the problem, along with goals	(A3) Understanding roles to solve the problem
(B) Representing and formulating	(B1) Building a shared representation and negotiating the meaning of the problem (common ground)	(B2) Identifying and describing tasks to be completed	(B3) Describing roles and team organisation (communication protocol/rules of engagement)
(C) Planning and executing	(C1) Communicating with team members about the actions to be/being performed	(C2) Enacting plans	(C3) Following rules of engagement, [sic] (e.g. prompting other team members to perform their tasks)
(D) Monitoring and reflecting	(D1) Monitoring and repairing the shared understanding	(D2) Monitoring results of actions and evaluating success in solving the problem	(D3) Monitoring, providing feedback and adapting the team organisation and roles

Jedes Item in PISA 2015 wurde einer dieser zwölf Fähigkeiten zugeordnet (OECD, 2017d). Beispielsweise gab es Items, bei welchen die Lernenden einen Plan umsetzen mussten (C2) oder reflektieren sollten, was in der Gruppe weniger gut gelaufen war (D3). PISA mass dabei der ersten Spalte am meisten Gewicht zu, gefolgt von der dritten und dann der zweiten Spalte.

Der Prozess beim gemeinsamen Problemlösen kann jedoch noch vertiefter untersucht werden, als PISA dies anhand der in Tabelle 11 vorgestellten zwölf Fähigkeiten getan hat. Hinweise zu den individuellen kognitiven Prozessen sowie zum gemeinsamen kognitiven Prozess können, ähnlich wie beim Lauten Denken, Gruppengespräche geben, wobei die kognitiven Prozesse unter anderem aus den Handlungen der Einzelnen und der Kommunikation mit anderen

abgeleitet werden können (siehe auch OECD, 2017c). Konkret können Erkundungs- und Lösungsstrategien, die Art der erzeugten Kommunikation oder die Qualität verschiedener Aspekte, wie interaktive, inhaltlich-fachliche oder regulative Qualität, untersucht werden (siehe Kapitel 3.6). Um solche Auswertungen vornehmen zu können, ist es zweckmässig, Problemlösegespräche zu audio- oder videografieren.

Zwischenfazit

Die vorliegende Arbeit interessiert sich für das Produkt und den Prozess beim individuellen sowie gemeinsamen Problemlösen. Die oben beschriebenen Ansätze werden daher nachfolgend mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben in Verbindung gebracht und in dessen Kontext konkretisiert.

(1a) Das Produkt des individuellen Problemlösens sollte handlungsnah mit der angepassten Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ aus dem Performance Assessment von TIMSS 1995 (Harmon et al., 1997) erfasst werden (siehe v.a. Kapitel 3.1.3 und 5.4.1). Performance Assessments haben zum Ziel, authentisches Problemlösen zu erfassen, und können dies durch das offene Aufgabenformat besser erreichen als klassische Leistungstests wie zum Beispiel Multiple-Choice-Fragen. Trotz des offenen Antwortformats können die Antworten anhand eines Punktesystems bewertet und im Anschluss daran miteinander verglichen werden. (1b) Der Problemlöseprozess kann mittels verschiedener Instrumente wie Fragebogen, Interview oder Lernjournal erhoben werden. Je nach Erhebungsmethode werden dabei etwas andere Ausprägungen des Problemlösevorgangs gemessen und so hat jede Erhebungsart inhaltliche sowie methodische Vor- und Nachteile. Gemäss Spörer und Brunstein (2006) ist es deshalb sinnvoll, mehrere Verfahren miteinander zu kombinieren. In der vorliegenden Arbeit sollten die Lernenden direkt im Anschluss an die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ ihr Vorgehen schriftlich festhalten (siehe Kapitel 5.4.2). Diese retrospektive Verschriftlichung wurde als äquivalent zum Lauten Denken angesehen. Der Vorteil eines solchen Vorgehensberichts besteht darin, dass durch das offene Aufgabenformat nicht auf vorformulierte Strategien reagiert werden kann und dass ein solches Reflexionsinstrument bei vielen Lernenden gleichzeitig eingesetzt werden kann, was beispielsweise bei einem Interview oder beim klassischen Lauten Denken nicht möglich ist. Zusätzlich sollten die Lernenden anhand einiger geschlossener Fragen auf ihr eigenes Vorgehen zurückblicken (Fragebogen).

(2a) Das Produkt des gemeinsamen Problemlösens sollte analog zum Produkt des individuellen Problemlösens mit einer auf der allein zu lösenden Problemlöseaufgabe „Verpackungen“

aufbauenden Problemlöseaufgabe erhoben werden, wobei die Lösungsmenge und die Lösungsgüte der Gruppen und nicht die individuelle Leistung in einem kooperativen Setting von Interesse waren (siehe Kapitel 3.6.5 und 5.4.3). (2b) Beim gemeinsamen Lösen wurden ausgewählte Gruppen videografiert. Die videografierten Gespräche wurden hinsichtlich verschiedener Aspekte wie der interaktiven, der fachlich-inhaltlichen sowie der regulativen Qualität ausgewertet und sollten dadurch einen Einblick in den gemeinsamen Problemlöseprozess und dessen Qualität ermöglichen (siehe Kapitel 5.4.3).

5.2 Forschungsdesign und Datenerhebung

Diese Forschungsarbeit entstand im Rahmen des perLen-Projekts (**p**ersonalisierte **L**ernkonzepte in heterogenen Lerngruppen), welches von der Stiftung Mercator Schweiz gefördert wurde. Das Projekt wurde gemeinsam vom Institut für Erziehungswissenschaft der Universität Zürich sowie dem Zentrum für Lehrerinnen- und Lehrerbildung der Universität Freiburg unter der Leitung von Prof. Dr. Kurt Reusser, Prof. Dr. Christine Pauli und Dr. Rita Stebler in Kooperation mit Prof. Dr. Dominik Petko durchgeführt. Ziel des Projekts war es, den Unterricht und dessen Wirkungen sowohl im Hinblick auf fachliche und überfachliche Bildungsziele als auch im Hinblick auf die mit der Umsetzung von personalisiertem Lernen verbundenen neuen Rollen und Herausforderungen zu untersuchen. Konkret standen im perLen-Projekt die folgenden vier übergeordneten Fragen im Zentrum (Reusser, Pauli & Stebler, 2015, S. 9):

- Lehr- und Lernkultur: Wie präsentieren sich die didaktischen Konzepte, die Unterrichtspraxis und die Lernbegleitung sowie die Lernaktivitäten der Schülerinnen und Schüler in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten?
- Entwicklung der schulischen Lehr- und Lernkonzepte: Wie entwickeln sich Unterrichtspraxis, Lernaktivitäten und Lernbegleitung im Projektzeitraum (3 Jahre) weiter?
- Rolle, Berufsauftrag und Anforderungen an die Lehrpersonen: Welche Konsequenzen hat die Orientierung an personalisierten Lernkonzepten für die Rolle der Lehrpersonen, ihr Berufs- und Selbstverständnis sowie die Zusammenarbeit im Kollegium und mit den Eltern?
- Unterrichtswirkungen: Wie entwickeln sich die fachlichen und insbesondere auch die überfachlichen (personalen, methodischen, sozialen) Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler im Verlauf von drei Jahren?

Um diese Fragen zu klären, wurden im perLen-Projekt 65 Deutschschweizer Schulen mit Primar- und/oder Sekundarstufen längsschnittlich (Schuljahre 2012/13 bis 2014/15), mehrperspektivisch (Schulleitungen, Lehrpersonen, Schülerinnen und Schüler) und multimethodisch

(Dokumentanalysen, Interviews, Befragungen, Videoanalysen, fachliche und überfachliche Leistungstests) untersucht (Stebler et al., 2018). Einbezogen wurden einerseits Schulen, deren Lern- und Unterrichtsarchitekturen merklich von den klassischen Formen der Unterrichts- und Lernorganisation abweichen. In diesen Schulen findet der Unterricht zu einem grossen Teil nicht mehr in Klassen, sondern in jahrgangsübergreifenden Lerngruppen, binnendifferenzierten Lernlandschaften und Lernateliers statt (siehe auch Kapitel 2.4). Andererseits wurden auch Schulen untersucht, in welchen individualisierende und kooperative Formen des Lernens innerhalb der klassischen räumlichen und zeitlichen Strukturen der Schul- sowie Unterrichtsorganisation umgesetzt werden (zur Rekrutierung der Stichprobe siehe auch Kapitel 5.3).

Im ersten Projektjahr nahmen 53 Schulen am perLen-Projekt teil, von denen 11 Schulen als sogenannte „Fallschulen“ (im Gegensatz zu den 42 „Onlineschulen“) ausgewählt und vertieft untersucht wurden. Die 11 Fallschulen und die 42 Onlineschulen bildeten zusammen die sogenannte „Kernstichprobe“. Diese wurde im zweiten Projektjahr um weitere 12 Schulen ergänzt („Ergänzungsstichprobe“). Insgesamt wurden im perLen-Projekt 65 vorwiegend öffentliche Schulen aus 15 Kantonen der Deutschschweiz (urbane und rurale Regionen) untersucht. In den Primarschulen wurden im ersten Projektjahr Klassen der vierten Stufe und in den Sekundarschulen Klassen der siebten Stufe ausgewählt, damit die Lernenden sowie deren Lehrpersonen über die drei Projektjahre hinweg längsschnittlich untersucht werden konnten. In der Ergänzungsstichprobe wurden im zweiten Projektjahr Schulen mit Klassen der fünften und/oder der achten Stufe ausgewählt, damit die untersuchten Schülerinnen und Schüler die gleiche Klassenstufe besuchten wie die Lernenden aus der Kernstichprobe.

Wie Tabelle 12 zeigt, wurde jedes Jahr allen Schülerinnen und Schülern sowie allen Lehrpersonen eine Onlinebefragung vorgelegt (Ergänzungsstichprobe ab dem zweiten Projektjahr). Ausserdem wurden im ersten und im dritten Projektjahr bzw. in der Ergänzungsstichprobe nur im dritten Projektjahr anhand des Klassencockpits die fachlichen Kompetenzen der Lernenden in Mathematik und Deutsch erhoben (siehe auch Kapitel 5.4.4). Für die Fallschulen wurden zusätzlich Konzeptsdokumentationen erstellt und Interviews mit Schulleitungen und Lehrpersonengruppen durchgeführt.

Tab. 12: Überblick über die Datenerhebungen im gesamten perLen-Projekt

	Datenerhebungen	Kernstichprobe		Ergänzungsstichprobe
		Online-schulen (N = 42)	Fall-schulen (N = 11)	Online-schulen (N = 12)
t1 Schuljahr 2012/13	Konzeptdokumentation		X	
	Interview mit Schulleitung und Lehrpersonengruppen		X	
	Onlinebefragung Schulleitung, Lehrpersonen sowie Schülerinnen und Schüler (4./7. Klassen)	X	X	
	Erfassen fachlicher Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler (4./7. Klassen)	X	X	
t2 Schuljahr 2013/14	Interview mit Lehrpersonengruppen		X	
	Onlinebefragung Schulleitung, Lehrpersonen sowie Schülerinnen und Schüler (5./8. Klassen)	X	X	X
t3 Schuljahr 2014/15	Interview mit Lehrpersonengruppen		X	
	Onlinebefragung Schulleitung, Lehrpersonen sowie Schülerinnen und Schüler (6./9. Klassen)	X	X	X
	Erfassen fachlicher Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler (6./9. Klassen)	X	X	X
	Videografie von Inputlektionen und Phasen selbstständigen Lernens (ausgewählte 9. Klassen)	X	X	
	Erfassen überfachlicher Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler (ausgewählte 9. Klassen)	X	X	X

Neben den Datenerhebungen, welche in allen Schulen durchgeführt wurden, wurden im dritten Projektjahr in fünf ausgewählten Schulen der Kernstichprobe Inputlektionen in Mathematik und Deutsch sowie Phasen selbstständigen Lernens videografiert. In diesen Schulen sowie in sechs Schulen der Ergänzungsstichprobe wurden zudem im Rahmen der Teilstudie „Problemlösen“ überfachliche Kompetenzen der Lernenden erfasst (siehe Kapitel 5.4).

Durchführung Teilstudie „Problemlösen“

Die Teilstudie „Problemlösen“ wurde zwischen Januar und Mai 2015 von insgesamt vier trainierten Testleiterinnen durchgeführt. Für die Untersuchung stand den Testleiterinnen ein Instruktionsheft zur Verfügung, damit die Untersuchungen nach einem gemeinsamen, standardisierten und vergleichbaren Vorgehen durchgeführt werden konnten. Im Instruktionsheft wurde der gesamte Ablauf der Datenerhebung detailliert beschrieben: Neben allgemeinen Hinweisen wurden zunächst die Vorbereitungen im Vorfeld erläutert (Abmachungen, welche mit den jeweiligen Lehrpersonen zu treffen waren, Kopieren der Aufgabenblätter, Bereitlegen des Materials, Aufladen aller Akkus etc.). In einem nächsten Kapitel des Instruktionshefts wurde erläutert, was am Tag der Erhebung zu tun war. Dazu gehörte auch ein kurzes Kameraskript, in welchem beschrieben wurde, worauf beim Einrichten der Kameras und beim Fil-

men geachtet werden sollte. Hier wurde auf die Vorarbeiten anderer Videostudien zurückgegriffen (z.B. Corvacho del Toro, Berner & Mösko, 2013; Herrle, Rauin & Engartner, 2016; Petko, 2006; Seidel, Dalehefte & Meyer, 2003, 2005; Wullschleger, 2013). Den Hauptteil des Instruktionshefts bildete die Übersicht über den genauen Ablauf der Erhebung mit den Zeitangaben, dem benötigten Material sowie den genauen Instruktionen mit dem Wortlaut in Standardsprache (siehe auch Manual von TIMSS, 1994b). Während der Durchführung mussten sich die Testleiterinnen genau an diese Angaben im Instruktionsheft halten, um versuchsleitungsbedingte Unterschiede gering zu halten und eine möglichst hohe Standardisierung zu erreichen. Des Weiteren enthielt das Instruktionsheft einen Katalog mit möglichen Fragen der Schülerinnen und Schüler und standardisierten Antworten. Den Schluss des Instruktionshefts bilden Angaben zur Nachbereitung der Erhebung.

Damit die Erhebungen in den verschiedenen Schulen im Nachhinein nachvollzogen und später auf allfällige Unstimmigkeiten hin überprüft werden konnten, führte jede Testleiterin ein Verlaufsprotokoll. Darin wurden alle Vorkommnisse während der Erhebung notiert, welche vom standardisierten Ablauf abwichen, wie zum Beispiel Fragen von Lernenden, Störungen oder ein verspäteter Beginn. Das Verlaufsprotokoll wurde jedoch nicht systematisch ausgewertet.

5.3 Stichprobe

Wie in Kapitel 5.2 bereits dargelegt wurde, wurden im perLen-Projekt insgesamt 65 Schulen untersucht, welche sich an personalisierten Lernkonzepten orientieren. Es handelte sich nicht um Zufallsstichproben, sondern um bewusste Auswahlen (z.B. Diekmann, 2013; Schnell, Hill & Esser, 2013), da die Schulen entweder auf Empfehlung signifikanter Personen beispielsweise aus Pädagogischen Hochschulen oder aus Bildungsdirektionen zur Teilnahme eingeladen wurden oder sich selbst für eine Projektteilnahme beworben hatten (Stebler, 2019). Alle teilnehmenden Schulen betreiben Unterrichts- und Schulentwicklung in Richtung einer stärkeren Personalisierung des Lernens, befinden sich diesbezüglich aber an verschiedenen Stellen im Prozess.

Für die Teilstudie „Problemlösen“ wurde im dritten Projektjahr (Schuljahr 2014/15) aus der gesamten perLen-Stichprobe eine Teilstichprobe mit elf Schulen mit Sekundarstufe rekrutiert. Wie Tabelle 13 zeigt, setzte sich diese Teilstichprobe aus fünf Schulen aus der perLen-Kernstichprobe (zwei Fallschulen und drei Onlineschulen) sowie allen sechs Sekundarschulen der perLen-Ergänzungsstichprobe zusammen.

Tab. 13: Überblick über die Zusammensetzung der Stichprobe der Teilstudie „Problemlösen“ nach Kern- und Ergänzungsstichprobe

		Total
Kernstichprobe	Fallschulen	2
	Onlineschulen	3
Ergänzungsstichprobe	Onlineschulen	6
Total		11

An der Teilstudie „Problemlösen“ nahmen aus diesen elf Schulen 250 Schülerinnen und Schüler der 9. Klasse teil. Die Lernenden waren am Tag der Erhebung durchschnittlich 15 Jahre und 8 Monate alt ($M=15.67$, $SD=0.55$, $n=223$).¹¹ Tabelle 14 zeigt die detaillierte Zusammensetzung der Stichprobe nach Geschlecht und Niveau der Lernenden auf.

Tab. 14: Überblick über die Zusammensetzung der Stichprobe der Teilstudie „Problemlösen“ nach Geschlecht und Niveau

		Geschlecht		Total
		Mädchen	Jungen	
Niveau	Durchmischt	39	39	78 (31.2%)
	Erweiterte Anforderungen	48	47	95 (38.0%)
	Grundlegende Anforderungen	27	50	77 (30.8%)
Total		114 (45.6%)	136 (54.4%)	250 (100%)

Für die gemeinsam zu bearbeitende Problemlöseaufgabe (siehe Kapitel 5.4.3) bildeten die Lehrpersonen aus je drei Schülerinnen und Schülern Gruppen. Sie wurden gebeten, die Gruppen so zusammenzustellen, wie dies auch im alltäglichen Unterricht gemacht würde. In jeder Schule wurde eine Dreiergruppe zusätzlich beim gemeinsamen Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ videografiert. Ein wichtiges Auswahlkriterium bestand diesbezüglich darin, dass die Erziehungsberechtigten wie auch die Lernenden selbst ihr Einverständnis gegeben hatten, dass für Forschungszwecke Filmaufnahmen gemacht werden durften (siehe auch Petko, Waldis, Pauli & Reusser, 2003). Insgesamt wurden 17 Schülerinnen und 16 Schüler gefilmt. Es gab eine reine Mädchen- und eine reine Jungengruppe, alle anderen Gruppen waren durchmischt. Die insgesamt 33 Jugendlichen unterschieden sich in ihrer Leistung im Klassencockpit Mathematik ($M=56.24$, $SD=20.62$, $n=31$)¹² nicht signifikant von der restlichen Stichprobe ($M=48.52$, $SD=20.64$, $n=185$), ($t(214)=-1.926$, $p=.055$).

Die Problemlöseaufgabe wurde nicht benotet. Überdies wurde den Lernenden Anonymität zugesichert. Mehrmals wurde betont, dass ihre Lehrpersonen nicht erfahren würden, wie sie bei der Problemlöseaufgabe abgeschnitten hatten oder was sie im Reflexionsinstrument geschrieben hatten.

¹¹ Es hatten nicht alle Schülerinnen und Schüler ihren Geburtstag angegeben.

¹² Es liegen nicht von allen Lernenden die erreichten Prozentwerte im Klassencockpit Mathematik vor.

5.4 Erhebungsinstrumente

Um die Problemlösefähigkeit der Lernenden umfassend zu erfassen, wurden in der Teilstudie „Problemlösen“ (siehe auch Kapitel 5.2) verschiedene Instrumente eingesetzt: (1) die adaptierte Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) aus TIMSS 1995 (Kapitel 5.4.1), (2) ein darauf bezogenes Reflexionsinstrument (Kapitel 5.4.2) und (3) eine zum Verpackungsproblem neu entwickelte Problemlöseaufgabe, welche die Lernenden jeweils zu dritt lösten (Kapitel 5.4.3). Zusätzlich wurden zur Beantwortung der verschiedenen Fragestellungen auch Ergebnisse aus dem Klassencockpit Mathematik und dem Klassencockpit Deutsch sowie Einzelitems und Skalen aus der Onlinebefragung der Schülerinnen und Schüler verwendet (Kapitel 5.4.4). Abbildung 10 gibt einen Überblick über die verschiedenen Erhebungen in der Teilstudie „Problemlösen“.

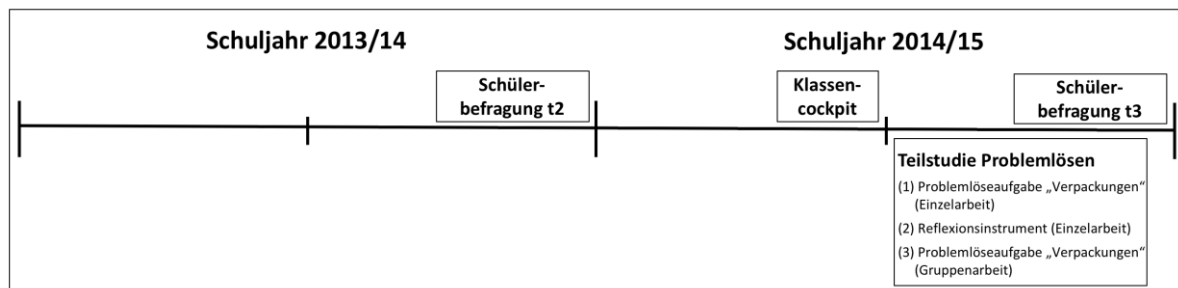


Abb. 10: Überblick über die Erhebungen der Teilstudie „Problemlösen“

Im Folgenden werden die Erhebungsinstrumente im Detail vorgestellt (siehe auch Anhang A).

5.4.1 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

In TIMSS 1995 wurde ein Performance Assessment (siehe Kapitel 5.1) mit verschiedenen Aufgaben durchgeführt. Für die vorliegende Untersuchung wurde daraus die bereits an verschiedenen Stellen in Kapitel 3 (siehe v.a. Kapitel 3.1.3) vorgestellte authentische Problemlöseaufgabe „Verpackungen“¹³ ausgewählt (Harmon et al., 1997; TIMSS, 1994a, 1994b). Für die Wahl dieser Problemlöseaufgabe sprachen mehrere Gründe: Das Verpackungsproblem kann gleichzeitig von mehreren Schülerinnen und Schülern im gleichen Raum gelöst werden und für die Durchführung braucht es relativ wenig Material (TIMSS, 1994a). Da die Aufgabe 1995 ebenfalls von Schweizer Siebtklässlerinnen und Siebtklässlern gelöst worden war, konnte auf Erkenntnisse aus dieser Studie zurückgegriffen werden (siehe Leibundgut, 1998; Stebler et al.,

¹³ Das Problem „Packaging“ wurde für die Schweizer TIMSS-Erhebung 1995 vom Englischen ins Deutsche übersetzt. In der vorliegenden Arbeit wurde diese Übersetzung mit kleineren Anpassungen übernommen.

1997). Ausserdem ist das Problem weitgehend unabhängig vom Curriculum und auf unterschiedlichen Niveaus lösbar.

Bei der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ mussten die Lernenden allein (1) analog zu einer vorgegebenen Schachtel drei weitere Verpackungen für vier Tischtennisbälle erfinden und zeichnen, (2) für diese drei Schachteln jeweils einen Faltpplan zeichnen und (3) einen der drei Faltpläne in Originalgrösse herstellen. Zusätzlich zu diesen drei Aufgaben aus TIMSS 1995 mussten die Lernenden in der Teilstudie „Problemlösen“ (4a) die Oberfläche und (4b) das Volumen der drei entworfenen Verpackungen berechnen (ganze Aufgabe in Anhang A.1). Da die Problemlöseaufgabe um eine vierte Aufgabe erweitert wurde, erhielten die Lernenden 10 Minuten mehr Zeit als in der originalen Aufgabe von TIMSS 1995 (neu 40 Minuten) und durften ausserdem einen Massstab sowie einen Taschenrechner verwenden. Eine Formelsammlung war hingegen nicht erlaubt.

Um die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ zu lösen, werden laut Garden (1999) fachspezifisches Wissen wie auch überfachliche Kompetenzen benötigt (siehe auch Kapitel 3.5.9). Gemessen wird konkret, ob Lernende fähig sind, (1) verschiedene Arrangements, in denen die Bälle eng eingepackt sind, zu identifizieren, (2) dreidimensionale Skizzen anzufertigen, (3) eine zwei- oder dreidimensionale Skizze in den entsprechenden zweidimensionalen Faltpplan zu übersetzen, (4) eine Skizze in einen massstabgetreuen Faltpplan umzusetzen und (5) aus dem Faltpplan eine Schachtel mit eng verpackten Bällen anzufertigen (Garden, 1999). Zudem müssen die Lernenden in der letzten Aufgabe auch mathematische Prozeduren ausführen können (Oberfläche und Volumen berechnen).

5.4.2 Reflexionsinstrument

Problemlöseprozesse können nicht direkt beobachtet werden, da kognitive und metakognitive Prozesse verborgen sind (Lipshitz & Bar-Ilan, 1996; Spörer & Brunstein, 2006). Das nach der allein zu lösenden Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ eingesetzte Reflexionsinstrument versuchte, das „Unsichtbare“ sichtbar zu machen, indem die Schülerinnen und Schüler ihre eigenen Gedankengänge, Strategien, Vorgehensweisen und Probleme während der Bearbeitung des Verpackungsproblems sowie ihr allgemeines Vorgehen beim Lösen von Problemen beschreiben sollten (siehe Anhang A.2). Da es auch möglich ist, durch Wissen oder Zufall eine richtige Lösung zu erhalten (Holzäpfel et al., 2016), sollte das Reflexionsinstrument auch aufzeigen, inwieweit die Lernenden bewusst bestimmte Vorgehensweisen eingesetzt hatten oder ob blosser Zufall zur Lösung beigetragen hatte (siehe auch Kapitel 3.5.2).

Wie in Kapitel 5.1 ausgeführt wurde, kann der Problemlöseprozess unterschiedlich erfasst werden. Je nach Erhebungsmethode werden dabei etwas andere Ausprägungen gemessen, weshalb jede Erhebungsart inhaltliche sowie methodische Vor- und Nachteile aufweist. In der vorliegenden Arbeit wurden, wie von Spörer und Brunstein (2006) vorgeschlagen, mehrere Verfahren kombiniert: Einerseits umfasste das Reflexionsinstrument eine Art retrospektives, verschriftlichtes Lautes Denken mit verschiedenen offenen Fragen, auf deren Grundlage die Schülerinnen und Schüler auf ihr eigenes Vorgehen zurückblicken sollten, und andererseits enthielt es auch einige geschlossene Fragen (Fragebogen). Diese offenen und geschlossenen Fragen werden im Folgenden beschrieben, wobei Tabelle 15 einen Überblick über die sechs offenen Fragen gibt.

Tab. 15: Überblick über die offenen Fragen im Reflexionsinstrument

Frage	Quelle
1. Beschreibe, wie du beim Bearbeiten der Aufgabe „Verpackungen“ vorgegangen bist und welche Gedanken du dir gemacht hast. Versuche dich dabei an alle deine Zwischenschritte zu erinnern und sie möglichst so zu beschreiben, dass andere Personen deinen Bearbeitungsweg nachvollziehen können.	Eigenkonstruktion
2. Was würdest du bei der Bearbeitung der Aufgabe wieder gleich machen? Welche Vorgehensweisen würdest du wieder einsetzen? Wieso?	In Anlehnung an Zeder (2006)
3. Was würdest du bei der Bearbeitung der Aufgabe anders machen? Welche Vorgehensweisen würdest du nicht mehr einsetzen? Wieso?	In Anlehnung an Zeder (2006)
4. Ganz allgemein, nicht nur in der Mathematik: Wie löst du ein Problem, eine Knobelaufgabe?	In Anlehnung an Fraefel (2011)
5. Wo möchtest du dich beim Problemlösen noch verbessern? Wieso?	Eigenkonstruktion
6. Was muss eine gute Problemlöserin bzw. ein guter Problemlöser können? Wieso?	Eigenkonstruktion

Bei der ersten Frage mussten die Lernenden beschreiben, wie sie bei der Bearbeitung der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ konkret vorgegangen waren. Das Ziel dieser Frage bestand darin, einen Einblick in das selbstberichtete Vorgehen beim Lösen eines konkreten Problems zu geben. Bei den beiden nachfolgenden Fragen mussten die Lernenden erläutern, was sie bei der Bearbeitung wiederum gleich bzw. anders machen würden und welche Vorgehensweisen sich bewährt bzw. nicht bewährt hatten. Es ging somit um eine Reflexion über das gewählte Vorgehen wie auch um eine Evaluation der Arbeit mit Folgerungen. Nach diesen drei Fragen, welche sich alle auf das Verpackungsproblem in Einzelarbeit bezogen, wurden die Lernenden mithilfe dreier weiterer offener Fragen allgemein zum Problemlösen befragt.

Nach diesen sechs offenen Fragen folgten mehrere geschlossene Fragen, unter anderem zur Motivation vor, während und nach dem Bearbeiten des Verpackungsproblems, zur Zufriedenheit mit der Lösung oder zu Problemlösestrategien. Diese Einzelitems stammten zum Teil aus der Onlinebefragung der Schülerinnen und Schüler (siehe Leidinger & Perels, 2012;

Lüftenegger et al., 2012a, 2012b; Moetteli & Schmid, 2018) und wurden an das Verpackungsproblem angepasst (z.B. Onlinebefragung: „Bei Aufgaben überlege ich mir vorher, wie ich vorgehen will“, Reflexionsinstrument: „Vor dem Lösen der Aufgabe habe ich mir genau überlegt, wie ich vorgehen will“). Teilweise wurden die Items auch neu entwickelt (z.B. „Die Aufgabe ‚Verpackungen‘ könnte von unseren Lehrpersonen stammen“ oder „Ich kenne viele Problemlösestrategien“). Diese geschlossenen Fragen mit zum Teil vorformulierten Strategien wurden bewusst erst am Schluss gestellt, damit die Beantwortung der offenen Fragen nicht von diesen Items beeinflusst wurde. Diese hinter der Fragebogenkonzeption stehende Überlegung kam jedoch nur dann zum Tragen, wenn das Reflexionsinstrument in der vorgegebenen Reihenfolge bearbeitet wurde. Für die Bearbeitung des Reflexionsinstruments erhielten die Lernenden 30 Minuten Zeit.

5.4.3 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

Im Anschluss an die allein zu bearbeitende Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ und das Reflexionsinstrument mussten die Schülerinnen und Schüler während rund 20 Minuten jeweils zu dritt die zweiteilige Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit) lösen, welche auf dem in Kapitel 5.4.1 beschriebenen Verpackungsproblem aufbaute und in Kapitel 3.6.5 bereits aus theoretischer Perspektive kurz vorgestellt wurde (siehe Anhang A.3). Als Erstes mussten die Lernenden während 10 Minuten möglichst viele Verpackungen für genau vier Tischtennisbälle finden. Anschliessend mussten sie die in ihren Augen beste Verpackung auswählen und ihre Wahl begründen. Es wurde bewusst nicht weiter ausgeführt, was mit „beste Verpackung“ gemeint war. Aus diesem Grund mussten die Lernenden verschiedene Kriterien finden und entscheiden, welche davon sie als relevant erachteten. Für diese zweite Aufgabe erhielten die Lernenden 10 Minuten Zeit, konnten die Aufgabe aber auch früher abgeben.

Da insbesondere auch die Interaktion in der Gruppe und die fachliche und inhaltliche Auseinandersetzung mit der Problemlöseaufgabe von Interesse waren, wurde wie bereits festgehalten in jeder Schule eine Dreiergruppe beim gemeinsamen Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackung“ gefilmt. Ein Vorteil der Videografie ist, dass die Aussagen eindeutig den einzelnen Personen zugewiesen werden können, was bei der Audiografie teilweise nicht möglich ist. Zudem sind auf Videoaufnahmen auch nonverbale Kommunikation (z.B. Nicken) oder sonstige Aktivitäten der Lernenden (z.B. Schreiben) ersichtlich. Aber auch mit Videoaufzeichnungen können nicht alle Beobachtungssituationen festgehalten werden und die Aufzeichnungen sind jeweils „gerichtet und in bestimmter Weise fokussiert“ (Seidel & Prenzel, 2010, S. 144).

5.4.4 Befragung der Schülerinnen und Schüler und Klassencockpit

In der vorliegenden Arbeit wurden zusätzlich zu den mithilfe der drei vorgestellten Instrumenten erhobenen Daten auch Daten verwendet, welche im Rahmen des gesamten perLen-Projekts erhoben worden waren (siehe Kapitel 5.2). Aus der Onlinebefragung der Schülerinnen und Schüler wurden mehrere Einzelitems und Skalen einbezogen (siehe auch Moetteli & Schmid, 2018). Tabelle 16 gibt einen Überblick über die verwendeten Einzelitems.

Tab. 16: Überblick über die verwendeten Einzelitems (Schülerfragebogen t1, t2 und t3)

Einzelitems	Zeitpunkt Erhebung	Wortlaut
Geschlecht	t1, t2, t3	Bist du ein Mädchen oder ein Junge?
Muttersprache Deutsch	t1, t2, t3	Wie oft sprichst du zu Hause Schweizerdeutsch oder Hochdeutsch?
Indikator sozioökonomischer Hintergrund, gemessen an der Anzahl Bücher	t1, t2, t3	Wie viele Bücher gibt es ungefähr bei euch zu Hause?
Unterrichtsaktivität Wochenplan, Lernplan oder Tagesplan	t2	Im Unterricht arbeite ich mit meinem Wochenplan, Lernplan oder Tagesplan.
Unterrichtsaktivität Lernatelier	t2	Im Unterricht arbeite ich im Lernatelier.
Unterrichtsaktivität Werkstatt	t2	Im Unterricht arbeite ich mit Aufgaben aus einer Werkstatt.

Anmerkungen. Kodierung Geschlecht: 0 (*männlich*) bzw. 1 (*weiblich*); Kodierung Muttersprache Deutsch: 0 (*Deutsch nicht Muttersprache*) bzw. 1 (*Deutsch Muttersprache*); Kodierung Indikator sozioökonomischer Hintergrund: 1 (*keine oder sehr wenige Bücher*), 2 (*ungefähr ein Regalbrett*), 3 (*ungefähr ein ganzes Büchergestell*), 4 (*ungefähr zwei Büchergestelle*), 5 (*drei Büchergestelle oder mehr*); Kodierung Einzelitems Unterrichtsaktivität: 1 (*[fast] nie*), 2 (*etwa einmal pro Monat*), 3 (*ein- bis zweimal pro Woche*), 4 (*[fast] jeden Tag*).

Tabelle 17 zeigt die aus der Befragung der Schülerinnen und Schüler verwendeten Skalen (siehe auch Kapitel 5.5.4).

Tab. 17: Überblick über die verwendeten Skalen (Schülerfragebogen t3)

Skalen	Zeitpunkt Erhebung	Wortlaut Beispielitem
Lernstrategie Metakognition	t3	Wenn ich eine etwas schwierigere Aufgabe bearbeite, mache ich mir klar, welche Sachen (Informationen, Angaben) ich für die Lösung brauche.
Lernstrategie Planen und Strukturieren	t3	Wenn ich eine etwas schwierigere Aufgabe bearbeite, mache ich mir einen Arbeitsplan.
Heuristische Strategien	t3	Wenn ich eine etwas schwierigere Aufgabe bearbeite, überlege ich, wie ich bei ähnlichen Aufgaben vorgegangen bin.
Lernstrategie soziale Unterstützung	t3	Wenn ich eine etwas schwierigere Aufgabe bearbeite, suche ich Hilfe bei anderen (Mitschüler/-innen, Eltern, Lehrpersonen), wenn ich nicht klarkomme.
Emotionen im Fach Mathematik	t3	Mathematik ist spannend.
Individuelle Zielvereinbarung	t3	Im Unterricht legt jede Schülerin, jeder Schüler mit den Lehrpersonen zusammen die persönlichen Lernziele fest.
Mitwirken bei Stoffauswahl	t3	Im Unterricht geben uns die Lehrpersonen Stoffe und Themen zur Auswahl.
Wahlfreiheit	t3	In der Schule entscheide ich selbst, wie ich mir die Zeit zum Lernen einteile.
Kognitive Aktivierung	t3	Meine Lehrpersonen geben uns Aufgaben zum Nachdenken.
Unterstützung des Strategieerwerbs zum selbstständigen Lernen	t3	Meinen Lehrpersonen ist es wichtig, dass wir verschiedene Möglichkeiten zum Lernen ausprobieren.
Verständnisorientierung	t3	Meinen Lehrpersonen ist es wichtig, dass wir ein Thema verstanden haben, bevor wir das nächste beginnen.
Unterstützungsverhalten und Fürsorglichkeit der Lehrperson	t3	Meine Lehrpersonen helfen mir, wenn ich sie brauche.

Anmerkung. Kodierung Skalen: 1 (stimmt gar nicht), 2 (stimmt eher nicht), 3 (stimmt eher), 4 (stimmt genau).

Zudem wurden aus dem perLen-Projekt Daten aus dem Klassenscockpit zur Deutsch- und Mathematikleistung verwendet (siehe auch Cossi, 2018). Das Klassenscockpit ist ein Testsystem in den Fachbereichen Deutsch und Mathematik zur kontinuierlichen Qualitätssicherung im Volksschulbereich (Lehrmittelverlag St.Gallen, 2016; Moser, 2003). Das Klassenscockpit gibt Aufschluss über den Stand der Lernenden bezüglich der Ziele des Lehrplans sowie bezüglich der Zielerreichung im Vergleich zu anderen Klassen. Die Aufgaben im Leistungstest werden nach fachdidaktischen und testtheoretischen Kriterien zusammengestellt und erprobt.

Eine Auswertung von Schmid und Dellios (2017) der verschiedenen Mathematikaufgaben des Klassenscockpits mit den allgemeindidaktischen Kategorien für die Analyse von Aufgaben nach Maier, Bohl, Kleinknecht und Metz (2013) hatte gezeigt, dass es zum Lösen der meisten Aufgaben prozedurales Wissen braucht (siehe auch Jordan et al., 2008; Kleinknecht, Bohl, Maier & Metz, 2011, 2013; Luthiger, 2017; Maier, Kleinknecht & Metz, 2010; Maier, Kleinknecht, Metz & Bohl, 2010; Reusser, 2014a; Wespi, Luthiger & Wilhelm, 2015). Des Weiteren werden für den Grossteil der Aufgaben zwei bis vier Lösungsschritte benötigt. Alle Aufgaben sind gut

definiert und konvergent (siehe Kapitel 3.2) und von eher tiefer sprachlogischer Komplexität (siehe auch Coverleistung bei Baeriswyl & Schmid, 2014). Die Aufgabeninformationen und die für die Aufgabenlösung erforderlichen Wissensseinheiten basieren zumeist auf einer Repräsentationsform, seltener auch auf mehreren (siehe Kapitel 3.5.7). Transformationen von einer Repräsentationsform in eine andere Repräsentationsform sind kaum nötig (siehe auch Dellios & Schmid, 2017 für die Einschätzung der Deutschaufgaben).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Leistungsdaten aus dem Klassenscockpit als distaler Indikator für Wissen verwendet (siehe Kapitel 3.5.1). Das Klassenscockpit bildete unspezifisch die kognitiven Grundfähigkeiten in Deutsch und Mathematik ab und hatte keinen direkten Zusammenhang mit dem Verpackungsproblem.

5.5 Auswertungsinstrumente

Die mittels einer Identifikationsnummer anonymisierten Antworten zu den beiden Problemlöseaufgaben „Verpackungen“ und zum Reflexionsinstrument wurden vor der Auswertung aufbereitet (Döring & Bortz, 2016): Die offenen Antworten aus dem Reflexionsinstrument wurden alle in MAXQDA (Version 12) übertragen, damit die qualitativen Daten computergestützt ausgewertet werden konnten (siehe auch Kuckartz & Grunenberg, 2013). Die quantitativen Fragebogendaten sowie die Kodierungen und die Ratingwerte wurden für die statistische Datenanalyse in SPSS (Version 25) eingegeben. Die Videoaufnahmen wurden im Videoannotationstool SWITCHcast Annotate! abgespeichert und zusätzlich auf externen Datenträgern archiviert (siehe auch Herrle et al., 2016).

Im Folgenden werden die Auswertungsinstrumente der allein zu lösenden Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Kapitel 5.5.1), des Reflexionsinstruments (Kapitel 5.5.2) und der in der Gruppe bearbeiteten Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Kapitel 5.5.3) erläutert. Zudem werden die verwendeten Einzelitems, Skalen und Leistungsdaten aus der Befragung der Schülerinnen und Schüler und dem Klassenscockpit vorgestellt (Kapitel 5.5.4). Alle Auswertungsinstrumente finden sich in Anhang B.

5.5.1 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

Die Ergebnisse aus der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Kapitel 5.4.1) wurden mit dem weiterentwickelten Kategoriensystem von TIMSS 1995 hinsichtlich Korrektheit und Vollständigkeit kodiert (Harmon et al., 1997; Lie et al., 1996; TIMSS, 1994a, 1995). Da das Verpackungsproblem verschiedene Lösungen zulässt, interessierte hier auch die Lösungsart (siehe auch

Kapitel 3.2.3 für verschiedene korrekte Schachtelformen). Deshalb wurden zusätzlich zur TIMSS-Kodierung die Lösungen der Schülerinnen und Schüler kodiert (Leibundgut, 1996, 1998). Im Folgenden wird erläutert, wie die vier Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) ausgewertet wurden (siehe auch Anhang B).

5.5.1.1 Aufgabe 1

In der ersten Aufgabe mussten die Schülerinnen und Schüler drei Schachteln erfinden, in welche genau vier Tischtennisbälle verpackt werden können. Abbildung 11 zeigt das Kategoriensystem, welches von TIMSS 1995 stammt und für die vorliegende Arbeit ausdifferenziert wurde (in Anlehnung an Garden, 1997; TIMSS, 1994a).

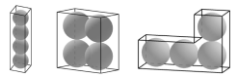
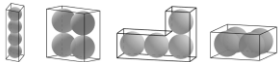
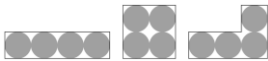
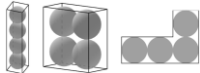
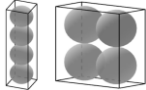
Code	Beschreibung	Beispiel
30	Drei oder mehr verschiedene korrekte Verpackungen (perspektivische Skizzen mit eingezeichneten Bällen)	
31	Zu den drei oder mehr korrekten Verpackungen (perspektivische Skizzen mit eingezeichneten Bällen) werden noch weitere falsche oder identische Verpackungen gezeichnet	
32	Drei oder mehr verschiedene korrekte Verpackungen (unabhängig davon, ob noch weitere falsche oder identische Faltpläne vorliegen), jedoch keine perspektivischen Skizzen, sondern Grundrisse mit eingezeichneten Bällen	
33	Drei oder mehr verschiedene korrekte Verpackungen (auch wenn mit weiteren falschen oder identische Verpackungen), wobei es perspektivische Skizzen und Grundrisse mit eingezeichneten Bällen gibt	
20	Zwei verschiedene korrekte Verpackungen (perspektivische Skizzen mit eingezeichneten Bällen)	
...

Abb. 11: Ausschnitt Kodierung Verpackungen

Des Weiteren interessierte die Lösungsart, das heisst es sollte kodiert werden, welche drei Schachteltypen die Lernenden gezeichnet hatten (in Anlehnung an Leibundgut, 1996). Da die Schachteln gemäss der Aufgabenstellung eine Öffnung haben mussten, konnte es für jeden geometrischen Körper (Grundform) verschiedene Schachteln (Schachteltyp) geben (siehe auch Kapitel 3.1.3). Dies wird zum Beispiel bei Grundform 1 in Abbildung 12 ersichtlich, welche zwei Schachteltypen umfasst: Die liegende I-Form (1011) und die stehende I-Form (1012).

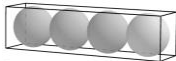


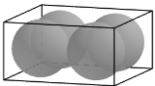
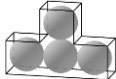

Schachteltyp	Abbildung des Körpers	Schachteltyp	Abbildung des Körpers
Richtige Lösungen			
Grundform 1: I-Form (1010)			
1011		1012	
Grundform 2: Quader (1020)			
1021		1022 Hinweis: Code nur bei der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit), sonst Code 7600!	
Grundform 3: T-Form 1 (1030)			
1031		1033	
...		...	

Abb. 12: Ausschnitt Kodierung Schachteltypen

5.5.1.2 Aufgabe 2

In der zweiten Aufgabe mussten die Schülerinnen und Schüler zu den in der ersten Aufgabe entworfenen Schachteln Faltpläne zeichnen. Diese Faltpläne wurden in einem ersten Schritt anhand der für die vorliegende Arbeit weiterentwickelten TIMSS-Kodierung hinsichtlich ihrer Korrektheit kodiert (in Anlehnung an Garden, 1997; TIMSS, 1994a). Abbildung 13 zeigt einen Ausschnitt aus dem Kodiermanual.

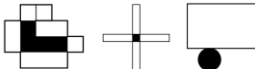
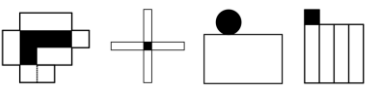
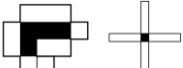
Code	Beschreibung	Beispiel
30	Drei oder mehr verschiedene korrekte Faltpläne	
31	Zu den drei oder mehr korrekten Faltplänen werden noch weitere falsche oder identische Faltpläne gezeichnet	
20	Zwei verschiedene korrekte Faltpläne	
...

Abb. 13: Ausschnitt Kodierung Faltpläne

Die Schachteltypen wurden nicht ein zweites Mal kodiert, da für eine korrekte Antwort die gleichen Körper wie in Aufgabe 1 verwendet werden mussten. Jedoch wurde bei dieser Aufgabe der Aufbau des Faltplans kodiert. Für jeden Faltplan wurde bestimmt, ob er von der Grundfläche ausgehend oder nach einem anderen Vorgehen gezeichnet worden war (siehe Abbildung 14).

Code	Beschreibung	Beispiel
Richtige Lösungen		
11	Faltplan wird ausgehend von der Grundfläche gezeichnet	
12	Faltplan wird nicht ausgehend von der Grundfläche gezeichnet	
13	Grundfläche kann nicht in der Mitte sein (z.B. Zylinder)	
Falsche Lösungen		
71	Faltplan entspricht nicht einer in Aufgabe 1 entworfenen Schachtel	
...

Abb. 14: Ausschnitt Kodierung Faltpantypen

5.5.1.3 Aufgabe 3

In der dritten Aufgabe mussten die Schülerinnen und Schüler eine der Schachteln auswählen und den Faltpan dieser Schachtel in der Originalgrösse zeichnen. In einem ersten Schritt wurde wiederum der Grad der Korrektheit der Verpackung in Originalgrösse anhand der angepassten TIMSS-Vorgaben bestimmt (in Anlehnung an Garden, 1997; TIMSS, 1994a). Abbildung 15 gibt einen Einblick in das Kodiermanual.

Code	Beschreibung
20	Vollständiger und korrekter Faltpan, alle Masse stimmen (+/- 1mm pro Ball)
29	Andere richtige Lösung (z.B. Faltpan wurde nicht nur gezeichnet, sondern auch zusammengeklebt)
10	Vollständiger Faltpan, aber die Masse stimmen nicht vollständig
11	Vollständiger und korrekter Faltpan, alle Masse stimmen (+/- 1mm pro Ball) mit Kleberändern
...	...

Abb. 15: Ausschnitt Kodierung Schachteltyp

Zusätzlich wurde der hier gewählte Schachteltyp mit den gleichen Codes wie in Aufgabe 1 kodiert (siehe Abbildung 12), damit ersichtlich wurde, welche der Schachteln in Originalgrösse gezeichnet wurde.

5.5.1.4 Aufgabe 4

In der letzten Aufgabe mussten für die drei Schachteln jeweils die Oberfläche und das Volumen berechnet werden. Zuerst wurden analog zu den vorhergehenden Aufgaben die Antworten zur Oberfläche und zum Volumen kodiert. In Abbildung 16 ist ersichtlich, wie die Oberfläche kodiert wurde. Die Kodierung des Volumens wurde gleich vorgenommen.

Code	Beschreibung
30	Drei oder mehr korrekte Berechnungen der Oberfläche
31	Zu den drei oder mehr korrekten Berechnungen der Oberfläche werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Oberfläche gemacht
20	Zwei korrekte Berechnungen der Oberfläche
21	Zu den zwei korrekten Berechnungen der Oberfläche werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Oberfläche gemacht
10	Eine korrekte Berechnung der Oberfläche
...	...

Abb. 16: Ausschnitt Kodierung Oberflächenberechnungen

In einem zweiten Schritt wurde jeweils kodiert, ob bei einer richtigen Lösung der Lösungsweg vorhanden war oder ob dies nicht der Fall war, und wenn die Berechnung falsch war, wurde die Art des Fehlers kodiert (siehe Abbildung 17). Die Volumenberechnung wurde analog dazu kodiert.

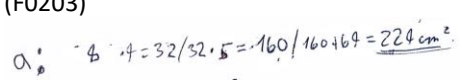
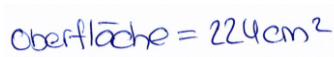
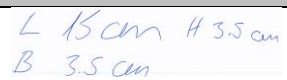
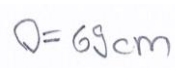
Code	Beschreibung	Beispiel
Richtige Lösung		
10	Richtige Lösung inkl. Lösungsweg	(F0203) 
11	Richtige Lösung ohne Lösungsweg	(K0412) 
Falsche Lösung		
71	Messungenauigkeit, d.h. falsche Masse werden verwendet	(A0106) 
72	Fehler bei Einheit oder Dimension, falsche Umwandlung	(A0206) 
...

Abb. 17: Ausschnitt Kodierung Lösungsweg Oberflächenberechnungen

5.5.1.5 Kodiererschulung, Kodierung und Reliabilitätskontrolle

Im Januar 2016 fand die Kodiererschulung mit zwei Kodiererinnen statt.¹⁴ Eine solche Schulung ist von grösster Bedeutung, da die Kodierenden gemeinsam mit dem Kategoriensystem als Messinstrument fungieren (Döring & Bortz, 2016). Die Kodiererschulung beinhaltete eine

¹⁴ Alle Personen, die in die Datenauswertung involviert waren, hatten sich schriftlich dazu verpflichtet, keine personenbezogenen Informationen aus den Daten weiterzugeben.

kurze Einführung in das Projekt und in den theoretischen Hintergrund. Gemäss Bortz und Döring (2009) sind diese beiden Inhalte wichtig, denn dadurch kann die kodierende Person die „Aufgabe besser verstehen und unter Umständen an der Klärung und Weiterentwicklung des Beobachtungsplans aktiv mitwirken“ (S. 273). Jedoch machen Greve und Wentura (1997) darauf aufmerksam, dass die Schulung die Gefahr der Beeinflussung beinhalte, weil dadurch möglicherweise Erwartungseffekte oder Vorurteilsbildungen entstehen können. Um solche Beobachtereffekte zu vermeiden, wurden die Forschungshypothesen in der Schulung nicht bekannt gegeben. Anhand von Beispielmateriale wurden danach erste Probekodierungen vorgenommen. Unklarheiten und nicht übereinstimmende Kodierungen wurden gemeinsam analysiert und besprochen.

Im Anschluss an die Einführung und die ersten Kodierungen kodierten die beiden Kodiererinnen die Daten von zwei Schulklassen und gaben die Codes in SPSS ein. Danach wurde die Inter-Coder-Reliabilität¹⁵ überprüft (siehe Tabelle 18). Die Werte von Cohens Kappa¹⁶ waren alle genügend hoch, weshalb davon ausgegangen werden konnte, dass das „Beobachtungssystem insgesamt problemlos auf die zu beobachtenden Fälle anwendbar ist und zu messgenauen Daten führt“ (Döring & Bortz, 2016, S. 346). Eine Überarbeitung des Kategoriensystems wie auch eine erneute Schulung der Kodiererinnen waren nicht mehr nötig und das ganze Datenmaterial konnte kodiert werden. Alle Werte von Cohens Kappa fielen, wie Tabelle 18 zeigt, auch nach der gesamten Kodierung zufriedenstellend aus.

¹⁵ Eine Beurteilung ist dann reliabel, wenn verschiedene unabhängige, sich nicht beeinflussende Beurteilende mit gleichem Wissensstand zum gleichen oder zu einem ähnlichen Urteil gelangen (Wirtz & Caspar, 2002). Für die Bestimmung der Inter-Coder-Reliabilität wird häufig Cohens Kappa verwendet (Döring, 2013; Hammann & Jördens, 2014; Mayer, Nonn, Osterbrink & Evers, 2004; Wirtz & Caspar, 2002). Cohens Kappa, das für nominal-, ordinal- und intervallskalierte Kategorien verwendet werden kann, beruht auf der prozentualen Übereinstimmung, ist aber zufallskorrigiert.

¹⁶ Cohens Kappa ist eine standardisierte Masszahl mit Werten zwischen -1 (völlig unterschiedliche Einschätzungen) und +1 (perfekte Übereinstimmung) (Wirtz & Caspar, 2002). Wenn Kappa den Wert Null hat, entspricht die erzielte Übereinstimmung der zufällig zu erwartenden Übereinstimmung (Mayer et al., 2004). Ab 0.60 bzw. 0.75 sprechen die meisten Autorinnen und Autoren von einer guten bzw. einer sehr guten Übereinstimmung (z.B. Bakeman & Gottman, 1986; Bortz & Döring, 2009; Döring, 2013; Fleiss, 1981). Sind die Reliabilitätswerte zu tief, kann dies gemäss Hammann und Jördens (2014) zwei Gründe haben: Entweder ist der Kodierleitfaden nicht genügend klar und/oder die kodierenden Personen wurden nicht ausreichend geschult. In diesen Fällen muss der Kodierleitfaden angepasst werden und/oder die kodierenden Personen müssen nachgeschult werden. Fretwurst (2015) nennt zusätzlich zu diesen zwei Punkten die Kodierermerkmale und die Eigenheiten des Textmaterials als mögliche Ursachen für geringe Reliabilitätswerte.

Tab. 18: Überblick über Cohens Kappa: Kodierung Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

	Cohens Kappa nach der Schulung	Cohens Kappa nach gesamter Kodie- rung
Aufgabe 1: Kodierung Verpackungen	.839	.838
Aufgabe 1: Kodierung Schachteltypen	.905	.939
Aufgabe 2: Kodierung Faltpläne	.818	.863
Aufgabe 2: Kodierung Faltpantypen	.843	.878
Aufgabe 3: Kodierung Verpackung	.876	.877
Aufgabe 3: Kodierung Schachteltyp	1.000	.945
Aufgabe 4a: Kodierung Oberflächenberechnungen	1.000	.974
Aufgabe 4a: Kodierung Lösungsweg Oberflächenberechnungen	.880	.949
Aufgabe 4b: Korrektheit Volumenberechnungen	1.000	.982
Aufgabe 4b: Kodierung Lösungsweg Volumenberechnungen	1.000	.974

Da jede Antwort der Schülerinnen und Schüler eindeutig einem einzigen Code zugeordnet werden musste, besprachen die beiden Kodiererinnen die nicht übereinstimmenden Codes: In einer „Kodierkonferenz“ (Mayring & Brunner, 2013, S. 326) bzw. „Teamsitzung“ (Steiner, Curschellas Widmer, Dellios, Godenzi & Reusser, 2010, S. 19 f.) wurde durch „konsensuelle Einigung“ (Schmidt, 2013, S. 479 f.) der definitiv zu vergebende Code bestimmt. Diese interpersonale Konsensbildung bzw. konsensuelle Validierung ist das wichtigste Kriterium für die Validierung qualitativer Daten (Bortz & Döring, 2009).

Bei der Kodiererschulung und der Kodierung der offenen Fragen des Reflexionsinstruments (siehe Kapitel 5.5.2.3) sowie bei den Kodierungen bzw. Ratings der videografierten Gespräche (siehe Kapitel 5.5.3.3) wurde analog vorgegangen.

5.5.2 Reflexionsinstrument

Im Reflexionsinstrument gab es offene und geschlossene Fragen. Die Auswertung der offenen Fragen wird in Kapitel 5.5.2.1 beschrieben, während die Auswertung der geschlossenen Fragen in Kapitel 5.5.2.2 dargestellt wird (siehe auch Anhang B). Anschliessend werden in Kapitel 5.5.2.3 die Kodiererschulung, der Kodiervorgang sowie die Reliabilitätskontrolle erläutert.

5.5.2.1 Offene Fragen

Die offenen Antworten der Schülerinnen und Schüler wurden mittels einer Inhaltsanalyse ausgewertet. Im Folgenden wird beschrieben, was allgemein unter einer Inhaltsanalyse verstanden wird und wie diese in der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurde.

Inhaltsanalysen werden in der Literatur zum Teil sehr unterschiedlich definiert. Gemäss Mayring (2010) sind sich die Autorinnen und Autoren einzig beim Ziel der Inhaltsanalyse einig: Es geht darum, Material zu analysieren, welches aus irgendeiner Art von Kommunikation stammt. Eine der ersten Definitionen stammt von Berelson (1952, Hervorhebung getilgt):

„Content analysis is a research technique for the objective, systematic, and quantitative description of the manifest content of communication“ (S. 18). Gemäss dieser Bestimmung ist die Inhaltsanalyse (1) objektiv, (2) systematisch, (3) quantifizierend und (4) manifest. (1) Eine Inhaltsanalyse ist insofern objektiv, als die Zuordnung von Aussageinhalten zu Codes unabhängig von der Person ist, welche den Text durchsieht und kodiert (siehe auch Kromrey, 2009). Je nach Textinhalt muss jedoch die kodierende Person gewisse Interpretationen vornehmen, wodurch die Objektivität verringert werden kann. (2) Dass die Inhaltsanalyse systematisch ist, zeigt sich gemäss Mayring (2010) darin, dass sie nach expliziten Regeln abläuft. Die Regeln und die Kodieranweisungen, welche in einem Codebuch festgehalten werden, müssen von den kodierenden Personen einheitlich und konsistent angewendet werden (Kromrey, 2009). Dadurch kann die Analyse später nachvollzogen und überprüft werden, womit sie den Standards der sozialwissenschaftlichen Methoden (intersubjektive Nachprüfbarkeit) gerecht wird. (3) Beim Kodieren geht es darum, Informationen mithilfe von Zahlen, Ziffern oder Buchstaben zu „verschlüsseln“ (Strübing, 2015, S. 214) und somit quantifizierbar zu machen. Bei der Zuordnung zu Kategorien muss laut Wirtz und Caspar (2002) jeweils entschieden werden, ob eine bestimmte Merkmalsausprägung vorhanden ist oder nicht. Die so erhaltenen Daten sind somit der Nominalskala zuzuordnen, da lediglich Äquivalenzklassen gebildet werden (Greve & Wentura, 1997). (4) Eine Inhaltsanalyse begrenzt sich auf die manifesten Inhalte eines Textes, weshalb es unzulässig ist, „latente Absichten, Strukturen und Funktionen, die einem Kommunikationsinhalt anhaften“ (Lamnek, 2005, S. 496) miteinzubeziehen.

Das wesentliche Instrument für die Durchführung einer Inhaltsanalyse ist das Kategoriensystem (Mayring, 2010). Ein Kategoriensystem besteht aus mindestens zwei Kategorien (Wirtz & Caspar, 2002), welche entweder durch empiriegeleitete, das heisst induktive, oder theoriegeleitete, das heisst deduktive, Verfahren gebildet werden (Weischer, 2015). Gemäss Döring und Bortz (2016) wird das Kategoriensystem bei der quantitativen Inhaltsanalyse zuerst deduktiv entworfen und dann am Beispielmateriale induktiv überarbeitet. Gut definierte Kategorien sind von grösster Bedeutung: „Since the categories contain the substance of the investigation, a content analysis can be no better than its system of categories“ (Berelson, 1952, S. 147). Ein Kategoriensystem, das zu aussagekräftigen Ergebnissen führen soll, muss verschiedene Anforderungen erfüllen (Atteslander, 2010; Bakeman & Gottman, 1986; Döring & Bortz, 2016; Greve & Wentura, 1997; Kromrey, 2009; Wirtz & Caspar, 2002):

- *Selektiv*: Ein Kategoriensystem ist immer selektiv im Hinblick auf bestimmte Fragestellungen, das heisst es werden nicht alle Einzelheiten aus dem Text im Kategoriensystem zu finden sein.
- *Vollständig/exhaustiv*: Jede interessierende Textstelle muss einer definierten Kategorie zugeordnet werden können. Gemäss Atteslander (2010) muss sich die Vollständigkeit jedoch nicht auf alle Inhalte eines Textes beziehen, sondern das Kategoriensystem muss nur bezüglich der mit der interessierenden Fragestellung verbundenen Elemente vollständig sein.
- *Klar definiert*: Es muss eindeutig feststellbar sein, ob eine Textstelle der jeweiligen Kategorie zugeordnet werden kann oder nicht. Ob die Kategorien tatsächlich eindeutig sind, zeigt sich oft erst bei der Kodierung. Die Trennschärfe der Kategorien kann empirisch zum Beispiel durch Cohens Kappa ausgedrückt werden.
- *Gegenseitig ausschliessend/exklusiv*: Jede Textstelle muss sich einer und jeweils nur genau einer Kategorie zuordnen lassen, Mehrfachnennungen sind nicht möglich. Einem Objekt kann also nur genau ein Kategorienwert zugeordnet werden.

Bei der Auswertung der offenen Fragen im Reflexionsinstrument ging es darum, mittels einer quantitativen Inhaltsanalyse nach Döring und Bortz (2016) fixierte Kommunikation zu analysieren. Die jeweiligen Kategoriensysteme wurden gemäss dem oben erwähnten Vorgehen theoriegeleitet entworfen und in einem zweiten Schritt induktiv am Material überarbeitet. Dadurch entstanden neue Kategorien, während bestehende Kategorien gestrichen wurden. Zudem konnten die Kodieranweisungen präzisiert und mit Ankerbeispielen versehen werden. Als Kodiereinheiten wurden Sinneinheiten bestimmt, wobei jeweils die kleinstmögliche Einheit gewählt wurde, zu der ein Code passen sollte. Jede Antwort der Schülerinnen und Schüler, welche verschiedene Sinneinheiten enthalten konnte, musste mit mindestens einem Code versehen werden. Dabei war nur von Bedeutung, ob eine bestimmte Vorgehensweise vorkam, und nicht, wie oft eine Vorgehensweise von den Lernenden genannt worden war (siehe Zeichen- bzw. Indexsysteme bei z.B. Faßnacht, 1995; Pauli, 2012).

Kodierung Frage 1

Die Schülerinnen und Schüler beschrieben im Anschluss an die Bearbeitung der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit), wie sie beim Lösen dieser vorgegangen waren. Für die Inhaltsanalyse wurde das Kategoriensystem wie von Döring und Bortz (2016) beschrieben theoriegeleitet entworfen. Die verschiedenen Vorgehensweisen wurden den vier Problemlösephasen in Anlehnung an Polya (1949) (siehe auch Kapitel 3.4) sowie weiteren Aspekten des

Problemlösens (siehe Kapitel 3.5) zugeordnet. Im Anschluss daran wurde das Kategoriensystem am Material induktiv überarbeitet. Das definitive Kategoriensystem enthielt sieben Oberkategorien und jeweils unterschiedlich viele Unterkategorien. Abbildung 18 zeigt einen Ausschnitt aus dem Kategoriensystem für die Auswertung von Frage 1 (ganzes Kategoriensystem in Anhang B).

Code	Kategorie	Beschreibung	Ankerbeispiel
2000	Ausdenken eines Plans		
2100	Vorwissen und frühere Erfahrungen aktivieren		
2101	Vorwissen aktivieren	Die Schülerinnen und Schüler überlegen sich, was sie bereits wissen, und stellen Verbindungen zu ihrem bereits vorhandenen Wissen her. Mithilfe des Vorwissens lösen sie Probleme.	„Für diese Aufgabe musste ich mich ein bisschen an die Mathestunde zurückerinnern, in der wir solche ähnlichen Dinge gemacht haben.“ (A0208) „Ich habe alles gelesen und das Vorwissen der Mathematik genutzt. Ich versuchte, mein Wissen, was ich in der Schule und im Alltag gelernt habe, umzusetzen.“ (C0208)
		In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Catrysse et al. (2016); Escher und Messner (2015); Krause und Stark (2006); PISA-Konsortium Deutschland (2006); Rakoczy, Buff und Lipowsky (2005); Waldis, Buff, Pauli und Reusser (2002)	
2102	Analoge, verwandte Probleme und Situationen	Die Schülerinnen und Schüler erinnern sich an ähnliche, verwandte Probleme und überlegen sich, wie sie damals selbst (nicht eine andere Person, denn sonst 6200) vorgegangen sind. Oftmals können dann die Methode und/oder das Resultat des verwandten Problems für das vorliegende Problem genutzt werden. Nur allein die Frage, ob ähnliche Probleme bekannt seien, kann bereits Wissen mobilisieren. → Möglicherweise in Kombination mit einer Subkategorie von „Modell“ (6200)	„Auf die Idee gekommen bin ich, glaube ich, wegen Tetris. Dort gibt es diese Form auch.“ (E0117) „Ich habe zuerst alles sorgfältig durchgelesen und versucht, mich daran zu erinnern, ob ich ähnliche Aufgaben wie diese schon mal in der Schule hatte.“ (H0115)
		In Anlehnung an Aebli (1981); Anderson (1996); Arbing (1997); Assmus und Förster (2015); Assmus und Fritzlär (2014); Bassok (2003); Bransford und Stein (1993); Dörner (1976); De Corte (1995); Escher und Messner (2015); Franke und Ruwisch (2010); Kuzle und Bruder (2016); Leiss und Blum (2010); Novick und Bassok (2005); Polya (1949); Schoenfeld (1985); Schukajlow (2011); Slade (1991); Waldis et al. (2002); Zimmermann (2003)	
2200	Generierung von Lösungsideen		
2201	Lösungsideen/ Lösungswege generieren	Die Schülerinnen und Schüler denken sich einen Plan aus und überlegen sich verschiedene Lösungswege. → Elabrierter als „Lösen“ (3201), „Ausprobieren (trial and error)“ (3203) oder „(Nach-)Denken“ (2501) In Anlehnung an Bransford und Stein (1993)	„Zuerst bin ich die Möglichkeiten in meinem Kopf durchgegangen. Dann habe ich die relevantesten rausgesucht und eine Skizze davon angefertigt.“ (C0218)
...

Abb. 18: Ausschnitt aus dem Kategoriensystem (Frage 1)

Kodierung Frage 2

In einer zweiten Frage¹⁷ beschrieben die Lernenden, wie sie allgemein und nicht nur in der Mathematik beim Lösen von Problemen vorgehen. Für die Auswertung von Frage 2 wurde analog zu Frage 1 ein Kategoriensystem erstellt. Einerseits wurden aber Vorgehensweisen gestrichen, welche sehr spezifisch waren und sich nur auf die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ bezogen (z.B. Masse der Tischtennisbälle bestimmen). Andererseits wurden anhand der

¹⁷ Diese Frage entspricht Frage 4 aus dem Reflexionsinstrument (siehe Kapitel 5.4.2). Da in der vorliegenden Studie aber nicht alle Fragen aus dem Reflexionsinstrument ausgewertet wurden, wird im Folgenden von „Frage 2“ gesprochen.

Theorie weitere Kategorien bestimmt, welche bei Frage 1 nicht entscheidend waren. Beispielsweise können soziale Ressourcen und Hilfsmittel beim Problemlösen eine wichtige Rolle spielen (siehe Kapitel 3.5.6 und 3.5.7). Da die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ jedoch allein und ohne Hilfsmittel gelöst werden musste, wurden solche Vorgehensweisen bei Frage 1 nicht genannt. Abbildung 19 zeigt einen Ausschnitt aus dem Kategoriensystem zu dieser neuen Kategorie (ganzes Kategoriensystem in Anhang B).

Code	Kategorie	Beschreibung	Ankerbeispiel
5000	Soziale Ressourcen		
5100	Soziale Unterstützung		
5101	Nicht spezifizierte soziale Unterstützung	Die Schülerinnen und Schüler suchen Hilfe bzw. Rat, bei wem wird aber nicht näher ausgeführt. → Wenn möglich, genauere Einteilung vornehmen: „Peers“ (5102), „Lehrperson/Coach“ (5103), „Familie“ (5104) und/oder „Weitere Personen“ (5105) In Anlehnung an Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002); Zimmerman und Martinez-Pons (1988)	„Wenn ich gar nichts verstehe, wende ich mich an eine Person.“ (B0305) „Wenn mir nichts einfällt, frage ich meinen Banknachbarn oder sonst jemanden. Meistens meine Freunde.“ (A0303)
5102	Peers	Die Schülerinnen und Schüler suchen Hilfe bzw. Rat bei Gleichaltrigen (Mitschülerinnen, Mitschülern, Pultnachbarinnen, Pultnachbarn, Freundinnen, Freunden, Kolleginnen, Kollegen etc.). In Anlehnung an Käpnick (2014); Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002); Zimmerman und Martinez-Pons (1988)	„Ich frage Kollegen um Hilfe [...]“. (A0301)
5103	Lehrperson/Coach	Die Schülerinnen und Schüler suchen Hilfe bzw. Rat bei Lehrpersonen oder (Lern-)Coachs. In Anlehnung an Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002); Zimmerman und Martinez-Pons (1988)	„[...] wenn das nicht geht, frage ich den Lehrer.“ (A0304)
5104	Familie	Die Schülerinnen und Schüler suchen Hilfe bzw. Rat bei Eltern, Geschwistern oder Verwandten. In Anlehnung an Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002); Zimmerman und Martinez-Pons (1988)	„[...] gehe ich zu meinem älteren Bruder, Vater oder Mutter.“ (E0104)
5105	Weitere Personen	Die Schülerinnen und Schüler suchen Hilfe bzw. Rat bei einer weiteren Person (z.B. Berufsberaterin, Berufsberater, Sozialarbeiterin, Sozialarbeiter, Nachhilfelehrperson etc.). In Anlehnung an Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002); Zimmerman und Martinez-Pons (1988)	„In Mathe die Lehrerin oder meinen Vater, im Französisch kann ich meine Nachbarn fragen, weil sie Französisch sprechen.“ (I0103)
5200	Kommunikation		
...

Abb. 19: Ausschnitt aus dem Kategoriensystem (Frage 2)

5.5.2.2 Geschlossene Fragen

Die Lernenden hatten im Reflexionsinstrument verschiedene geschlossene Fragen beantwortet. In Tabelle 19 werden die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Einzelitems zusammengestellt.

Tab. 19: Überblick über Einzelitems aus dem Reflexionsinstrument

Einzelitem	M	SD	N	Wortlaut
Summe genannter Vorgehensweisen beim Lösen des Verpackungsproblems	4.46	1.817	250	
Einzelitem Selbstberichtete Motivation vor Lösen der Problemlöseaufgabe	2.99	.791	247	Wie war deine Motivation zu Beginn der Aufgabe?
Einzelitem Selbstberichtete Konzentration beim Lösen der Problemlöseaufgabe	3.16	.672	245	Ich habe sehr konzentriert gearbeitet.

Anmerkungen. Kodierung Einzelitem Motivation: 1 (--), 2 (-), 3 (+), 4 (++); Kodierung Einzelitem Konzentration: 1 (stimmt gar nicht), 2 (stimmt eher nicht), 3 (stimmt eher), 4 (stimmt genau).

5.5.2.3 Kodiererschulung, Kodierung und Reliabilitätskontrolle

Die deduktiv und induktiv erstellten Kategoriensysteme wurden jeweils am Datenmaterial getestet und teilweise leicht überarbeitet. Ab Juni 2015 fand die Kodiererschulung statt (siehe allgemeine Hinweise zur Kodiererschulung in Kapitel 5.5.1.5). Die Kategoriensysteme wurden ausführlich besprochen, wonach anhand von Beispielmateriale jeweils erste Kodierungen in MAXQDA vorgenommen wurden. Im Anschluss an die Kodiererschulung wurden die Antworten von zwei Klassen kodiert und die Reliabilität wurde bestimmt. Wie Tabelle 20 zeigt, ist Cohens Kappa mit jeweils knapp 0.80 genügend, weshalb eine weitere Schulung bei beiden offenen Fragen nicht mehr nötig war. Bei Unstimmigkeiten entschieden sich die beiden Kodiererinnen gemeinsam für einen Code (siehe Kapitel 5.5.1.5).

Tab. 20: Überblick über Cohens Kappa: Kodierung offene Fragen Reflexionsinstrument

	Cohens Kappa nach der Schulung	Cohens Kappa nach gesamter Kodierung
Frage 1: Vorgehen bei der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	.787	.836
Frage 2: Allgemeines Vorgehen beim Lösen von Problemen	.796	.878

5.5.3 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

Die Lernenden lösten jeweils zu dritt die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (siehe Kapitel 5.4.3). In Aufgabe 1 mussten sie möglichst viele Verpackungen für genau vier Tischtennisbälle finden, in Aufgabe 2 danach die in ihren Augen beste Verpackung auswählen und ihre Auswahl begründen. Nachfolgend wird zunächst beschrieben, wie die Lösungen der beiden Aufgaben ausgewertet wurden (Kapitel 5.5.3.1). Auf die Auswertung der videografierten Gespräche der elf Dreiergruppen wird im Anschluss darauf eingegangen (Kapitel 5.5.3.2, siehe auch Anhang B).

5.5.3.1 Lösungen

Die Schachteltypen aus Aufgabe 1 und 2 wurden mit dem in Kapitel 5.5.1.1 beschriebenen Kodiermanual von den gleichen zwei Kodiererinnen kodiert, wobei jedoch eine Anpassung vorgenommen wurde: Bei der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) war die Beispielverpackung als nicht korrekt kodiert worden (Code 7600), während sie bei der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit) als korrekt kodiert wurde (Code 1022), da sie zu den über 15 möglichen Schachteln zählte (siehe auch Abbildung 12).

5.5.3.2 Gespräche

Von Interesse war nicht nur, welche und wie viele Lösungen die Lernenden beim gemeinsamen Lösen des Problems erzielt hatten, sondern es sollten auch die Gesprächsorganisation, die interaktive und fachlich-inhaltsbezogene sowie die regulative Qualität der Gespräche untersucht werden (siehe auch Kapitel 3.6.4). Dazu wurden zusätzlich zum Produkt die Gespräche von elf Gruppen ausgewertet (siehe auch Kapitel 5.3).

Bestimmung der Sprechzeit

Um die Gesprächsorganisation (z.B. Symmetrien/Asymmetrien) aufzeigen zu können, wurde im Videoannotationstool SWITCHcast Annotate! die Sprechzeit der einzelnen Schülerinnen und Schüler ermittelt. Dabei wurde nicht nur bestimmt, wer gesprochen hatte, sondern es wurde jeweils auch im Sinne von Time-on-Task (siehe z.B. Kuger, 2016; Lipowsky, 2015) unterschieden, ob es sich um Talk-on-Task oder um Talk-off-Task gehandelt hatte (siehe Abbildung 20).

Talk-on-Task

Die Schülerin bzw. der Schüler spricht über die Aufgabe inkl. Regulierung der Aufgabe.

Beispiele:

- „Wer von euch will die Aufgaben lesen?“ (A0304, ONY, 00:12)
- „Aber jetzt müssen ja genau vier hineinpassen.“ (A0304, ONY, 03:05)

Beschreibung	Code
Schüler/-in Grün (ONG)	11
Schüler/-in Rot (ONR)	21
Schüler/-in Gelb (ONY)	31

Talk-off-Task

Die Schülerin bzw. der Schüler spricht nicht über die Aufgabe (anderes Thema, unpassende, nicht aufgabenbezogene Kommentare, Sticheleien, Fluchen etc.).

Beispiele:

- „Weisst du, wir Frauen verstehen uns untereinander.“ (A0313, OFG, 02:55)
- „Wehe, du schreibst meinen Namen falsch!“ (A0316, OFR, 09:06)

Beschreibung	Code
Schüler/-in Grün (ONG)	19
Schüler/-in Rot (ONR)	29
Schüler/-in Gelb (ONY)	39

In Anlehnung an Kuger (2016); Lipowsky (2015)

Abb. 20: Vorgehen zur Bestimmung der Sprechzeit

Kodierung und Rating der Videos

Da die Sprechzeit keine Hinweise auf die Qualität der Gespräche zuließ, wurde zusätzlich die interaktive Qualität der Gespräche ermittelt, wobei die Gespräche zu Aufgabe 1 und Aufgabe

2 als zwei separate Gespräche betrachtet wurden. Jedes Gespräch wurde von zwei unabhängigen Personen einer der drei Gesprächsarten nach Mercer (1995) zugeordnet (siehe Abbildung 21).

□₁ Disputational Talk

- Nicht produktiv
- Viele Meinungsverschiedenheiten
- Lernende fällen selbst Entscheide und setzen diese durch
- Wenige Versuche, Ressourcen zu bündeln
- Kaum konstruktive Kritik
- Viele Behauptungen („Ja, so ist es!“, „Nein, es ist nicht so!“) und Gegenbehauptungen
- Kompetitive statt ko-konstruktive Stimmung

□₂ Cumulative Talk

- Produktiv
- Aufbau gemeinsamen Wissens durch Akkumulation
- Oft Wiederholungen, unkritische Bestätigungen und Darstellungen
- Kaum Bewertung der Ideen anderer

□₃ Exploratory Talk

- Produktiv
- Kritischer, aber konstruktiver Umgang mit Ideen anderer
- Aktives Zuhören
- Verständnisfragen, welche Erklärungen und Begründungen hervorrufen
- Wichtige Informationen werden miteinander geteilt
- Beiträge bauen aufeinander auf
- Aussagen werden (mit Begründung) infrage gestellt
- Alle werden ermutigt, mitzumachen
- Mit Ideen und Meinungen wird respektvoll umgegangen
- Vertrauensvolle Atmosphäre
- Gruppe sucht nach Übereinstimmung und gemeinsamer Entscheidung

Schlüsselwörter Exploratory Talk (Auswahl)

- Wenn („if“)
- Also, so („so“)
- Weil, da („because“)
- Ich denke, dass ... („I think“)
- Würde ... („would“)
- Möglicherweise, vielleicht („maybe“)
- Wieso („why“)

In Anlehnung an Mercer (1995)

Abb. 21: Ausschnitt aus dem Ratingmanual (Interaktive Qualität)

In einem weiteren Schritt wurde von zwei Personen die fachliche Qualität des Gesprächs kodiert (nur Aufgabe 1). Dazu wurde jeweils bestimmt, ob Verstehenselemente in Anlehnung an Drollinger-Vetter (2011) vorgekommen waren (siehe auch Kapitel 3.6.5). Wie diese geratet wurde, zeigt Abbildung 22.

Fachliche Auseinandersetzung: Verstehenselemente

Für die vorliegende Aufgabe müssen verschiedene grundlegende Elemente (in Anlehnung an die Verstehenselemente) verstanden und beim Lösen explizit berücksichtigt werden. Die Schülerinnen und Schüler identifizieren diese zentralen Elemente und setzen sich mit diesen auseinander. Es genügt nicht, wenn die Schülerinnen und Schüler ein Verstehenselement kurz ansprechen.

	Kommt nicht vor	Kommt vor
Schachtel hat eine Öffnung/Deckel	<input type="checkbox"/> ₀	<input type="checkbox"/> ₁
Lage im Raum spielt eine Rolle	<input type="checkbox"/> ₀	<input type="checkbox"/> ₁
Bälle müssen eng verpackt sein, Platz für genau vier Bälle bzw. nicht mehr als vier Bälle	<input type="checkbox"/> ₀	<input type="checkbox"/> ₁
Anzahl Lösungen ist offen (<i>mindestens</i> 15 und nicht <i>genau</i> 15 Verpackungen)	<input type="checkbox"/> ₀	<input type="checkbox"/> ₁

In Anlehnung an Drollinger-Vetter (2011); Garden (1997); TIMSS (1994a)

Abb. 22: Ausschnitt aus dem Ratingmanual (Verstehenselemente)

Des Weiteren wurden die fachliche und die inhaltsbezogene Qualität der Gespräche (Aufgabe 1 und Aufgabe 2) hochinferent geratet, das heisst, die beiden Personen schätzen die Verwendung von Fachbegriffen sowie das Argumentieren und das Begründen des Problemlöseprozesses ein (siehe Kapitel 3.6.5). Bei Ratings geht es darum, dass „ein Objekt in Bezug auf die Ausprägung eines bestimmten Merkmals beurteilt (eingeschätzt) wird, indem die Ausprägung dieses Merkmals anhand einer Schätzskala eingestuft wird“ (Pauli, 2014, S. 56). Abbildung 23 zeigt das Ratinginstrument zur Ermittlung der Verwendung von Fachbegriffen auf.

Fachliche Auseinandersetzung: Verwendung von Fachbegriffen

Bei der vorliegenden Problemlöseaufgabe ist weder eine bestimmte syntaktische Struktur (Konjunktionen etc.) noch Symbolsprache nötig. Die Schülerinnen und Schüler sollen aber zum Lösen der Problemlöseaufgabe Fachbegriffe korrekt verwenden und diese adäquat einsetzen (Brunner, 2013; Linneweber-Lammerskitten, 2014).

Beispiele:

- Fachbegriffe: z.B. Zylinder, Kegel, Pyramide, Kreis, Mantel
- Alltagsbegriffe: z.B. Röhre, Rundumeli [kreisförmige Umrandung], lange Schachtel, hohe Verpackung

<input type="checkbox"/> ₀ Vorwiegend Alltagsbegriffe	<input type="checkbox"/> ₁ Alltagsbegriffe und Fachbegriffe (z.B. wenn nur eine Schülerin/ein Schüler Fachbegriffe verwendet)	<input type="checkbox"/> ₂ Vorwiegend Fachbegriffe (mehr als eine Schülerin/ein Schüler verwendet Fachbegriffe)
--	--	--

In Anlehnung an Brunner (2013); Ehret (2017); Meyer und Prediger (2012)

Abb. 23: Ausschnitt aus dem Ratingmanual (Verwendung von Fachbegriffen)

In Abbildung 24 wird das Ratingmanual wiedergegeben, auf dessen Grundlage bestimmt wurde, wie qualitativ die Schülerinnen und Schüler argumentiert und begründet hatten. Die Gespräche wurden wiederum einzeln nach Aufgabe eingeschätzt.

Fachliche und inhaltliche Auseinandersetzung: Argumentieren und Begründen

Die Schülerinnen und Schüler müssen in der vorliegenden Problemlöseaufgabe nichts beweisen, jedoch müssen sie sachbezogen argumentieren und ihre Aussagen fachlich korrekt begründen.

Aspekte:

- Verschiedene Behauptungen werden formuliert und es werden damit verbunden mögliche Argumente/Begründungen vorgebracht
- Argumente/Begründungen werden gerechtfertigt/verteidigt (Indikatoren: weil, da, ...)
- Argumente/Begründungen sind fachlich nachvollziehbar und korrekt
- Verschiedene Perspektiven werden in Betracht gezogen
- Alternativen werden vorgeschlagen
- Zwischen den Argumenten/Begründungen werden logische Verknüpfungen hergestellt
- Verschiedene Perspektiven bzw. Standpunkte werden verglichen
- Lernende fordern sich gegenseitig heraus (Indikatoren: wieso, weshalb, ...)
- Lernende setzen sich mit den Kriterien für die Aufgabenlösung auseinander
- Verbindungen zur Aufgabenstellung werden hergestellt (z.B. bei Aufgabe 1, dass es mind. 15 verschiedene Verpackungen gibt)
- Lernende stellen Verbindungen her zwischen dem, was sie gelernt haben, und weiteren Kontexten (z.B. außerschulisch)
- Inhaltlicher Auseinandersetzung wird nicht aus dem Weg gegangen (nicht: „Ist doch egal, wie es gemeint ist“ oder „Wir sagen einfach, dass wir es nicht verstanden haben“)

Hinweis: Die Argumentation/Begründung kann auch handelnd erfolgen (z.B. mithilfe der Tischtennisbälle etwas erklären/zeigen).

<input type="checkbox"/> ₀ Kaum inhaltliche Auseinandersetzung beobachtbar	<input type="checkbox"/> ₁ Mittlere inhaltliche Auseinandersetzung beobachtbar	<input type="checkbox"/> ₂ Hohe inhaltliche Auseinandersetzung beobachtbar (nicht nur handelnd)
---	---	--

In Anlehnung an Alexander (2008); Brunner (2013); Linnemann und Bruder (2016); Michaels et al. (2010); OECD (2017d); Rojas-Drummond, Torreblanca, Pedraza, Vélez und Guzmán (2013); Schwarzkopf (2015); Soter et al. (2008); Tebaartz und Lengnink (2015)

Abb. 24: Ausschnitt aus dem Ratingmanual (Argumentieren und Begründen)

Des Weiteren wurde die Qualität der gemeinsamen Regulation während des Problemlöseprozesses der verschiedenen Gespräche (Aufgabe 1 und Aufgabe 2) geratet. In Abbildung 25 ist dieses Ratingmanual dargestellt.

Gemeinsame Regulation des Problemlöseprozesses

Die Schülerinnen und Schüler regulieren gemeinsam den Problemlöseprozess. Versuche zur Regulation und zum Monitoring werden aufgegriffen und nicht ignoriert.

Aspekte:

Planung, Monitoring, Kontrolle, Bewertung und Evaluierung sowie Reflexion des Problemlöseprozesses/der Problemlösung:

- Überblick über die Aufgabe verschaffen (z.B. lesen, wieder lesen, Aufgabe durchblättern)
- Sicherstellen, dass alle die Aufgabe gelesen und verstanden haben
Beispiel: „Habt ihr es gelesen?“ (Gruppe F, 00:30)
- Vorgehen wird explizit besprochen
Beispiel: „Jeder hat doch drei gemacht, oder? Gut. Wenn jeder ähm mal zuerst seine also am Anfang und nachher jeder macht seine drei und wenn es eines schon hat, dann eben zwei. Dann haben wir schon.“ (Gruppe H, 01:08)
- Organisation der Zusammenarbeit (z.B. besprechen, wer schreibt)
Beispiel: „Wer von euch will die Aufgabe lesen?“ (Gruppe A, 00:11); „Überlegt euch schon mal eine andere Schachtel!“ (Gruppe I, 01:51)
- Zeitplanung (z.B. innerhalb der gegebenen Zeit die Aufgabe befriedigend lösen vs. Zeitmangel)
Beispiel: „Sollen wir zur nächsten Frage gehen?“ – „Nein, nein, erst nach 10 Minuten!“ (Gruppe F, 07:18)
- Ziele und Teilziele werden bestimmt
- Zurückkommen auf das Ziel, z.B. während der Bearbeitung Bezug auf Problemlöseaufgabe nehmen (z.B. Aufgabe 1: mind. 15 verschiedene Lösungen sind möglich)
- Verhalten dem Zeitbudget anpassen (z.B. Skizze statt Zeichnung oder Konstruktion)
- Kontrolle, ob die gefundenen Lösungen den Kriterien der Aufgabe entsprechen
- Lösungen überprüfen, nachvollziehen
- Lösungen, Argumente bewerten
Beispiel: „Ich finde das eigentlich eine gute Lösung.“ (Gruppe F, 07:03); „Das ist nicht so, so ein guter Grund.“ (Gruppe F, 15:13)
- Nummerierung der gefundenen Lösungen
Beispiel: „Warte mal. Wie viele haben wir denn schon gefunden? 1, 2, 3, 4. Ja, immerhin schon die Hälfte!“ (Gruppe F, 07:28)
- Aussagen über Arbeitsweise
Beispiel: „So macht es Spaß!“ (Gruppe A, 09:32); „Ich bin diejenige, die nichts gemacht hat.“ (Gruppe A, 08:46)
- Regulation mit Fokus auf das Verstehen, Disziplin (z.B. Einhaltung der Schulregeln) oder Koordination der Gruppeninteraktionen
- Nächste Schritte identifizieren
- Konzentration, Motivation, Volition
Beispiel: „Nein, [Name], jetzt müssen wir aber aufpassen. Wir müssen uns besser auf die Aufgabe konzentrieren!“ (Gruppe F, 14:45)
- ...

<input type="checkbox"/> Regulation kaum beobachtbar	<input type="checkbox"/> Regulation teilweise beobachtbar (verschiedene regulative Aspekte beobachtbar)	<input type="checkbox"/> Regulation oft beobachtbar (viele verschiedene regulative Aspekte beobachtbar, diese sind zweckmässig und sinnvoll)
--	---	--

In Anlehnung an Artzt und Armour-Thomas (1992, 1997); Goos (2002); Hadwin und Oshige (2011); Miller und Hadwin (2015); Rogat und Adams-Wiggins (2014); Volet et al. (2013)

Abb. 25: Ausschnitt aus dem Ratingmanual (Gemeinsame Regulation)

5.5.3.3 Kodiererschulung, Kodierung, Rating und Reliabilitätskontrolle

Die auf die Schachteltypen bezogenen Lösungen wurden von den gleichen zwei Personen erfasst, die bereits die Verpackungen in der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) kodiert hatten. Deshalb brauchte es keine spezielle Schulung mehr und die Kodierung konnte nach einem kurzen Zusammenkommen ab November 2017 vorgenommen werden. In Tabelle 21 werden die Werte von Cohens Kappa nach der ersten Kodierung sowie nach der gesamten Kodierung angegeben. Bei Nichtübereinstimmung wurde gleich vorgegangen wie bei der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ („konsensuelle Einigung“, siehe Kapitel 5.5.1.5).

Tab. 21: Überblick über Cohens Kappa: Kodierung Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

	Cohens Kappa nach der Schulung	Cohens Kappa nach gesamter Kodierung
Aufgabe 1: Möglichst viele Verpackungen	.944	.952
Aufgabe 2: Beste Verpackung	.933	.945

Alle Videos wurden im Januar und Februar 2018 von zwei Personen beurteilt. Nach mehreren intensiven Schulungen (siehe auch Kapitel 5.5.1.5), unter anderem anhand von Videos aus der Pilotierungsphase, wurden die Reliabilitätswerte ermittelt. Für die nominalskalierten Kodierungen wurde Cohens Kappa berechnet. Für Ratings wird häufig die Intra-Class-Correlation (ICC) berechnet. Da in der Studie jedoch dreistufige Ratingskalen vorlagen, konnte nicht von intervallskalierten, sondern nur von ordinalskalierten Daten ausgegangen werden, weshalb Spearmans Rho berechnet wurde. Gemäss Döring und Bortz (2016) zählt Spearmans Rho zu den „gebräuchlichsten Maßen bei der Berechnung von Korrelationen zwischen ordinalskalierten Urteilen“ (S. 347). Spearmans Rho stellt ein Mass für die Stärke des ordinalen Zusammenhangs dar, ist aber nicht zufallskorrigiert.

Da die Reliabilitätswerte nach der Schulung genügend hoch waren, wurden die elf Videos getrennt nach Aufgabe hinsichtlich der verschiedenen Gesichtspunkte einzeln kodiert bzw. geratet. In den Tabellen 22 und 23 werden die Reliabilitätswerte nach der Schulung und nach der gesamten Kodierung bzw. dem gesamten Rating aufgelistet. Bei Nichtübereinstimmung hatten sich die Beurteilenden am Schluss der Kodierung bzw. des Ratings jeweils gemeinsam auf einen Wert geeinigt (siehe auch Kapitel 5.5.1.5).

Tab. 22: Überblick über Cohens Kappa: Kodierung Gespräche Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

	Cohens Kappa nach der Schulung	Cohens Kappa nach gesamter Kodierung
Aufgabe 1: Interaktive Qualität der Gespräche/Gesprächsart	1.000	.870
Aufgabe 1: Verstehenselement 1 (Öffnung)	.760	.814
Aufgabe 1: Verstehenselement 2 (Lage im Raum)	.750	.800
Aufgabe 1: Verstehenselement 3 (eng verpackt)	.727	.800
Aufgabe 1: Verstehenselement 4 (offene Lösung)	1.000	1.000
Aufgabe 2: Interaktive Qualität der Gespräche/Gesprächsart	.760	.870

Tab. 23: Überblick über Spearmans Rho: Rating Gespräche Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

	Spearmans Rho nach der Schulung	Spearmans Rho nach gesamtem Rating
Aufgabe 1: Verwendung von Fachbegriffen	.958	.926
Aufgabe 1: Argumentieren und Begründen	.750	.949
Aufgabe 1: Gemeinsame Regulation des Problemlöseprozesses	.750	.874
Aufgabe 2: Verwendung von Fachbegriffen	.760	.715
Aufgabe 2: Argumentieren und Begründen	.890	.727
Aufgabe 2: Gemeinsame Regulation des Problemlöseprozesses	.933	.858

5.5.4 Befragung der Schülerinnen und Schüler und Klassencockpit

Aus der Onlinebefragung der Schülerinnen und Schüler wurden verschiedene soziodemografische Angaben verwendet. Tabelle 24 zeigt diese Einzelitems¹⁸ inklusive der Kodierung auf. Zudem wird ersichtlich, wie diese Merkmale in der vorliegenden Stichprobe verteilt waren.

Tab. 24: Überblick über die verwendeten soziodemografischen Angaben

Einzelitem	Kodierung	N	%
Geschlecht	0 = männlich	114	45.6
	1 = weiblich	136	54.4
Muttersprache Deutsch	0 = Deutsch nicht Muttersprache	82	32.8
	1 = Deutsch Muttersprache	139	55.6
Indikator sozioökonomischer Hintergrund, gemessen an der Anzahl Bücher	1 = keine oder sehr wenige Bücher	32	12.8
	2 = ungefähr ein Regalbrett	58	23.2
	3 = ungefähr ein ganzes Büchergestell	75	30.0
	4 = ungefähr zwei Büchergestelle	28	11.2
	5 = drei Büchergestelle oder mehr	34	13.6

Anmerkung. N = 250, wobei zu „Muttersprache Deutsch“ sowie zum Indikator „sozioökonomischer Hintergrund, gemessen an der Anzahl Bücher“ nicht von allen Schülerinnen und Schülern Daten vorliegen.

Ausserdem wurden verschiedene Skalen aus der perLen-Schülerbefragung t2 und Einzelitems aus der Schülerbefragung t3 einbezogen. Tabelle 25 zeigt die wichtigsten Kennwerte der verwendeten Einzelitems auf.

Tab. 25: Überblick über die verwendeten Einzelitems (Schülerfragebogen t2)

Einzelitem	M	SD	N	Wortlaut
Unterrichtsaktivität Wochenplan, Lernplan oder Tagesplan	2.99	1.181	173	Im Unterricht arbeite ich mit meinem Wochenplan, Lernplan oder Tagesplan.
Unterrichtsaktivität Lernatelier	2.66	1.287	173	Im Unterricht arbeite ich im Lernatelier.
Unterrichtsaktivität Werkstatt	2.26	1.076	173	Im Unterricht arbeite ich mit Aufgaben aus einer Werkstatt.

Anmerkung. Kodierung Einzelitems Unterrichtsaktivität: 1 ([fast] nie), 2 (etwa einmal pro Monat), 3 (ein- bis zweimal pro Woche), 4 ([fast] jeden Tag).

¹⁸ In der Regel wird der sozioökonomische Status über die Berufstätigkeit der Eltern erfasst (Watermann & Baumert, 2006). Da diese Informationen nicht vorlagen, wurde als Indikator die Anzahl Bücher verwendet.

Die Skalen wurden aus Moetteli und Schmid (2018)¹⁹ übernommen. Tabelle 26 zeigt die wichtigsten Kennwerte der in der Teilstudie „Problemlösen“ verwendeten Skalen auf.

Tab. 26: Überblick über die verwendeten Skalen (Schülerfragebogen t3)

Skala	Anzahl Items	Cronbachs α	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	Beispielitem (Trennschärfe)
Lernstrategie Metakognition	3	.730	3.043	.557	188	Wenn ich eine etwas schwierigere Aufgabe bearbeite, mache ich mir klar, welche Sachen (Informationen, Angaben) ich für die Lösung brauche. ($r_{i(t-i)} = .600$)
Lernstrategie Planen und Strukturieren	3	.676	2.573	.668	188	Wenn ich eine etwas schwierigere Aufgabe bearbeite, mache ich mir einen Arbeitsplan. ($r_{i(t-i)} = .515$)
Heuristische Strategien	4	.702	3.117	.455	188	Wenn ich eine etwas schwierigere Aufgabe bearbeite, mache ich mir klar, was gesucht/gefragt ist. ($r_{i(t-i)} = .521$)
Lernstrategie soziale Unterstützung	3	.756	3.082	.588	188	Wenn ich eine etwas schwierigere Aufgabe bearbeite, suche ich Hilfe bei anderen (Mitschüler/-innen, Eltern, Lehrpersonen), wenn ich nicht klarkomme. ($r_{i(t-i)} = .577$)
Emotionen im Fach Mathematik	4	.890	2.648	.844	188	Mathematik ist spannend. ($r_{i(t-i)} = .726$)
Individuelle Zielvereinbarung	3	.842	2.486	.087	188	Im Unterricht vereinbaren wir mit unseren Lehrpersonen unsere persönlichen Lernziele. ($r_{i(t-i)} = .670$)
Mitwirken bei Stoffauswahl	3	.681	2.479	.728	188	Im Unterricht gehen die Lehrpersonen auf aktuelle Wünsche der Schülerinnen und Schüler ein. ($r_{i(t-i)} = .516$)
Wahlfreiheit	5	.823	3.073	.693	188	In der Schule entscheide ich selbst, was ich lerne. ($r_{i(t-i)} = .660$)
Kognitive Aktivierung	6	.795	3.009	.518	188	Meine Lehrpersonen geben uns Aufgaben zum Nachdenken. ($r_{i(t-i)} = .575$)
Unterstützung des Strategieerwerbs zum selbstständigen Lernen	4	.816	2.987	.628	188	Meinen Lehrpersonen ist es wichtig, dass wir verschiedene Möglichkeiten zum Lernen ausprobieren. ($r_{i(t-i)} = .633$)
Verständnisorientierung	3	.686	3.248	.550	188	Meinen Lehrpersonen ist es wichtig, dass wir ein Thema verstanden haben, bevor wir das nächste beginnen. ($r_{i(t-i)} = .469$)
Unterstützungsverhalten und Fürsorglichkeit der Lehrperson	7	.867	3.010	.568	188	Meine Lehrpersonen helfen mir, wenn ich sie brauche. ($r_{i(t-i)} = .664$)

Anmerkung. Kodierung Skalen: 1 (*stimmt gar nicht*), 2 (*stimmt eher nicht*), 3 (*stimmt eher*), 4 (*stimmt genau*).

Des Weiteren wurden die erreichten Prozentwerte in Mathematik und Deutsch aus dem Klassencockpit des dritten Projektjahrs miteinbezogen (siehe Cossi, 2018). Diese Leistungen wurden in der vorliegenden Arbeit als Indikator für das Wissen angesehen. Das Klassencockpit

¹⁹ Angewendetes Verfahren: Explorative Faktorenanalyse mittels Principal Component Analysis (PCA), forcierte 4-Faktorenlösung, oblique Rotation (Oblimin), Reliabilitätsanalyse (siehe Moetteli & Schmid, 2018).

selbst steht jedoch in keinem direkten inhaltlichen Zusammenhang mit dem Verpackungsproblem (siehe auch Kapitel 5.4.4 und 7.2.3). Tabelle 27 gibt einen Überblick über diese Daten.

Tab. 27: Überblick über die Leistungen in Mathematik und Deutsch (Klassencockpit)

Item	Min.	Max.	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>
Klassencockpit Mathematik	6.67	93.33	49.630	20.765	216
Klassencockpit Deutsch	14.55	94.55	54.069	19.129	225

Anmerkung. Kodierung Klassencockpit: Prozentwerte.

5.6 Auswertungsverfahren

Zur Beantwortung der zweiten Fragestellung wurden hierarchische Regressionsanalysen gerechnet, welche in Kapitel 5.6.1 beschrieben werden. Da in der vorliegenden Arbeit verschiedene Datenquellen verwendet wurden und nicht alle Lernenden an allen Erhebungen teilgenommen hatten, werden in Kapitel 5.6.1.1 verschiedene Vorgehensweisen zum Umgang mit fehlenden Werten vorgestellt und diskutiert. Anschliessend wird in Kapitel 5.6.1.2 die Berechnung der abhängigen Variablen dargestellt.

5.6.1 Hierarchische Regressionsanalysen

Da in der vorliegenden Arbeit latente Modelle wegen der beabsichtigten hierarchischen Herangehensweise nicht zielführend waren, wurden sequenzielle bzw. hierarchische Regressionsanalysen gerechnet. Bei Regressionsanalysen wird gemäss Urban und Mayerl (2018) „die Größenveränderung einer abhängigen Variablen auf den Einfluss von modellabhängig spezifizierten Variablen zurückgeführt“ (S. 32). Auf diese Weise soll die Regressionsschätzung „die Stärke des Einflusses von unabhängigen Variablen auf eine abhängige Variable unter bestimmten strukturellen Modellbedingungen ermitteln“ (Urban & Mayerl, 2018, S. 32). Die hierarchische Regressionsanalyse unterscheidet sich von der simultanen wie auch von der schrittweisen Regressionsanalyse dadurch, dass die unabhängigen Variablen in einer theoretisch vorgegebenen Reihenfolge und nicht nach statistischen Kriterien eingeführt werden (Fromm, 2012; Urban & Mayerl, 2011). Dabei erhalten früher eingeführte unabhängige Variablen einen grösseren und später eingeführte Variablen einen kleineren Teil der gemeinsam erklärten Varianz zugewiesen. Alle erklärten Varianzanteile sind somit zuordenbar.

5.6.1.1 Umgang mit fehlenden Werten: Multiple Imputationen

Die für die Regressionsanalyse verwendeten Variablen stammten aus verschiedenen Datenerhebungen (Teilstudie „Problemlösen“, Schülerbefragung t2 und t3 sowie Klassencockpit

Mathematik und Klassencockpit Deutsch, siehe auch Kapitel 5.2), wobei wie bereits festgehalten nicht alle Schülerinnen und Schüler an allen Datenerhebungen teilgenommen hatten. Aus verschiedenen Gründen fehlten bei einigen Lernenden Werte (z.B. wegen Abwesenheit am Tag der Erhebung). Soziodemografische Daten konnten grösstenteils auf der Grundlage der Fragebogen t1 und t2 rekonstruiert werden, da sich Geschlecht, Muttersprache Deutsch oder sozioökonomischer Hintergrund zwischen den verschiedenen Erhebungszeitpunkten in der Regel nicht ändern. Tabelle 28 zeigt die Missingness in den verschiedenen Datenquellen auf.

Tab. 28: Missingness in den verschiedenen Datenquellen (aufsteigend geordnet nach Anzahl fehlender Werte)

Datenquelle	Vorhandene Angaben	Fehlende Angaben	Missingness [%]
Geschlecht	250	0	0.0
Selbstberichtete Vorgehensweisen Reflexionsinstrument	250	0	0.0
Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	250	0	0.0
Motivation vor dem Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	247	3	1.2
Indikator sozioökonomischer Hintergrund	227	23	9.2
Klassencockpit Deutsch	225	25	10.0
Muttersprache Deutsch	221	29	11.6
Klassencockpit Mathematik	216	34	13.6
Schülerfragebogen t3 (verschiedene Skalen)	188	62	24.8
Schülerfragebogen t2 (Einzelitems Unterrichtsaktivität)	173	77	30.8
Alle Datenquellen zusammen	127	123	49.2

Von den 250 Lernenden sind insgesamt 127 vollständige Datensätze vorhanden (50.8%). Da die kumulierte Missingquote über den akzeptierbaren 5% lag, wurde die Systematik der fehlenden Werte statistisch untersucht (Urban, Mayerl & Wahl, 2016). Mit dem Missing-completely-at-random-Test (MCAR) nach Little (1988) kann festgestellt werden, ob die Missings rein zufällig sind und unabhängig von den anderen Werten fehlen. Der Little-Test fiel für die Variablen, welche für die Regressionsanalyse verwendet werden sollten, nur knapp nicht signifikant aus ($\text{Chi-Quadrat}=531.243$, $DF=488$, $p=.086$). Die MCAR-Annahme konnte deshalb vorerst beibehalten werden. Da der Little-Test nur knapp nicht signifikant war, wurde jedoch zusätzlich geprüft, ob quellenspezifisch nicht doch Muster vorliegen könnten. Dazu wurde für jede Datenquelle eine binäre logistische Regressionsanalyse gerechnet (Urban et al., 2016). Die abhängige Variable wurde dabei jeweils binär kodiert (0 = kein Missing bzw. 1 = Missing in der betreffenden Datenquelle). Mit der binären logistischen Regression kann die Abhängigkeit einer dichotomen Variable von anderen unabhängigen Variablen unterschiedlicher Skalenniveaus untersucht werden (Behnke, 2015; Bühl, 2014; Mayerl & Urban, 2010). Im vorliegenden Fall sollte geklärt werden, ob für eine bestimmte Datenquelle ein vollständiger Datensatz bzw.

kein vollständiger Datensatz vorlag. Wie Tabelle 29 zeigt, waren die verschiedenen Modelle mit Ausnahme der Schülerbefragungen nicht signifikant.

Tab. 29: Chi-Quadrat-Tests für die verschiedenen logistischen Regressionsanalysen

Modell	Abhängige Variable	Chi-Quadrat-Test
1	Missingness Motivation vor dem Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	Chi-Quadrat(20) = 12.25, $p = .907$
2	Missingness Indikator sozioökonomischer Hintergrund	Chi-Quadrat(11) = 12.55, $p = .324$
3	Missingness Klassencockpit Deutsch	Chi-Quadrat(20) = 21.75, $p = .354$
4	Missingness Muttersprache Deutsch	Chi-Quadrat(11) = 9.25, $p = .057$
5	Missingness Klassencockpit Mathematik	Chi-Quadrat(20) = 30.95, $p = .056$
6	Schülerfragebogen t3 (verschiedene Skalen)	Chi-Quadrat(15) = 31.41, $p = .008^{**}$
7	Schülerfragebogen t2 (Einzelitems Unterrichtsaktivität)	Chi-Quadrat(17) = 41.92, $p = .001^{**}$

Anmerkung. Die abhängige Variable ist jeweils binär kodiert (0 = kein Missing bzw. 1 = Missing in der betreffenden Datenquelle), alle anderen Variablen dienen als unabhängige Variablen; *** $p = .000$; ** $p < .01$; * $p < .05$; $N = 250$.

Im Folgenden wird die binäre logistische Regression nur für die signifikanten Modelle, das heisst für den Schülerfragebogen t2 und den Schülerfragebogen t3, berichtet. Die Regression zeigte, dass ein Prädiktor einen signifikanten Einfluss auf die Existenz fehlender Werte bei der Variable „Schülerfragebogen t3“ hatte: die Anzahl Punkte in der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Wald(1) = 6.138, $p = .013$). Bei der Variable „Schülerfragebogen t2“ war es die Leistung im Klassencockpit Mathematik (Wald(1) = 5.944, $p = .015$). Deshalb wurde die MCAR-Annahme verworfen und stattdessen die Missing-at-Random-Vermutung (MAR) angenommen. Unter anderem aus inhaltlichen Überlegungen wurde Missing-not-at-Random (MNAR) ausgeschlossen: Die untersuchten Schülerinnen und Schüler hatten beispielsweise beim Fragebogen entweder alle oder keine Angaben gemacht. Daraus liess sich schliessen, dass keine Missings aufgrund bestimmter Fragen vorlagen, sondern dass die Lernenden, wenn Daten fehlten, am Tag der Erhebung aus zufälligen Gründen abwesend gewesen waren.

Für den Umgang mit fehlenden Werten liegen verschiedene Verfahren vor: klassische Verfahren (z.B. fallweiser oder paarweiser Ausschluss, Gewichtung), imputationsbasierte Verfahren (z.B. Ersetzung durch Mittelwert oder durch Regression, Multiple Imputation) oder modellbasierte Verfahren (z.B. indirekte oder direkte Maximum-Likelihood-Methode) (Lüdtke, Robitzsch, Trautwein & Köller, 2007; Urban et al., 2016). Bei Regressionsanalysen in SPSS ist der fallweise Ausschluss Standardeinstellung. Gemäss Graham, Cumsille und Elek-Fisk (2003) soll der fallweise Ausschluss jedoch nur bei einer Missingness von weniger als 5% gewählt werden. Im vorliegenden Datensatz lag die kumulierte Missingness deutlich darüber. Wenn wie im vorliegenden Datensatz eine MAR-Vermutung vorliegt, wird in der Literatur die Multiple Imputation (MI) empfohlen (z.B. Enders, 2010; Urban et al., 2016). MI könnte aber auch bei MCAR

und MNAR eingesetzt werden (z.B. Pedersen et al., 2017; Schafer & Graham, 2002). In der vorliegenden Arbeit sollten die fehlenden Werte für die hierarchische Regressionsanalyse in SPSS deshalb durch die MI ersetzt werden (siehe Lüdtke et al., 2007 für Vor- und Nachteile der verschiedenen Verfahren). Im Gegensatz zu klassischen Verfahren werden bei der von Rubin (1987) vorgeschlagenen MI unverzerrte Standardfehler geliefert, das heisst, es gibt keine Unterschätzung wie zum Beispiel beim Expectation-Maximization-Algorithmus (siehe auch Enders, 2010; Lüdtke et al., 2007). Ausserdem wird die Stichprobengrösse nicht reduziert und die Daten können vollständig genutzt werden. Anders als bei einfachen Imputationen werden bei der MI zudem die fehlenden Werte durch mehrere plausible Werte ersetzt.

Die MI läuft in drei Schritten ab (Lüdtke et al., 2007; Urban et al., 2016): (1) In der Imputationsphase wird unter Einbezug der vorhandenen Daten und mithilfe von Regressionen jeweils eine bestimmte Anzahl unterschiedlicher Schätzwerte für die fehlenden Werte generiert. Durch die verschiedenen Ersetzungen entstehen mehrere vollständige Datensätze. (2) In der Analysephase werden mit den verschiedenen vollständigen Datensätzen Analysen durchgeführt. (3) In der Poolingphase werden die in der Analysephase getrennt durchgeführten Analysen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Imputation schliesslich zusammengeführt.

Wie in neueren Arbeiten empfohlen (z.B. Enders, 2010; Urban et al., 2016) wurden in der vorliegenden Arbeit $m = 20$ Imputationen vorgenommen. Ausserdem wurde die Fully Conditional Specification (FCS)²⁰ verwendet. Als Methode wurde das Markov-Chain-Monte-Carlo-Verfahren (MCMC) gewählt, wobei die maximale Anzahl Iterationen auf 20 gesetzt wurde. Für die Schätzung wurden Daten aus dem Schülerfragebogen, dem Klassencockpit Mathematik, dem Klassencockpit Deutsch des dritten Projektjahrs sowie dem Reflexionsinstrument verwendet, wobei die Imputationsreihenfolge aufsteigend nach der Missingquote festgelegt wurde.

Bei der Berechnung hierarchischer Regressionsanalysen in SPSS mit imputierten Daten sind jedoch nicht alle Angaben verfügbar. Damit die standardisierten Koeffizienten ausgewiesen werden konnten, wurde in der vorliegenden Arbeit mit z-transformierten Daten gerechnet, weil dadurch die nicht standardisierten Koeffizienten den standardisierten Koeffizienten entsprachen und sie so angegeben werden konnten (siehe auch IBM, 2016b). Des Weiteren liefert SPSS keine kombinierten Zahlenwerte für R und R^2 . Urban et al. (2016) schlagen als Proxy für

²⁰ SPSS wendet dazu das Verfahren Multiple Imputation by Chained Equations (MICE) an.

die kombinierten *R*-Werte vor, diese als arithmetische Mittelwerte von allen *m* berichteten Werten zu berechnen.

5.6.1.2 Problemlöseleistung in der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

Anhand der zweiten Fragestellung sollte untersucht werden, welche Zusammenhänge zwischen der Problemlöseleistung in der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) und verschiedenen unabhängigen Variablen bestehen. In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die abhängige Variable gebildet wurde.

Die Aufgaben der allein zu lösenden Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ wurden je separat kodiert (siehe Kapitel 5.5.1.1 bis 5.5.1.4). Wie bei TIMSS zeigte die erste Ziffer des Codes jeweils an, wie viele Punkte eine Person bei einer Aufgabe erreicht hatte, wobei zwischen 0 und 3 Punkte erreicht werden konnten (siehe Harmon et al., 1997). Tabelle 30 gibt einen Überblick über die verschiedenen Aufgaben des Verpackungsproblems.

Tab. 30: Überblick über die verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

	<i>N</i>	Mögliche Punkte	Min.	Max.	<i>M</i>	<i>SD</i>	Itemschwierigkeit
Aufgabe 1	250	3	0	3	1.93	1.177	.643
Aufgabe 2	250	3	0	3	1.22	.971	.407
Aufgabe 3	250	2	0	2	1.09	.857	.545
Aufgabe 4a	250	3	0	3	.47	.949	.157
Aufgabe 4b	250	3	0	3	.23	.654	.077

In TIMSS 1995 wurden einerseits Prozentwerte²¹ der einzelnen Aufgaben und andererseits Gesamtdurchschnitte über die verschiedenen Aufgaben hinweg berechnet (Harmon et al., 1997). Für die vorliegende Arbeit sollten die drei ersten Aufgaben²², welche ursprünglich aus TIMSS 1995 stammen, ebenfalls miteinander verrechnet als Gesamtsumme verwendet werden. Bei Aufgabe 4 mussten die Lernenden die Oberfläche (4a) bzw. das Volumen (4b) der Verpackungen berechnen. In diesen beiden neuen Aufgaben ging es somit nicht direkt um das Problemlösen, sondern die Lernenden mussten mathematische Prozeduren ausführen (siehe auch Kapitel 5.5.1). Ein weiterer Grund dafür, wieso Aufgabe 4 nicht in die Summenbildung miteinbezogen wurden, war der deutlich tiefere Wert der Itemschwierigkeit.

²¹ Diese Prozentwerte wurden von Harmon et al. (1997, S. A-28) als „the score achieved by a student expressed as a percentage of the maximum points available on that item“ definiert.

²² Bei Aufgabe 2 konnten ursprünglich 2 Punkte erreicht werden. Da aber alle Aufgaben als äquivalent erachtet wurden und auch ungefähr gleich viel Zeit zum Lösen beansprucht hatten, wurden für die weiteren Berechnungen alle Aufgaben mit maximal 3 Punkten bewertet. Zu diesem Zweck wurde Aufgabe 2 wie folgt recodiert: 0=0, 1=1.5, 2=3.

Aus theoretischer Sicht war eine Summenbildung der Fragen 1 bis 3 sinnvoll. Es galt jedoch zu untersuchen, ob diese Entscheidung auch statistisch vertretbar war. Deshalb wurde zunächst geprüft, ob die Aufgaben 1 bis 3 in der vorliegenden Stichprobe eindimensional waren. Dazu wurde eine explorative Faktorenanalyse durchgeführt (siehe z.B. Bühl, 2014; Bühner, 2011; Eid, Gollwitzer & Schmitt, 2015; Schnell et al., 2013). Die vorliegenden Daten erfüllten die Grundvoraussetzungen für eine Faktorenanalyse (u.a. Stichprobengröße und Skalenniveau). In einem ersten Schritt wurden die Korrelationen zwischen den einzelnen Aufgaben berechnet (siehe Tabelle 31).

Tab. 31: Korrelationen nach Pearson der Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

	Aufgabe 1	Aufgabe 2
Aufgabe 1: Drei Schachteln zeichnen		
Aufgabe 2: Drei Faltpläne zeichnen	.404***	
Aufgabe 3: Eine Schachtel in Originalgröße herstellen	.309***	.453***

Anmerkungen. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ (zweiseitig); $N = 250$.

Wie Tabelle 30 zeigt, korrelierten alle Aufgaben untereinander positiv und alle Korrelationen waren auf dem Niveau von 0.01 signifikant (zweiseitig). Die Aufgaben 2 und 3 korrelierten am stärksten (.453***) und Aufgaben 1 und 3 am schwächsten (.309***) miteinander.

In einem nächsten Schritt wurde geprüft, ob sich die Daten für eine Faktorenanalyse eigneten. Der Kaiser-Meyer-Olkin-Wert (KMO) war genügend hoch (.638) und der Bartlett-Test bestätigte, dass die Variablen nicht vollständig unkorreliert waren ($\text{Chi-Quadrat}(3) = 160.867$, $p = .000$). Daher wurde mit der Analyse fortgefahren. Mit der Faktorenanalyse wurde getestet, ob die Aufgaben auf einen Faktor laden. Wie in Tabelle 32 ersichtlich ist, wurde bei der explorativen Faktorenanalyse eine Komponente extrahiert, welche fast 60% der Varianz erklärte.

Tab. 32: Faktorenladungen der Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

	Komponente
	1
Aufgabe 1: Drei Schachteln zeichnen	.726
Aufgabe 2: Drei Faltpläne zeichnen	.819
Aufgabe 3: Eine Schachtel in Originalgröße herstellen	.763

Anmerkungen. Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse (mit Kaiser-Kriterium Eigenwert ≥ 1); Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung; Erklärte Gesamtvarianz: 59.35%; $N = 250$.

Anschließend wurde getestet, ob die interne Konsistenz gewährleistet war. Die Reliabilitätsanalyse ergab für drei Items eine genügende interne Konsistenz (Cronbachs Alpha = .644) und auch die Trennschärfe war mit Werten zwischen .409 (Aufgabe 1) und .531 (Aufgabe 2) zufriedenstellend (siehe Tabelle 33).

Tab. 33: Reliabilitätsanalyse der Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

	Skalenmittelwert, wenn Item weg- gelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item- Skala-Kor- relation	Cronbachs Alpha, wenn Item wegge- lassen
Aufgabe 1: Drei Schachteln zeichnen	2.858	3.728	.409	.607
Aufgabe 2: Drei Faltpläne zeichnen	3.566	3.973	.531	.471
Aufgabe 3: Eine Schachtel in Original- grösse herstellen	3.148	3.251	.446	.568

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit den für die drei Aufgaben je vergebenen Punkten eine Summe gebildet werden konnte, welche die Problemlöseleistung beim Lösen des Verpackungsproblems abzubilden vermochte. In einem letzten Schritt wurde daraufhin die neu gebildete Summe genauer untersucht. Die verschiedenen Kennwerte dazu werden in Tabelle 34 dargestellt.

Tab. 34: Überblick über die verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	Mögliche Punkte	Min.	Max.	Schiefe	<i>SE</i> Schiefe	Kurtosis	<i>SE</i> Kurtosis
Summe	250	4.786	2.640	9	0	9	-.195	.154	-.941	.307

Wie Tabelle 34 zeigt, war die Verteilung linksschief (-.195) und flacher als eine Normalverteilung (-.941). Die Simulationsstudie von Curran, West und Finch (1996) hatte jedoch gezeigt, dass bedeutsame Probleme erst mit einer Schiefe von 2.0 und einer Kurtosis von 7.0²³ entstehen. Auch gemäss Lienert und Raatz (1998) sollte man „mehr oder weniger *exzessiven* Häufigkeitsverteilungen ... keine allzu-große [sic] praktische Bedeutung beimessen und dementsprechend keine Revisionsmaßnahmen planen“ (S. 160, Hervorhebung im Original).

Die mithilfe der in diesem Kapitel dargelegten Auswertungsverfahren ermittelten Ergebnisse werden im nächsten Kapitel im Detail vorgestellt.

²³ Da in Curran et al. (1996) eine andere Berechnung vorgenommen wurde als in der vorliegenden Arbeit (hier nach Bliss, 1967; in IBM, 2016a), kann hier von einem Wert von 4.0 ausgegangen werden.

6 Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, wie Lernende aus perLen-Schulen allein und gemeinsam ein Problem lösen, weil davon ausgegangen wird, dass in solchen Schulen überfachliche Kompetenzen wie die Problemlösekompetenz besonders gut eingeübt werden (siehe v.a. Kapitel 3.7). Die Ergebnisse zum individuellen und gemeinsamen Problemlösen, die sich auf Fragestellung 1 beziehen, werden in Kapitel 6.1 dargestellt. Anschliessend werden in Kapitel 6.2 die Ergebnisse zu Fragestellung 2 präsentiert, in deren Kontext untersucht wurde, welche Rolle verschiedene Merkmale der Schülerinnen und Schüler beim individuellen Problemlösen spielen.

6.1 Fragestellung 1: Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen allein und gemeinsam ein Problem?

In Kapitel 6.1.1 werden zunächst die Ergebnisse zum Produkt des individuellen Problemlösens dargestellt, bevor in Kapitel 6.1.2 aufgezeigt wird, wie die Schülerinnen und Schüler ihren Problemlöseprozess beschrieben haben (Prozess). Im Anschluss daran folgen in Kapitel 6.1.3 und 6.1.4 die Ergebnisse zum gemeinsamen Problemlösen, wiederum zunächst zum Produkt und danach zum Prozess.

6.1.1 Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen allein das Problem „Verpackungen“?

In Kapitel 6.1.1.1 wird dargestellt, wie die Schülerinnen und Schüler allein ein Problem gelöst haben und welche Lösungen sie erzielt hatten, während in Kapitel 6.1.1.2 aufgezeigt wird, wie sie ihr Vorgehen beim Lösen retrospektiv beschrieben haben.

6.1.1.1 Produkt: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

In der vorliegenden Untersuchung haben die Schülerinnen und Schüler in Einzelarbeit die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (siehe Kapitel 5.4.1) gelöst, welche ursprünglich aus TIMSS 1995 stammte. In diesem Kapitel wird aufgezeigt, wie erfolgreich die Lernenden das Verpackungsproblem gelöst haben. Zu diesem Zweck werden die Ergebnisse der Lernenden aus den perLen-Schulen auch mit den Ergebnissen der Lernenden aus der Deutschschweizer TIMSS-Stichprobe von 1995 verglichen. Ausserdem wird dargestellt, welche konkreten Lösungen die Lernenden in den verschiedenen Aufgaben erzielt haben.

Wie erfolgreich lösen die Schülerinnen und Schüler die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)?

Die Lernenden haben die vier Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ unterschiedlich erfolgreich gelöst. Insgesamt 1.6% der Lernenden haben alle Aufgaben vollständig korrekt und 7.6% haben keine Aufgabe korrekt gelöst. Durchschnittlich haben die Lernenden, bei je 3 Punkten pro Aufgabe und somit einem Maximum von 12 Punkten, etwas mehr als 5 Punkte erreicht ($M=5.14$, $SD=3.02$, $Min=0$, $Max=12$, $n=250$), wobei die Hälfte der Lernenden zwischen 3 und 7.5 Punkten erreicht hat.

In Tabelle 35 wird pro Aufgabe dargestellt, ob diese vollständig oder teilweise korrekt, nicht korrekt oder nicht bearbeitet wurde.

Tab. 35: Korrektheit der verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

	Aufgabe 1: Drei Verpackungen		Aufgabe 2: Drei Faltpläne		Aufgabe 3: Ein Faltpapier in Originalgrösse		Aufgabe 4: Oberfläche und Volumen	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Vollständig korrekt	113	45.2	35	14.0	104	41.6	8	3.2
Teilweise korrekt	86	34.4	154	61.6	65	26.0	57	22.8
Nicht korrekt	50	20.0	51	20.4	77	30.8	76	30.4
Nicht bearbeitet	1	0.4	10	4.0	4	1.6	109	43.6
Summe	250	100.0	250	100.0	250	100.0	250	100.0

Wie Tabelle 35 zeigt, haben die Lernenden die Aufgaben 1 und 3 besonders gut gelöst: In der ersten Aufgabe hat fast die Hälfte der Lernenden drei richtige Verpackungen für vier Tischtennisbälle gezeichnet (vollständig korrekt, 45.2%) und rund ein Drittel hat eine oder zwei richtige Verpackungen abgegeben (teilweise korrekt, 34.4%). In Aufgabe 3 haben 41.6% der Schülerinnen und Schüler fehlerfrei eine Verpackung in Originalgrösse gezeichnet. Aufgabe 2 haben 14.0% und Aufgabe 4 haben 3.2% der Lernenden fehlerfrei gelöst. Des Weiteren wird in der Tabelle über die Aufgaben hinweg auch ersichtlich, dass diese immer seltener bearbeitet wurden: Aufgabe 1 wurde von 99.6% der Lernenden gelöst, Aufgabe 4 nur noch von 56.4% der Lernenden.

Wie erfolgreich lösen die Schülerinnen und Schüler im Vergleich zur Schweizer TIMSS-Stichprobe (1995) die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)?

Die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ stammte ursprünglich aus der TIMSS-Untersuchung von 1995 (siehe Kapitel 5.4.1). Es interessiert daher, wie die Schülerinnen und Schüler der perLen-Schulen das Verpackungsproblem im Vergleich zu den Deutschschweizer Lernenden

der TIMSS-Erhebung 1995 gelöst haben. Tabelle 36 zeigt, wie die Lernenden aus TIMSS 1995 und die perLen-Lernenden das Problem gelöst haben.

Tab. 36: Korrektheit der verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) im Vergleich zur TIMSS-Stichprobe 1995 (Leibundgut, 1996, S. 29 ff.)

	Aufgabe 1: Drei Verpackungen		Aufgabe 2: Drei Faltpläne^a		Aufgabe 3: Ein Faltplan in Originalgrösse	
	perLen ^b	TIMSS ^c	perLen	TIMSS	perLen	TIMSS
	%	%	%	%	%	%
Vollständig korrekt	45.2	35.6	32.4	44.7	41.6	50.8
Teilweise korrekt	34.4	20.4	43.2	24.2	26.0	15.9
Nicht korrekt	20.0	19.7	20.4	12.9	30.8	20.5
Nicht bearbeitet	0.4	24.2	4.0	18.2	1.6	12.9
Summe	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Anmerkungen. ^a Zur Vergleichbarkeit wurden die perLen-Daten umkodiert, sodass Aufgabe 2 wie bei TIMSS bereits mit zwei korrekten Faltplänen als vollständig korrekt angesehen wurde. ^b Stichprobe $N=250$. ^c Stichprobe $N=132$.

Zur statistischen Absicherung der Unterschiede wurde ein modifizierter *U*-Test nach Raatz (1966) durchgeführt (siehe auch Clauß, Finze & Partzsch, 1995). Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist bei Aufgabe 1 signifikant ($u=4.31$), das heisst die Schülerinnen und Schüler aus der perLen-Stichprobe haben Aufgabe 1 signifikant besser gelöst. Bei Aufgabe 2 ($u=0.27$) und Aufgabe 3 ($u=0.34$) sind die Unterschiede jedoch nicht statistisch bedeutsam.

Welche Lösungen erzielen die Schülerinnen und Schüler in den verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)?

Im Folgenden werden die konkreten Lösungen der Schülerinnen und Schüler für die verschiedenen Aufgaben einzeln aufgezeigt (siehe auch Kapitel 5.5.1), wobei jeweils von der effektiven Anzahl der Lösungen ausgegangen wird. Diese variiert zwischen den einzelnen Aufgaben, da nicht alle Aufgaben von allen Lernenden bearbeitet wurden. Ausserdem wird, falls Daten dazu vorliegen, auch auf die Schweizer TIMSS-Stichprobe von 1995 Bezug genommen. Sämtliche Ergebnisse finden sich in Anhang C.1.

Aufgabe 1

In der ersten Aufgabe mussten drei Schachteln für genau vier Tischtennisbälle gezeichnet werden. Insgesamt haben die 250 Schülerinnen und Schüler 730 Schachteln gezeichnet ($M=2.92$, $SD=0.51$, $n=250$), wobei 13 Lernende mehr als drei Schachteln abgegeben haben. Von den 730 Schachteln waren 66.7% korrekt. Die korrekten Verpackungen konnten 30 verschiedenen Schachteltypen aus 11 Grundformen zugeordnet werden, wobei berücksichtigt werden muss,

dass nicht alle Grundformen gleich viele Schachteltypen zusammenfassen (siehe auch Auswertungsinstrument in Anhang B).

Abbildung 26 gibt einen Überblick über die Häufigkeit der einzelnen Grundformen, wobei eine Grundform jeweils alle verschiedenen möglichen Lagen einer Schachtel im Raum zusammenfasst, also zum Beispiel die liegende und die stehende I-Form (in der Abbildung ist die stehende I-Form abgebildet; siehe dazu auch Kapitel 5.5.1.1).

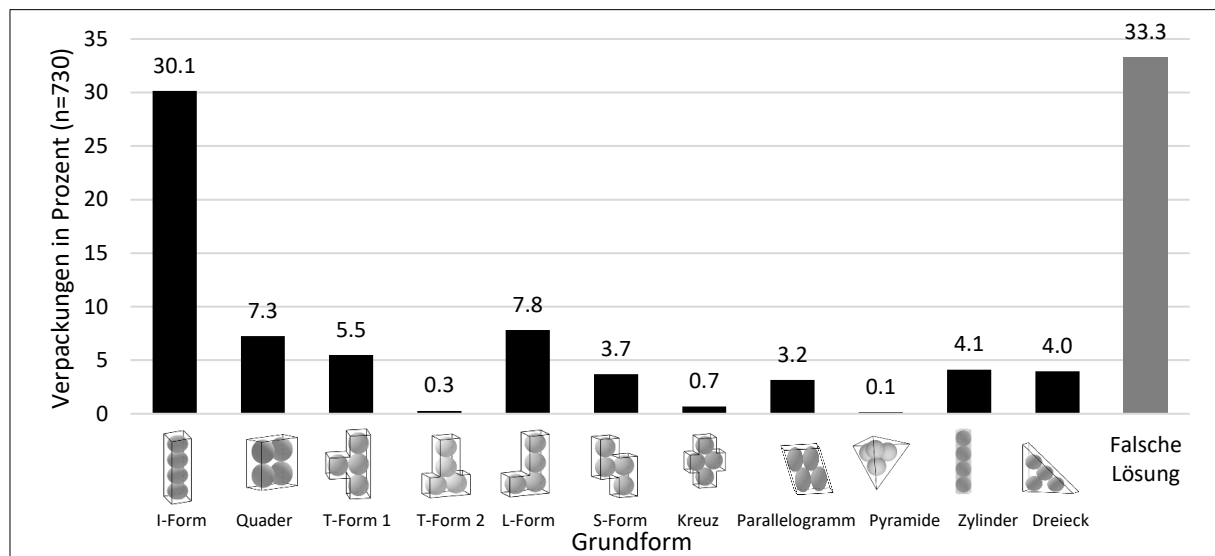


Abb. 26: Schachteltypen in Aufgabe 1 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

Die Schülerinnen und Schüler zeichnen, wie auch 1995 in der TIMSS-Untersuchung (Leibundgut, 1996), vor allem Schachteln in I-Form. Diese machten rund einen Drittel (30.1%) aller bzw. fast die Hälfte der korrekten Lösungen aus (45.2%). Die anderen Grundformen kamen weit weniger häufig vor. Rund ein Drittel der Verpackungen war falsch (grauer Balken). Zu den falschen Lösungen wurde auch die Beispielverpackung (liegender Quader) gezählt, da gemäss der Problemstellung andere Verpackungen erfunden und nicht die vorgegebene, korrekte Beispielverpackung reproduziert werden sollte. Die Beispielverpackung machte 22.2% der falschen Lösungen aus.

Aufgabe 2

Die Lernenden haben in der zweiten Aufgabe insgesamt 677 Faltpläne skizziert, das heisst, für rund 93% der 730 Verpackungen aus Aufgabe 1 wurde ein Faltpfad erstellt. Von den 677 Faltplänen waren 45.5% korrekt. Bei 88.7% der korrekten Faltpläne haben die Lernenden die Grundfläche als Ausgangspunkt gewählt (siehe auch Kapitel 5.5.1.2).

Aufgabe 3

In Aufgabe 3 haben die Lernenden 246 Faltpläne in Originalgrösse gezeichnet, wobei von 68.7% der Faltpläne der Schachteltyp ermittelt werden konnte. Die Faltpläne lassen sich elf Schachteltypen aus zehn verschiedenen Grundformen zuordnen (siehe Abbildung 27).

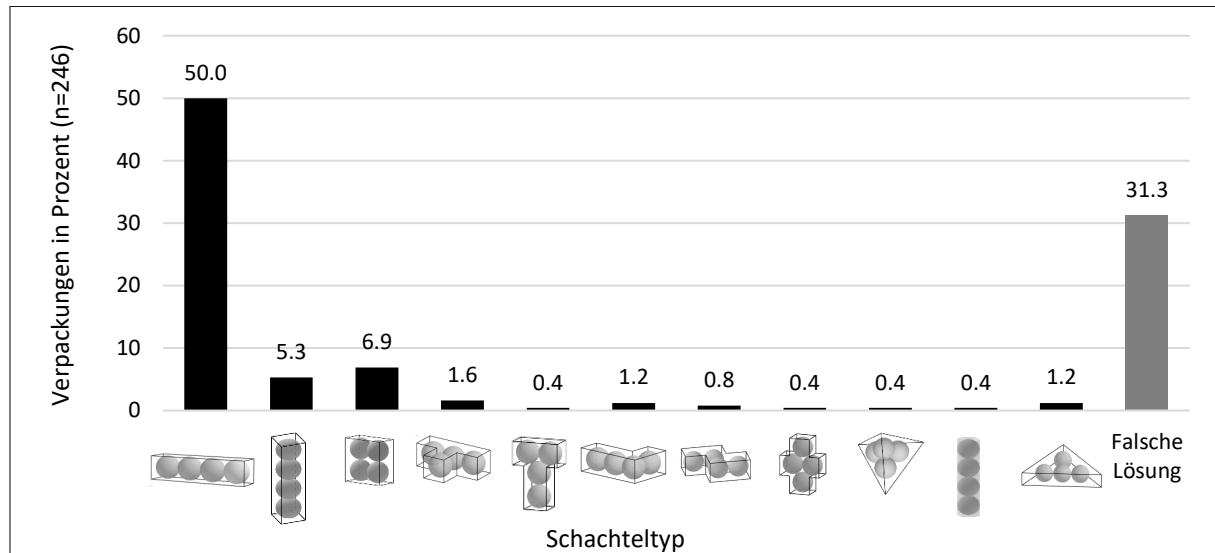


Abb. 27: Schachteltyp in Aufgabe 3 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

Die Hälfte aller massstabgetreuen Faltpläne (50%) wurde für Schachteln der liegenden I-Form gezeichnet. Die stehende Schachtel in I-Form wurde hingegen fast zehn Mal weniger oft gezeichnet. Am zweithäufigsten haben die Schülerinnen und Schüler einen massstabgetreuen Falplan für den Quader hergestellt. Die anderen Verpackungstypen wurden ein- bis viermal in Originalgrösse oder gar nicht gezeichnet.

Aufgabe 4

Für die 730 in Aufgabe 1 entworfenen Schachteln haben die Lernenden für 255 Schachteln die Oberfläche (34.9%) und für 239 Schachteln das Volumen (32.7%) berechnet. Von den 255 Oberflächenberechnungen waren 22.7% korrekt und von den Volumenberechnungen waren 49.4% korrekt. 87.9% bzw. 83.1% der korrekten Berechnungen enthielten einen Lösungsweg.

6.1.1.2 Prozess: Beschreibung des Vorgehens beim Lösen von Problemen (Einzelarbeit)

In diesem Kapitel wird aufgezeigt, wie die Schülerinnen und Schüler ihren Problemlöseprozess konkret beim Lösen des Verpackungsproblems wie auch allgemein beim Lösen von Problemen beschrieben haben (siehe auch Kapitel 5.5.2).

Über welche Vorgehensweisen beim Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) berichten die Schülerinnen und Schüler?

Die Schülerinnen und Schüler haben zur Beschreibung ihres Vorgehens 6 bis 178 Wörter verwendet ($M=69.93$, $SD=35.94$, $n=250$). Die Antworten unterscheiden sich nicht nur in Bezug auf die Ausführlichkeit, sondern auch hinsichtlich des Inhalts.

Drei Lernende (1.2%) haben in ihrer Beschreibung kein bestimmbares Vorgehen beschrieben. Ein Beispiel ist der folgende Junge:

„Ich habe nicht auf den Lösungsweg geachtet. Es ging von ganz allein.“ (C0211)

Da bei diesem Jungen der Problemlöseprozess anscheinend „automatisch“ abgelaufen war, konnte keine konkrete Vorgehensweise bestimmt werden. Bei den restlichen Lernenden konnte mindestens eine Vorgehensweise identifiziert werden. Wie Tabelle 37 zeigt, wurden insgesamt 1116 Vorgehensweisen kodiert ($M=4.52$, $SD=1.76$, $Min=1$, $Max=11$, $n=247$), welche sich 42 verschiedenen Unterkategorien aus allen sieben Oberkategorien zuordnen liessen (siehe auch Kapitel 5.5.2.1).

Tab. 37: Vorkommen Oberkategorien beim selbstberichteten Vorgehen beim Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

Kategorie	<i>n</i>	%
Wahrnehmen und Verstehen des Problems (Phase 1)	109	9.8
Ausdenken eines Plans (Phase 2)	296	26.5
Ausführen des Plans und Durcharbeiten des Problems (Phase 3)	516	46.2
Rückschau und Prüfung der Lösung (Phase 4)	143	12.8
Soziale Ressourcen	2	0.2
Hilfsmittel und Modelle	32	2.9
Motivation, Volition, Emotionen, Konzentration, Pausen	18	1.6
Total	1116	100.0

Wie Tabelle 37 zeigt, lassen sich über 95% der selbstberichteten Vorgehensweisen den ersten vier Oberkategorien, die den vier Problemlösephasen nach Polya entsprechen (siehe Kapitel 3.4), zuordnen.

Fast 10% der kodierten Vorgehensweisen konnten der ersten Problemlösephase „Wahrnehmen und Verstehen des Problems“ zugeordnet werden. Im folgenden Beispiel hatte ein Mädchen die Aufgabenstellung mehrmals durchgelesen, um die Aufgabe gut zu verstehen:

„Zuerst habe ich zweimal die Anleitung durchgelesen. Das 1. Mal zum Sehen, um was es überhaupt geht und das 2. Mal, um zu wissen, was ich genau tun muss. [...]“ (B0306)

Ein Junge hatte die Beispielverpackung zur Hand genommen, um die Aufgabe besser zu verstehen:

„Zuerst habe ich die Beispielverpackung analysiert, um mir ein Bild zu machen, was wir zu tun haben. [...]“ (K0301)

Vorgehensweisen aus der zweiten Problemlösephase „Ausdenken eines Plans“ wurden am zweithäufigsten genannt (siehe Tabelle 37). Hier liessen sich die Vorgehensweisen mit insgesamt 20.4% vor allem der Kategorie „Generierung von Lösungsideen“ zuordnen, welche die Unterkategorien „Lösungsideen/Lösungswege generieren“ und „Bewusste Auswahl von Lösungsverfahren“ beinhaltet. Die folgende Schülerin hat beide Vorgehensweisen beschrieben:

„Ich habe mir als erstes überlegt, was für geometrische Formen möglich sind, um eine Schachtel mit vier Bällen zu konstruieren. Dann habe ich mit den Bällen angefangen zu formen. Die Idee, die mir am besten gefallen hat, skizzierte ich auf das Blatt Papier. [...]“ (C0202)

Gemäss ihren eigenen Angaben hat sich die Schülerin zunächst verschiedene geometrische Formen überlegt, welche sich für eine Schachtel mit vier Tischtennisbällen eignen (Lösungsidee generieren). Ausgewählt und skizziert hat sie letzten Endes diejenige Idee, die ihr am besten gefallen habe (bewusste Auswahl von Lösungsverfahren). Andere Lernende haben beispielsweise die folgenden Begründungen aufgeführt:

„Ich habe mir überlegt, was am besten geht und welche Form nicht so viel Zeit benötigt, sie herzustellen. Ich wollte eine einfache und schnelle Schachtel. [...] Ich habe mich aber für die rechteckige Schachtel entschieden, weil sie am einfachsten ist.“ (E0112)

„[...] Nachdem habe ich mir eine Skizze ausgesucht, welche gut ist, um zu falten. Ich habe dann diese Skizze skizziert und einen Faltplan gemacht. [...]“ (E0416)

„[...] Der zweite Schritt war, mir Gedanken zu machen, wie man so etwas erstellt, damit es möglichst wenig Platz braucht und nicht irgendeine 0815-Schachtel zu bauen. Dann erinnerte ich mich an die modernen Bauwerke, die in sich verdreht sind, damit sie stabiler sind, z.B. das New World Trade Center (New York). Doch zuerst konzipierte ich noch zwei ‚normale‘ Schachteln. [...]“ (D0112)

„Zuerst überlegte ich mir ungefähr drei Formen, die gehen könnten. Die erste Form war ein ganz einfaches Rechteck, dann ein Dreieck und am Schluss noch eine andere Form. Ich entschied mich für das Dreieck, weil dieses eine Herausforderung für mich war. [...]“ (E0204)

Wie in den ersten beiden oben zitierten Aussagen haben mehrere Lernende angegeben, dass sie die einfachste Schachtel ausgewählt hatten. Das Attribut „einfach“ kann sich dabei zum Beispiel auf das Falten beziehen (2. Aussage). In der 3. Aussage sind zwei Gründe enthalten: Der Junge wollte eine Schachtel auswählen, welche möglichst wenig Platz braucht und gleichzeitig etwas Besonderes ist. Auch anderen Lernenden war es wichtig, eine originelle Schachtel zu erfinden. Zwei Lernende haben beschrieben, dass sie sich selbst eine Herausforderung stellen wollten und sich daher für eine in ihren Augen schwierigere Schachtel entschieden hätten (4. Aussage).

Mit 46.2% liessen sich die meisten Aussagen der dritten Problemlösephase „Ausführen des Plans und Durcharbeiten des Problems“ zuordnen (siehe Tabelle 37). Betrachtet man diese Kategorie genauer (siehe Anhang C.2), so zeigt sich, dass hier besonders viele konkrete und aufgabenspezifische Vorgehensweisen genannt wurden: 37.9% der selbstberichteten Vorge-

hensweisen lassen sich den Unterkategorien „Rechnen“, „Messen/Verwenden von Masseinheiten“, „Skizzieren/Zeichnen/Konstruieren“ oder „Modell herstellen“ zuteilen. Insgesamt haben 68.4% der Schülerinnen und Schüler geschrieben, dass sie skizziert, gezeichnet und/oder konstruiert hätten. Des Weiteren hatten 40.4% der Lernenden gemäss Selbstauskunft ein Modell hergestellt, 34.4% der Lernenden hatten gemessen und 26% hatten gerechnet. Im Folgenden werden die Beschreibungen von zwei Jungen dargestellt, die beide in ihren Beschreibungen alle vier Vorgehensweisen genannt haben:

„Zuerst habe ich die andere Schachtel gemessen und ausgerechnet, wie viel Platz ein Tischtennisball braucht. Danach habe ich mir überlegt, welche anderen Möglichkeiten es noch gibt. Diese habe ich gezeichnet. Danach habe ich es ausgeschnitten und das Volumen und die Oberfläche ausgerechnet. Dann war ich fertig.“ (J0603)

„Ich habe die Aufgaben zuerst durchgelesen. Anschliessend habe ich die Schachtel ausgemessen und drei andere gezeichnet. Ich habe mich für eine entschieden und sie dann auf das blaue Papier übertragen. Als ich sie ausgeschnitten hatte, klebte ich sie mit Klebstreifen zusammen. Am Ende habe ich noch die Fläche (A) ausgerechnet.“ (K0411)

Der letzten Phasen „Rückschau und Prüfung der Lösung“ liessen sich 12.8% der Vorgehensweisen zuordnen (siehe Tabelle 37). Insgesamt hatten 54.8% der Lernenden gemäss ihren eigenen Aussagen den Problemlösevorgang und/oder die Lösung kontrolliert, bewertet und/oder evaluiert. Beschrieben wurde dieser Schritt entweder eher allgemein oder sonst sehr konkret und anschaulich, wie dies das folgende Beispiel eines Jungen zeigt:

„[...] Danach habe ich probiert, ob die Bälle reinpassen. Die Bälle haben perfekt Platz.“ (J0505)

Der Junge hatte also handelnd kontrolliert, ob die massstabgetreue Schachtel passend war. 10% der Lernenden hatten ihr Vorgehen auch während des Lösens kontrolliert. Ein Beispiel ist der folgende Junge:

„Ich las alles genau durch, studierte die erste Seite genauer und fing mit der ersten Aufgabe an. Ich las die noch einmal durch, schaute als Kontrolle wieder auf die erste Seite, machte mir Gedanken über die erste Form, die ich zeichnen sollte, und als ich eine Idee hatte, zeichnete ich die sofort. [...]“ (B0304)

In der Beschreibung des Jungen wird ersichtlich, dass er während des Lösens mindestens einmal zur Kontrolle auf die erste Seite mit den Hinweisen und Angaben zurückgeblättert hatte. Eine Schülerin hielt ebenfalls fest, dass sie während des Lösens bereits „alles genau durchstudiert“ habe, und gab auch gleich den Grund dafür an, wieso sie ihre Arbeitsschritte kontrolliert hatte:

„[...] Nachdem nun auch das gemacht war, habe ich nochmal alles genau durchstudiert, ob die Bälle eng oder weit auseinander sein werden, weil wenn ich drauflos geschnitten hätte, hätte ich einen Fehler machen können und hätte wieder von vorne beginnen müssen. [...]“ (G0104)

Neben Vorgehensweisen, welche den vier Problemlösestufen zugeordnet werden können, konnten in den Berichten der Schülerinnen und Schüler auch weitere Vorgehensweisen identifiziert werden (siehe die drei untersten Kategorien in Tabelle 37). Der Einbezug sozialer Ressourcen als Vorgehensweise beim Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) wurden kaum beschrieben, da das Problem allein gelöst werden musste. Trotzdem hatten einige Lernende die Testleitung um Hilfe gebeten; diese durften jedoch nicht helfen. Der Oberkategorie „Hilfsmittel und Modelle“ wurden 2.9% der Vorgehensweisen zugeordnet (siehe Tabelle 37). So hatten sich 31 Lernende explizit an die Anweisungen gehalten und die Beispiele befolgt. Des Weiteren konnten 1.6% der selbstberichteten Vorgehensweisen der Oberkategorie „Motivation, Volition, Emotionen, Konzentration oder Pausen“ zugeteilt werden (siehe Tabelle 37). Fünf Lernende haben beispielsweise beschrieben, dass sie beim Lösen der Aufgabe konzentriert vorgegangen seien. Ebendies beschrieb der folgende Junge:

„[...] Beim Lösen der Aufgaben probierte ich, möglichst konzentriert zu bleiben und keine Flüchtigkeitsfehler zu machen. [...]“ (J0605)

Nennen die Schülerinnen und Schüler bei der Beschreibung des Lösens der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) vollständige Problemlöseprozesse?

Untersucht werden sollte nicht nur, über welche Vorgehensweisen beim Bearbeiten des Verpackungsproblems die Lernenden berichtet hatten, sondern auch, wie diese Vorgehensweisen im Sinn eines vollständigen Problemlöseprozesses aufeinander aufbauten. Tabelle 38 lässt sich entnehmen, ob sich die genannten Vorgehensweisen, die einer Phase des Problemlöseprozesses zugeordnet werden konnten (siehe Kategorien 1 bis 4), auf aufeinanderfolgende Problemlösephasen bezogen oder ob die Schülerinnen und Schüler die Phasen in beliebiger Reihenfolge genannt hatten (siehe Kapitel 3.4).

Tab. 38: Abfolge der Problemlösephasen beim selbstberichteten Vorgehen bei der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

	Keine Phase	1 Phase	2 Phasen	3 Phasen	4 Phasen	Summe
	%	%	%	%	%	%
Keine Phase genannt	1.6					1.6
Eine Phase genannt		6.4				6.4
Direkte Abfolge (aufbauend)			24.0	24.0	4.4	52.4
Nicht direkte Abfolge (aufbauend mit Lücke)			4.8	3.6		8.4
Durcheinander („wild goose chase“)			6.0	16.0	9.2	31.2
Summe	1.6	6.4	34.8	43.6	13.6	100.0

Anmerkung. N=250.

Die meisten Lernenden berichteten über Vorgehensweisen aus drei verschiedenen Problemlösephasen (43.6%), wobei die drei Phasen in den meisten Beschreibungen direkt aufeinander aufbauten (24.0%). Am zweithäufigsten liessen sich zwei Phasen identifizieren (34.8%), wobei diese zum grössten Teil aufeinander folgten, also beispielsweise zuerst Ausdenken und danach Ausführen eines Plans (24.0%). 13.6% der Lernenden berichteten über Vorgehensweisen aus allen vier Problemlösephasen. Diese bauten jedoch nur bei 4.4% der Lernenden aufeinander auf. Eine Schülerin beschrieb einen vollständigen Problemlöseprozess beispielsweise wie folgt:

„Ich habe mir zuerst die Aufgabe durchgelesen, anschliessend kurz überlegt, wie ich vorgehen will, danach habe ich es gelöst und zum Schluss nochmals überprüft, ob das Resultat richtig sein kann.“
(F0217)

Die Beschreibung ist kurz und prägnant, in der Beschreibung wird jedoch nicht ersichtlich, wie die Schülerin die Aufgabe genau gelöst und am Schluss das Resultat überprüft hat. Ausführlicher und konkreter hat eine andere Schülerin ihr Vorgehen beschrieben:

„Als erstes habe ich überlegt, wie ich die Bälle noch anders anordnen könnte, ausser wie sie in der Schachtel sind. Danach habe ich mir die Schachteln um die Bälle herum vorgestellt und begonnen sie aufzuzeichnen. Als ich das gemacht hatte, überlegte ich nur noch, wie ich die Seiten runterklappe. Dann zeichnete ich den Faltplan. Bevor ich den massstabgetreuen Faltplan einer Schachtel zeichnete, musste ich die Schachtel, die wir bekommen hatten, ausmessen. Beim Oberflächen- und Volumenberechnen schaute ich einfach die Faltpläne, die ich gezeichnet hatte an und begann zu rechnen.“ (D0108)

Die Schülerin ging in ihrer Beschreibung auf die vier verschiedenen Aufgaben ein und beschrieb jeweils, was sie gemacht hat. Beispielsweise hatte sie sich zum Zeichnen der Faltpläne in Aufgabe 2 die in Aufgabe 1 gezeichneten Schachteln vorgestellt. Betrachtet man ihre Aussage unter dem Aspekt eines vollständigen Problemlöseprozesses, zeigt sich aber, dass der Rückblick fehlt.

Über welche Vorgehensweisen beim Lösen eines Problems berichten die Schülerinnen und Schüler?

Zusätzlich zum Vorgehen beim Lösen des Verpackungsproblems wurden die Schülerinnen und Schüler im Reflexionsinstrument zu ihrem allgemeinen Problemlöseprozess befragt (siehe auch Kapitel 5.4.2). Die 250 Lernenden hatten ihre Vorgehensweise beim Lösen von Problemen im Allgemeinen durchschnittlich halb so lang beschrieben wie ihr Vorgehen beim Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit). Zwei Lernende hatten die Frage nicht beantwortet, die restlichen 248 Lernenden hatten ihre Vorgehensweisen mit 1 bis 116 Wörtern beschrieben ($M = 34.19$, $SD = 21.35$, $n = 248$). Bei fünf Lernenden (2.0%) konnte keine Vor-

gehensweise bestimmt werden und sechs Lernende (2.4%) hatten sich auf einen anderen Kontext bezogen (z.B. auf persönliche Probleme und nicht auf Probleme im Sinne von Problemlöseaufgaben). Insgesamt konnten bei 237 Lernenden 832 Vorgehensweisen identifiziert werden ($M=3.51$, $SD=1.70$, $Min=1$, $Max=9$, $n=237$). Dabei liessen sich 60 verschiedene Vorgehensweisen unterscheiden. In Tabelle 39 wird analog zu Tabelle 37 aufgezeigt, welchen Oberkategorien die selbstberichteten Vorgehensweisen zugeordnet werden konnten.

Tab. 39: Vorkommen Oberkategorien beim selbstberichteten Vorgehen beim allgemeinen Lösen von Problemen

Kategorie	<i>n</i>	%
Wahrnehmen und Verstehen des Problems (Phase 1)	259	31.1
Ausdenken eines Plans (Phase 2)	157	18.9
Ausführen des Plans und Durcharbeiten des Problems (Phase 3)	167	20.1
Rückschau und Prüfung der Lösung (Phase 4)	21	2.5
Soziale Ressourcen	160	19.2
Hilfsmittel und Modelle	40	4.8
Motivation, Volition, Emotionen, Konzentration, Pausen	28	3.4
Total	832	100.0

Am meisten, nämlich fast ein Drittel der beschriebenen Vorgehensweisen liessen sich der ersten Oberkategorie „Wahrnehmen und Verstehen des Problems“ zuteilen (31.1%). Hier berichten die Lernenden, dass sie sich zunächst mit dem Problem auseinandersetzen würden und es verstehen müssten. Im folgenden Beispiel geschieht diese Auseinandersetzung sehr gründlich:

„Als Allererstes lese ich die Aufgabe ganz genau durch. Da muss ich es ein paarmal durchlesen, bis ich ein Bild bekomme. Dann lese ich es nochmals durch und mache mir nebendran einige Notizen. Danach muss ich herausfinden, was das Problem ist und wenn ich es weiss, dann fange ich an, das Problem zu lösen. [...]“ (F0116)

Jeweils rund 20% der Vorgehensweisen konnten dem Ausdenken und dem Ausführen eines Plans zugeteilt werden (siehe Tabelle 39). Beim Ausdenken eines Plans greifen viele Lernende auf ihr Vorwissen zurück und versuchen sich an ähnliche Probleme zu erinnern. Dieses Vorgehen beschrieb auch das folgende Mädchen:

„Zuerst überlege ich mir, ob ich zuvor schon mal ein ähnliches Problem hatte. Wenn ich realisiere, dass es so ist, wende ich die gleiche Methode wieder an. [...]“ (A0210)

Die Phase des Ausführens des Plans und des Durcharbeitens des Problems wurde von den Schülerinnen und Schülern mit eher allgemeinen Vorgehensweisen beschrieben, wie zum Beispiel „Lösen“, „Nachdenken“ oder „Ausprobieren“. Unterschiede bestehen darin, wie systematisch oder sorgfältig die Lernenden ihr Vorgehen beschrieben hatten:

„Ich probiere verschiedene Wege. Wenn einer funktioniert, dann hatte ich Glück. Wenn aber keiner geht, muss ich ganz genau nachdenken. [...]“ (E0112)

„[...] Dann versuche ich den Weg zu lösen. Dabei lese ich immer wieder die Aufgabe, um sicher zu gehen, dass ich nichts falsch mache. [...]“ (E0106)

Die Schülerin im ersten Beispiel probiert anscheinend eher unsystematisch verschiedene Wege aus und mit etwas „Glück“ findet sie so die richtige Lösung. Ein anderes Mädchen aus der gleichen Klasse hingegen geht sorgfältiger und systematischer an das Problem heran und kontrolliert während des Lösens immer wieder, ob es das Richtige macht (Monitoring). Darüber, dass sie ihre Lösung am Schluss auch kontrollieren, berichteten die Lernenden eher selten. Insgesamt konnten nur 2.5% der beschriebenen Vorgehensweisen der Kontrolle und der Überprüfung der Lösung zugeteilt werden (siehe Tabelle 39). Oftmals wurde die Kontrolle sehr allgemein und kurz beschrieben, wie dies der folgende Junge getan hat:

„[...] Am Schluss der Aufgabe kontrolliere ich, ob ich noch Fehler gemacht habe.“ (I0104)

Etwas ausführlicher beschrieb eine Schülerin ihr Vorgehen nach dem Lösen eines Problems sowie ihren Umgang bei Fehlern:

„[...] Wenn die Aufgabe zu einfach war, weiss ich, dass es meistens nicht stimmt. Ich gehe so vor: Zuerst schaue ich, bis wo die Lösung stimmt. Danach: Wo ist der Fehler? Habe ich was falsch ausgerechnet oder geschrieben?“ (A0216)

Die Schülerin versucht herauszufinden, wo ihr ein Fehler unterlaufen ist, und geht in ihren Arbeitsschritten nur so weit wie nötig zurück. Andere Lernende suchen von Beginn an verschiedene Lösungen, um diese gegeneinander abzuwägen und schliesslich die beste Lösung auszuwählen:

„[...] Komme ich auf eine Lösung, die man in Betracht ziehen könnte, suche ich noch nach einer zweiten Lösung (wenn vorhanden) und vergleiche dann beide Lösungen miteinander. Die Lösung, welche mir am logischsten erscheint, wähle ich dann als definitive Lösung.“ (F0120)

Im Gegensatz zum selbstbeschriebenen Vorgehen beim Lösen des Verpackungsproblems kamen bei der Beschreibung des allgemeinen Vorgehens die Oberkategorien „Soziale Ressourcen“ (19.2%) und „Hilfsmittel und Modelle“ (4.8%) viel häufiger vor, was auch das folgende Beispiel zeigt:

„Ich informiere mich selber. Im Internet oder in Büchern. Das klappte meistens und falls nicht, gehe ich zu meinen Freunden. Wenn sie mir nicht weiterhelfen können, gehe ich zu meinem älteren Bruder, Vater oder Mutter. Oder ich gehe noch vorher zu einer Lehrperson.“ (E0104)

Dieser Schüler nutzt bei Problemen materielle und soziale Ressourcen. Auch der folgende Ausschnitt aus dem selbstberichteten Vorgehen eines anderen Jungen zeigt auf, dass soziale Ressourcen beim Problemlösen sehr wichtig sein können:

„[...] im Deutsch frage ich meine Cousine, weil sie gut ist. In Mathe die Lehrerin oder meinen Vater. Im Französisch kann ich meine Nachbarn fragen, weil sie Französisch sprechen. [...]“ (I0103)

Dieser Junge beschrieb zudem sehr genau, bei welchen Problemen er welche Personen aus welchem Grund um Hilfe bittet. Er scheint genau zu wissen, wo er die benötigte Hilfe erhält.

Wie beim Lösen des Verpackungsproblems beschrieben die Schülerinnen und Schüler auch beim allgemeinen Vorgehen weniger Vorgehensweisen, welche den Kategorien „Hilfsmittel und Modelle“ oder „Motivation, Volition, Emotionen, Konzentration, Pausen“ zugeteilt werden konnten (siehe Tabelle 39). Bei den Hilfsmitteln nannten die Lernenden vor allem das Internet und Computer (1.8%), Bücher hingegen wurden viel seltener genannt (0.5%). Nur vereinzelt berichteten die Lernenden über ihre Motivation oder ihre Emotionen.

Nennen die Schülerinnen und Schüler bei der Beschreibung des Lösens eines Problems vollständige Problemlöseprozesse?

Wie beim selbstberichteten Vorgehen beim Verpackungsproblem interessierte bei dieser Analyse die Vollständigkeit der Problemlöseprozesse. Tabelle 40 zeigt wie in Tabelle 38 auf, ob die genannten Vorgehensweisen, die einer Phase des Problemlöseprozesses zugeordnet werden konnten (siehe Kategorien 1 bis 4 in Tabelle 39), aufeinander aufbauen.

Tab. 40: Abfolge der Problemlösephasen beim selbstberichteten Vorgehen beim allgemeinen Lösen von Problemen

	Keine Phase	1 Phase	2 Phasen	3 Phasen	4 Phasen	Summe
	%	%	%	%	%	%
Keine Phase genannt	10.8					10.8
Eine Phase genannt		29.6				29.6
Direkte Abfolge (aufbauend)			14.8	5.6	1.2	21.6
Nicht direkte Abfolge (aufbauend mit Lücke)			15.2	2.0		17.2
Durcheinander („wild goose chase“)			12.0	6.8	2.0	20.8
Summe	10.8	29.6	42.0	14.4	3.2	100.0

Anmerkung. N=250.

Betrachtet man die Abfolge der Problemlösephasen, so lässt sich zunächst feststellen, dass 10.8% der Lernenden keine Vorgehensweise beschrieben haben, welche sich einer der vier Phasen zuordnen lässt (siehe Kapitel 3.4). Diese Lernenden nannten zum Beispiel nur Vorgehensweisen aus den Kategorien „Soziale Ressourcen“ oder „Hilfsmittel und Modelle“ (siehe Tabelle 39). Überdies zeigt Tabelle 40, dass fast ein Drittel der Schülerinnen und Schüler Vorgehensweisen aus nur einer Phase beschrieben hat (29.6%). 1.2% der Lernenden haben über Vorgehensweisen aus allen vier Phasen berichtet und dies in einer aufbauenden Reihenfolge. Zur Illustration werden im Folgenden wiederum Beispiele aus den Antworten der Schülerinnen und Schüler aufgeführt. Das erste Beispiel stammt von einem Jungen, der einen vollständigen Problemlöseprozess beschrieb. Zudem berichtete er am Schluss, dass er bei Fragen und Problemen seine Lehrperson oder seine Mitlernenden um Hilfe bitte (soziale Ressource):

„Zuerst lese ich die Aufgabe zweimal durch. Danach überlege ich mir, wie man die Aufgabe lösen könnte. Sobald ich das gemacht habe, mache ich meine ersten Arbeitsschritte. Wenn ich merke, dass die Lösung nicht stimmen kann oder die Lösung falsch ist, kontrolliere ich meine Arbeitsschritte und wenn das auch nicht hilft, frage ich die Lehrerin oder den Pultnachbarn.“ (J0306)

Das nächste Beispiel steht für einen unvollständigen Problemlöseprozess, da dieser Junge nur den Anfang des Prozesses beschrieb:

„Ich versuche Details zu suchen. Ich versuche alles genau durchzulesen. Ich lese die Knobelaufgabe mehrmals durch. Ich streiche die wichtigsten Informationen aus dem Text an und schreibe diese auf. Wenn ich gar nichts verstehe, wende ich mich an eine Person.“ (B0305)

Der Schüler beschrieb konkret weder die Ausführung des Plans noch die Kontrolle der Lösung am Schluss, dafür erläuterte er sehr ausführlich, wie er ein Problem in Angriff nehme. Auch das Ausdenken des Plans wurde kaum angesprochen. Dafür berichtete der Junge, dass er sich bei Problemen an andere Personen wende.

6.1.2 Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen gemeinsam das Problem „Verpackungen“?

In diesem Kapitel wird dargestellt, wie Dreiergruppen gemeinsam ein auf dem allein zu lösenden Verpackungsproblem aufbauendes Problem lösten (siehe Kapitel 5.4.3). Dabei interessiert einerseits, welche Lösungen sie erzielten (Kapitel 6.1.2.1), und andererseits, wie der gemeinsame Problemlöseprozess aussah (Kapitel 6.1.2.2).

6.1.2.1 Produkt: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

Im Folgenden werden die Ergebnisse zu den verschiedenen Fragestellungen zum Produkt beim gemeinsamen Problemlösen dargestellt (siehe auch Kapitel 5.5.3.1).

Wie erfolgreich lösen die Gruppen die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)?

In der ersten Aufgabe mussten die Schülerinnen und Schüler möglichst viele Verpackungen für genau vier Tischtennisbälle finden. Die 91 Gruppen haben insgesamt 1071 Verpackungen gezeichnet ($M=11.78$, $SD=4.11$, $Min=1$, $Max=20$, $n=91$). Davon waren 65.3% korrekt, das heisst, durchschnittlich hat jede Gruppe rund acht korrekte Schachteln abgegeben ($M=7.68$, $SD=2.84$, $Min=1$, $Max=17$, $n=91$). Insgesamt haben drei Gruppen die Vorgabe erfüllt und mindestens 15 korrekte Verpackungen gezeichnet.

In Aufgabe 2 mussten die Lernenden die in ihren Augen beste Schachtel auswählen. Drei Gruppen haben bei dieser Aufgabe keine Schachtel ausgewählt. Von den 88 verbleibenden Gruppen haben 80 Gruppen (90.9%) eine korrekte Schachtel als die beste Schachtel angegeben.

Welche Lösungen erzielen die Gruppen in den verschiedenen Aufgaben der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)?

Im Folgenden werden die konkreten Lösungen der Gruppen für die beiden Aufgaben einzeln dargestellt. Dabei wird jeweils von der effektiven Anzahl der Lösungen ausgegangen, das heisst von der Anzahl Lösungen, welche abgegeben wurden.

Aufgabe 1

Die 699 korrekten Verpackungen konnten 43 verschiedenen Schachteltypen aus 14 Grundformen zugeordnet werden, wobei innerhalb einer Grundform mehrere korrekte Schachteln möglich waren, sofern sich diese bezüglich der Lage voneinander unterschieden. Abbildung 28 gibt einen Überblick über die Häufigkeit der einzelnen Grundformen.

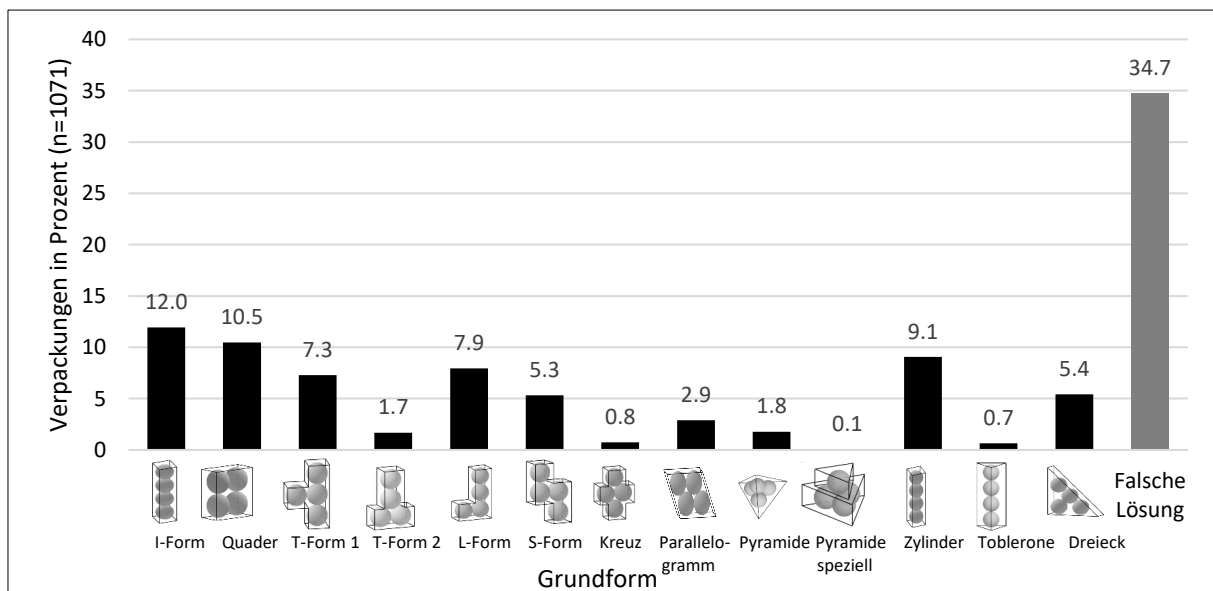


Abb. 28: Schachteltypen in Aufgabe 1 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

Am häufigsten wurden Schachteln in I-Form (12.0%) gezeichnet. 10.5% der gezeichneten Schachteln liegen in Form eines Quaders vor, wobei hier die Beispielverpackung als korrekt kodiert wurde, da sie zu den über 15 möglichen Schachteln zählte. Alle anderen Formen machen weniger als 10% aus.

Aufgabe 2

In Abbildung 29 ist dargestellt, welche Schachteln die Gruppen als die in ihren Augen beste Verpackung ausgewählt hatten (schwarze Säulen).

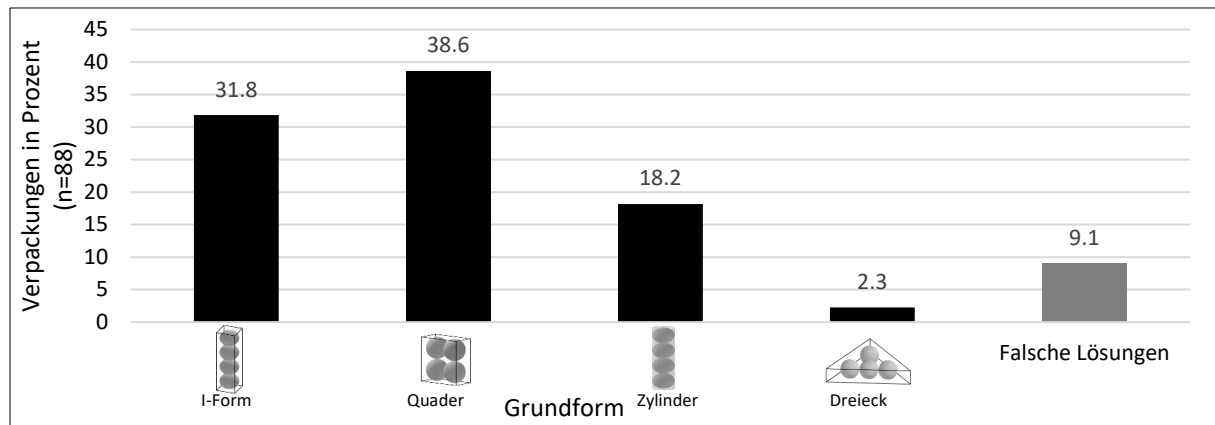


Abb. 29: Schachteltyp in Aufgabe 2 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

Es wurden Schachteln aus vier unterschiedlichen Grundformen als beste Schachtel bestimmt. 38.6% der Gruppen hatten den stehenden oder liegenden Quader, 31.8% die stehende oder liegende I-Form und 18.2% den hohen oder tiefen Zylinder als beste Schachtel ausgewählt. Für das Dreieck hatte sich nur eine Gruppe entschieden.

6.1.2.2 Prozess: Gespräche während des Problemlösens (Gruppenarbeit)

Die Gespräche während des gemeinsamen Problemlösens wurden von elf Dreiergruppen videografiert und vertieft ausgewertet (siehe Kapitel 5.5.3.2). Zunächst wurde untersucht, wie die Lernenden die Zeit zum Gespräch genutzt hatten. Im Anschluss daran wurden die interaktive, die fachlich-inhaltliche sowie die regulative Qualität der Gespräche betrachtet (siehe auch Kapitel 3.6.4).

Wie sind die Gespräche beim Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit) organisiert?

Aufgabe 1

Für die erste Aufgabe, bei welcher möglichst viele Verpackungen für vier Tischtennisbälle gefunden werden sollten (siehe Kapitel 5.4.3), erhielten die Schülerinnen und Schüler 10 Minuten Zeit. Abbildung 30 zeigt, wie viel der Sprechzeit die jeweiligen Schülerinnen und Schüler (S1, S2 und S3) für Gespräche über die Aufgabe (Talk-on-Task) bzw. für Gespräche über etwas anderes (Talk-off-Task) verwendet hatten und wie lange die Gruppen bei der Bearbeitung der Problemlöseaufgabe insgesamt nicht gesprochen hatten (siehe auch Anhang C.3). Die Person mit der höchsten Sprechzeit der Gruppe ist in der Abbildung jeweils S1, die Person mit der tiefsten Sprechzeit ist S3.

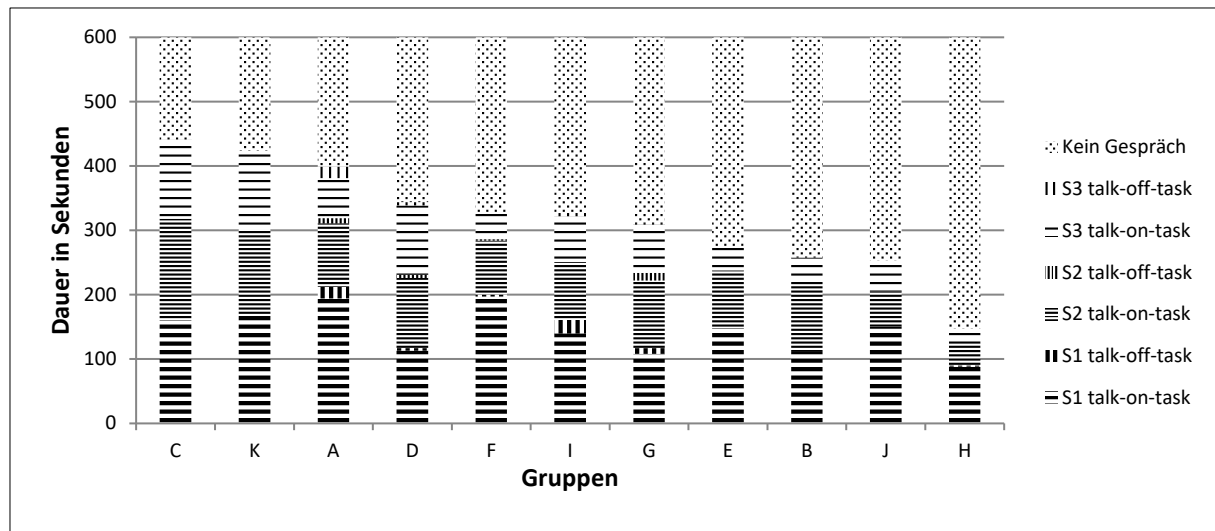
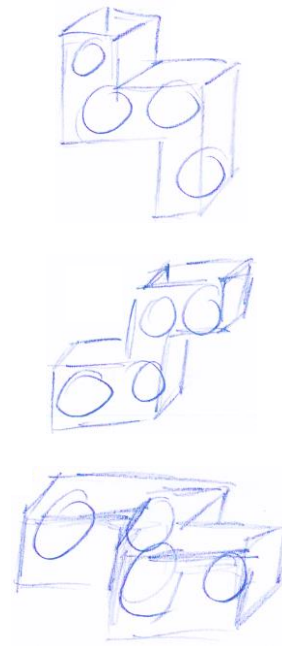


Abb. 30: Sprechzeit in Aufgabe 1 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit) pro Schülerin/Schüler (S)

Wie aus Abbildung 30 hervorgeht, unterschieden sich die Gespräche in der Länge. Durchschnittlich sprachen die Schülerinnen und Schüler etwas mehr als sechs Minuten miteinander ($M=365.27$, $SD=110.80$, $n=11$). Gruppe C sprach am meisten, nämlich während annähernd drei Vierteln der vorgegebenen Zeit (73.5%). Umgekehrt verhielt es sich bei Gruppe H: Hier fanden während etwas mehr als drei Vierteln der Zeit keine Gespräche statt (75.5%). Weitere Unterschiede zwischen den Gruppen finden sich in der Dauer, in der über die Aufgabe bzw. über etwas anderes gesprochen wurde. Fünf Gruppen sprachen ausschliesslich über die Aufgabe (C, K, E, B, J). Die restlichen Gruppen hingegen sprachen auch über andere Inhalte. Gruppe A tat dies während mehr als eines Zehntels der gesamten Sprechzeit (11%).

Abbildung 30 zeigt weiter, dass innerhalb der Gruppen grosse Unterschiede bezüglich der Gesprächsbeteiligung der einzelnen Schülerinnen und Schüler bestanden. In fünf Gruppen (A, F, E, J, H) sprach eine Person (jeweils S1) mehr als die Hälfte der gesamten Sprechzeit. Dies muss jedoch nicht bedeuten, dass die anderen Lernenden weniger zur Lösung beigetragen haben. Einzelne Gruppen hatten sich beispielsweise so organisiert, dass eine Person die Schachteln zeichnete und die restlichen Gruppenmitglieder diese im Gespräch entwickelten. Diese Arbeitsaufteilung ist im folgenden Ausschnitt aus dem Transkript des Gesprächs von Gruppe E beobachtbar: Schülerin 3 (S3) zeichnete alle Schachteln und hatte dadurch einen relativ tiefen Sprechanteil. Schülerin 1 (S1) hingegen sprach sehr viel und generierte mit Schüler 2 (S2) die meisten Ideen.

- 02:41 S2 So kann man auch noch eines machen. Zwei, zwei. So.
 02:44 S1 So?
 02:45 S2 Mhh, so. Ist wie ein S eigentlich so.
 02:47 S1 Ja, das stimmt. Wie ein S kann man es machen.
 02:49 S3 Ah.
 02:53 S1 Dann das S kann man auf, auf drei verschiedene Arten machen.
 02:57 S1 Zeichne es einmal so!
 03:00 S3 Ist es jetzt so, dass es steht?
 03:01 S2 Ja, genau.
 03:02 S1 Also nein, so, dass es liegt.
 03:05 S1 Aber du kannst es auch so machen, dass es steht, wenn du schon so begonnen hast.
 03:09 S3 Ja.
 03:12 S1 Dann haben wir's so.
 03:30 S3 Ja.
 03:30 S2 Ja.
 03:31 S1 Dann kann man ein liegendes S machen.
 03:38 S1 Und so ein stehendes [S].



In anderen Gruppen, wie beispielsweise Gruppe B, dominierten zwei Personen. Hier waren es vor allem die beiden Jungen (S1, S2), die miteinander die Aufgabe lösten, während das Mädchen (S3) nur wenig sprach. In Gruppe D war die Gesprächszeit hingegen gleichmässig auf die drei Personen verteilt. Ebenfalls relativ ausgewogen war die Gesprächsverteilung in den Gruppen C und K.

Aufgabe 2

Im Gegensatz zu Aufgabe 1, bei der die Gruppen die festgelegte Bearbeitungszeit vollständig in Anspruch genommen hatten, haben sie bei der zweiten Aufgabe unterschiedlich lange nach der in ihren Augen besten Verpackung gesucht und somit die zur Verfügung gestellten 10 Minuten verschieden ausgiebig genutzt: Durchschnittlich haben die Lernenden Aufgabe 2 während fast 6 Minuten bearbeitet ($M=352.36$, $SD=145.68$, $n=11$). Bei Gruppe G hat die Suche nur knapp 3 Minuten gedauert, während die Gruppen I und H die gesamten 10 Minuten für die Suche nach der besten Verpackung eingesetzt haben (siehe Abbildung 31).

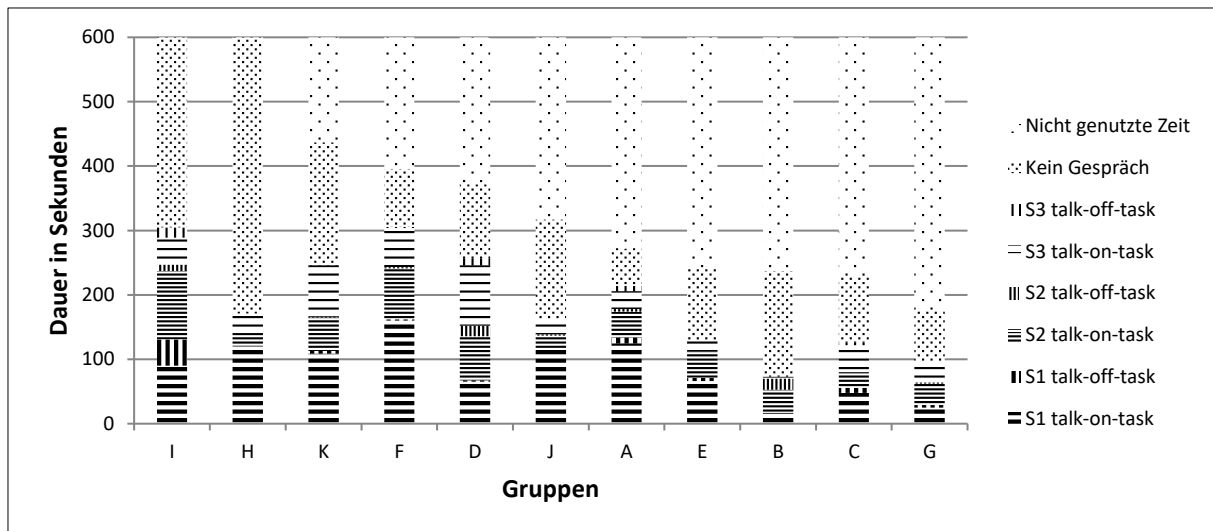


Abb. 31: Sprechzeit in Aufgabe 2 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit) pro Schülerin/Schüler (S)

Wie bei Aufgabe 1 haben die Gruppen die Zeit unterschiedlich intensiv für das Gespräch genutzt. Durchschnittlich haben die Gruppen während rund der Hälfte der effektiven Bearbeitungszeit miteinander gesprochen ($M=189.45$, $SD=81.50$, $n=11$). Zwei Gruppen (F, A) haben sogar während mehr als drei Vierteln der Bearbeitungszeit miteinander verbal kommuniziert (78.7% bzw. 77.3%). Gruppe H hat wie in Aufgabe 1 die Zeit am wenigsten zum Diskutieren genutzt und nur während 28.5% der Zeit gesprochen. Mit einer Ausnahme (Gruppe H) haben sich alle Gruppen auch über aufgabenfremde Themen ausgetauscht. In den Gruppen I und B machte der Talk-off-Task über einen Fünftel der Sprechzeit aus.

Wie aus Abbildung 31 weiter hervorgeht, dominierten bei Aufgabe 2 einzelne Schülerinnen und Schüler noch stärker als bei Aufgabe 1. In den Gruppen J, B und H bestritt jeweils eine Person (S1; bei Gruppe B S2, d.h. in Aufgabe 1 hatte eine andere Person mehr gesprochen als S2) mehr als 70% des Gesprächs. Nur in Gruppe D war, wie schon bei Aufgabe 1, der Gesprächsanteil der drei Lernenden weitgehend ausgewogen.

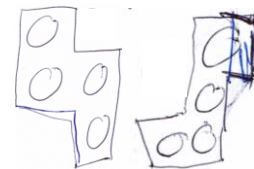
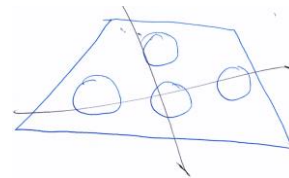
Insgesamt bestanden zwischen den Gruppen zum Teil erhebliche Unterschiede in Bezug darauf, wie die Zeit genutzt wurde, und auch innerhalb der Gruppen war die Sprechzeit unterschiedlich verteilt. Wie lange die Lernenden bei der Bearbeitung der Problemlöseaufgabe miteinander sprachen, sagt jedoch noch nichts darüber aus, wie gut sie miteinander interagierten und wie qualitativ ihre Gespräche waren (siehe auch Kapitel 3.6.4). Deshalb wurden die Gespräche zusätzlich bezüglich der interaktiven, fachlichen und inhaltsbezogenen Qualität genauer untersucht (siehe Kapitel 5.5.3.2).

Welchem Gesprächstyp nach Mercer (1995, 1996) lassen sich die Gespräche zuordnen?

Die Gespräche der videografierten Dreiergruppen während des gemeinsamen Lösens der Problemlöseaufgabe unterscheiden sich hinsichtlich der interaktiven Gesprächsqualität kaum voneinander. Bis auf je ein Gespräch konnten alle Gruppengespräche in jeweils beiden Aufgaben dem Cumulative Talk zugeordnet werden. Bei Aufgabe 1 wurde das Gespräch von Gruppe C als Exploratory Talk eingeschätzt. Bei Aufgabe 2 wurde hingegen das Gespräch von Gruppe F als Exploratory Talk bewertet.

Zur Illustration der verschiedenen Gesprächstypen werden im Folgenden Transkriptausschnitte aus den Gesprächen zu Aufgabe 1 abgedruckt. Der erste Transkriptausschnitt stammt von Gruppe K. Insgesamt wurde das Gespräch als Cumulativ Talk eingeschätzt, obwohl es, wie der folgende Transkriptausschnitt zeigt, auch Merkmale eines Disputational Talks aufweist.

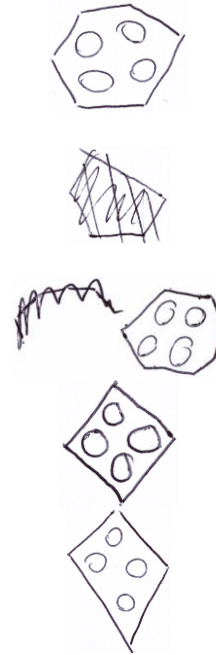
- 09:46 S3 Gib, gib, gib! Ich habe [eine] Idee, ich habe [eine] Idee, ich habe [eine] Idee! So, ähnlich wie das da hier irgendwie. [Schüler reisst Aufgabenblatt an sich und zeichnet.]
- 09:55 S3 So. So, so und so.
- 09:59 S2 Aber sie kleben nicht aneinander!
- 10:02 S3 Wenn man sie vergrößert, dann passt es ja. Oder nicht?
- 10:04 S2 Nein.
- 10:06 S3 Da passen die Bälle da.
- 10:08 S2 [Streicht die Skizze von S3 durch.]
- 10:09 S3 Das geht, Alter!
- 10:11 S2 Das geht nicht!
- 10:12 S3 Schau! Halt den Mund! Schau dies, du hast selber so ein paar behinderte Ideen. Das! Du musst es selber wissen, das und das ist ja gleich, Alter. Streich das jetzt durch, Alter. Willst du mich verarschen?
- 10:20 S2 Weil das ist immer noch nicht gleich.
- 10:22 S3 Das und das ist gleich!



In diesem Gesprächsausschnitt werden Behauptungen (10:09) und Gegenbehauptungen (10:11) aufgestellt. Die Aussagen werden kaum begründet, sondern es wird eher versucht, die eigene Meinung durchzusetzen. Es herrscht eher eine kompetitive als eine ko-konstruktive Stimmung. Insgesamt waren die Lernenden in der Situation, die in diesem Gesprächsausschnitt dokumentiert ist, wenig produktiv.

Insgesamt produktiver interagierte Gruppe A, deren gesamtes Gespräch dem Cumulative Talk zugeordnet werden konnte. Der folgende Gesprächsausschnitt illustriert dies exemplarisch.

- 04:36 S2 Hm, was gibt es noch?
 04:38 S1 Das hier, einfach so schräg?
 04:39 S2 Ein Sechseck?
 04:41 S1 Ah ja, voll. Und dann auch noch ein Fünfeck.
 04:46 S1 Und dann würde auch ein Achteck gehen.
 [...]
 04:54 S1 Jetzt machst du ein Fünfeck.
 04:56 S2 Gibt es ein Fünfeck?
 04:57 S1 Ja.
 04:58 S3 Ich weiss nicht.
 04:59 S1 Ja, es gibt ein Fünfeck.
 05:01 S2 Mach du, ich kann nur Sechseck und Achteck.
 [...]
 06:19 S1 So, und jetzt machen wir das einfach schräg.
 Das gibt es auch.
 06:22 S2 Ja, voll. Das ist ein ... Trapez. Glaube ich.
 06:26 S2 Und einen Drachen können wir auch noch
 machen.
 06:31 S2 Macht elf [Schachteln].
 06:32 S1 Und jetzt einen Drachen. So, so und jetzt so,
 oder?



Die Lernenden bauen ihre Ideen aufeinander auf (Sechseck-Fünfeck-Achteck), sind jedoch unkritisch. Beispielsweise äussert Schülerin S3 Bedenken gegenüber dem Fünfeck (04:48), es wird aber nicht näher darauf eingegangen. Unkritisch wird an dieser Verpackung festgehalten, obwohl sie sich tatsächlich wenig eignet, um vier Tischtennisbälle eng zu verpacken.

Der nächste Auszug, der aus dem Transkript des Gesprächs von Gruppe C stammt, zeigt einen Ausschnitt aus einem Exploratory Talk.

- 03:08 S3 Da einer, da einer und nachher zwei.
 03:10 S1 Ja, voll – aber nein, das würde doch nicht
 aufgehen?
 03:13 S3 Doch, du kannst-
 03:16 S1 Aber wo wäre dann die Öffnung?
 03:20 S1 Weil wenn ja hier offen wäre und da, dann
 würde dieser Ball rausfallen.
 03:22 S2 Nein, nur vorne.
 03:23 S3 Er würde so halten.
 03:28 S3 Ihr habt auch übereinandergestapelt.
 03:31 S1 Ja, aber das ist, weil er nicht so ist, sondern
 dann wäre er hier geschlossen und hier of-
 fen. Verstehst du?
 03:38 S2 Was hast du denn gemeint?
 03:40 S3 Ja, dann kann man hier noch einen Deckel
 hintun.
 03:43 S2 Was?
 03:46 S2 Was meint sie?
 03:46 S1 Ich weiss schon, was du meinst, aber es ist
 nicht logisch. Schau, das wäre ja dann da. So,
 so, so. Oder?
 03:59 S1 Das klappt wirklich nicht.



Die Schülerinnen stellen begründet kritische Fragen (03:16) und begründen ihre Aussagen (03:31). Die Begründungen erfolgen teilweise auch handelnd, das heisst, die Schülerinnen zeigen beispielweise mithilfe der Bälle, was sie meinen (03:46). Ausserdem nehmen die Lernenden auch aufeinander Bezug und verknüpfen Aussagen, anstatt nur Aussagen zu kumulieren (03:46). Wichtig ist ihnen ein gemeinsames Verständnis (03:38) und so werden Erklärungen aktiv eingefordert. Im Gespräch fallen verschiedene Schlüsselwörter des Exploratory Talks (z.B. „weil“, siehe auch Kapitel 3.6.2). Insgesamt sind die Schülerinnen kritisch, aber trotzdem konstruktiv.

Welche fachlich-inhaltliche sowie regulative Qualität weisen die Gespräche auf?

Im Gegensatz zur interaktiven Qualität der Gespräche unterscheiden sich die Gruppen bezüglich der fachlich-inhaltlichen Qualität sowie der Regulation des Problemlöseprozesses zum Teil erheblich. Tabelle 41 zeigt auf, welche Verstehenselemente von den Schülerinnen und Schülern in Aufgabe 1 angesprochen wurden (siehe auch Kapitel 3.6.4 und 5.5.3.2).

Tab. 41: Verstehenselemente in Aufgabe 1 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

Verstehenselement	Gruppe										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Öffnung			X	X	X	X		X	X		X
Lage im Raum	X		X		X	X					X
Eng verpackt				X		X				X	X
Offene Anzahl Lösungen					X						

Keine der Gruppen hat sich mit allen vier für die vorliegende Aufgabe als wichtig identifizierten Verstehenselementen beschäftigt. Drei Gruppen (E, F, K) haben drei Verstehenselemente und zwei Gruppen (B, G) gar keine Verstehenselemente angesprochen. Am häufigsten haben sich die Lernenden damit befasst, dass die Schachteln eine Öffnung haben sollten (sieben Gruppen). Dies wird auch im folgenden Ausschnitt aus dem Transkript des Gesprächs von Gruppe E ersichtlich.

- 01:17 S2 Aber die Schachtel ist ja dann gleich? Ah nein, es steht einfach übereinander! Ah ja, klar, ja.
 01:18 S1 Nein, es steht und danach tut man es [die Bälle] oben rein.
 01:23 S3 Es braucht wie einfach eine Öffnung.
 01:25 S1 Und dann diese Schachtel [Beispielverpackung] kann man auch so stellen.
 01:28 S2 Ja, theoretisch.
 01:29 S1 Weil es dann oben offen ist.

Fünf Gruppen haben sich überlegt, dass die Lage der Schachteln im Raum eine Rolle spielt. Beispielsweise hat sich Schülerin 2 aus Gruppe C überlegt, dass es nur so viele mögliche Schachteln gibt, weil man die Lage der Schachtel ändern kann:

- 02:47 S2 Aber dann könnte man eigentlich... Wahrscheinlich gibt es nur dadurch 15 Möglichkeiten, oder? Dass man es statt hoch in alle Richtungen macht.

In vier Gesprächen haben sich die Gruppen damit auseinandergesetzt, dass die Bälle eng verpackt sein müssen. Beispielsweise hat sich Schüler S1 aus Gruppe F überlegt, dass jede grosse Schachtel infrage kommen würde, wenn die Bälle nicht eng verpackt sein müssten.

- 10:12 S2 Was gibt es noch für Formen?
 10:15 S1 Ja, ich weiss es eben nicht.
 10:17 S2 Es gibt Quadrate, es gibt mögliche Vierecke-
 10:19 S1 Ja, nein man kann...
 10:20 S2 Es gibt Trapez.
 10:21 S1 Man könnte noch... Ja, aber es muss ja, es müssen ja genau vier [Bälle] reinpassen.
 10:24 S2 Wir könnten ein Trapez machen...
 10:26 S1 Aber dann passt eben ein klitzeklein mehr-
 10:29 S2 Ja, Luft passt rein. Wow.
 10:30 S1 Ja eben.
 10:31 S2 Da [in der Beispielverpackung] hat es auch Luft drinnen.
 10:31 S3 Aber es heisst genau.
 10:33 S1 Es muss ja genau, weil sonst, sonst könnten wir ja auch einfach so mega viele Boxen machen, die einfach gross sind, viel zu gross sind.

Nur Gruppe E kam zur Erkenntnis, dass die Anzahl korrekter Verpackungen offen ist und es deshalb mehr als 15 verschiedene Schachteln geben kann. Dies wurde auch mehrmals wiederholt, wie dies der folgende Transkriptausschnitt illustriert.

- 08:03 S1 Wir müssen nicht 15 [Schachteln finden], sondern möglichst viele.

Andere Gruppen sind davon ausgegangen, dass es genau 15 mögliche Schachteln gibt. Ein solcher Fehlschluss wird im folgenden Ausschnitt aus dem Gespräch von Gruppe B ersichtlich. Der Schüler zählt die Schachteln und glaubt, dass nun noch genau sechs Schachteln fehlen würden.

- 05:42 S2 Neun [Schachteln gibt es]! Noch sechs [Schachteln brauchen wir]!

Zusätzlich zu den Verstehenselementen wurden weitere Qualitätsmerkmale auf einer dreistufigen Skala eingeschätzt (siehe Kapitel 5.5.3.2). In Abbildung 32 sind die Resultate dieses Ratings zur fachlichen, argumentativen und regulativen Qualität der Gespräche getrennt nach Aufgabe abgebildet.

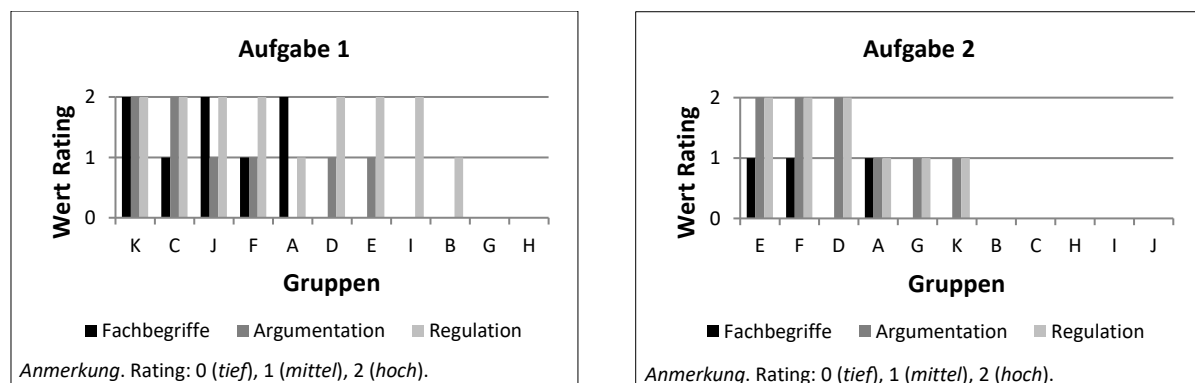


Abb. 32: Rating Qualitätsmerkmale Aufgabe 1 und Aufgabe 2 der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

In Aufgabe 1 hat Gruppe K bei allen eingeschätzten Merkmalen Höchstwerte erzielt. Die drei Lernenden setzten sich vertieft mit dem Inhalt auseinander und argumentierten oft. Alle drei Schülerinnen und Schüler verwendeten dabei auch vorwiegend Fachbegriffe. Zudem war in dieser Gruppe die Regulation des Problemlöseprozesses oft beobachtbar. Bei den Gruppen D, E, I und B war die Regulation des Problemlöseprozesses teilweise bis oft beobachtbar, während sich fachliche und inhaltliche Merkmale kaum feststellen liessen. Bei den Gruppen G und H konnten überhaupt keine Qualitätsmerkmale festgestellt werden.

In Aufgabe 2 waren die Qualitätsmerkmale weniger ausgeprägt als in Aufgabe 1. Bei den Gruppen E, F und A konnten alle drei Qualitätsmerkmale, jedoch verschieden stark ausgeprägt, beobachtet werden. Keine Qualitätsmerkmale konnten hingegen bei den Gruppen B, C, H, I und J bestimmt werden.

6.2 Fragestellung 2: Welche Rolle spielen verschiedene Merkmale der Schülerinnen und Schüler beim individuellen Problemlösen?

Der Literatur zum Problemlösen lässt sich entnehmen, dass verschiedene individuelle Voraussetzungen wie Wissen, Einsatz von Strategien oder Motivation einen Einfluss auf das erfolgreiche Problemlösen haben können (siehe vor allem Kapitel 3.5). Welche soziodemografischen Merkmale und individuellen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler mit der konkreten Problemlöseleistung beim Verpackungsproblem (Einzelarbeit, Aufgabe 1 bis 3) zusammenhängen, wird in Kapitel 6.2.1 berichtet. Anschliessend werden in Kapitel 6.2.2 die Zusammenhänge zwischen der Problemlöseleistung beim Verpackungsproblem und der wahrgenommenen Oberflächen- und Tiefenstruktur personalisierten Lernens aufgezeigt (siehe auch Kapitel 3.7).

Die multivariaten Zusammenhänge mit den verschiedenen individuellen Voraussetzungen sowie der wahrgenommenen Oberflächen- und Tiefenstruktur wurde mit hierarchischen Regressionsanalysen ermittelt (siehe Erläuterungen zum Verfahren in Kapitel 5.6.1). Wie in Kapitel 5.6.1.1 beschrieben, wurden die hierarchischen Regressionsanalysen mit multipel imputierten und z-standardisierten Daten gerechnet.

6.2.1 Welche Rolle spielen soziodemografische Merkmale sowie individuelle Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler für ihre Problemlöseleistung beim Verpackungsproblem (Einzelarbeit)?

Die multivariaten Zusammenhänge zwischen soziodemografischen Merkmalen (Geschlecht, Muttersprache Deutsch und sozioökonomischer Hintergrund), schulischem Niveau sowie verschiedenen individuellen Merkmalen (Wissen gemessen mit dem Klassencockpit, Metakognition, Planen und Strukturieren, heuristische Strategien, Emotionen im Fach Mathematik sowie Summe der genannten Vorgehensweisen beim Lösen des Verpackungsproblems, selbstberichtete Motivation vor dem Lösen des Verpackungsproblems und selbstberichtete Konzentration beim Lösen des Verpackungsproblems, siehe Kapitel 3.5) wurden mittels einer hierarchischen Regressionsanalyse ermittelt. Dazu wurden in einem ersten Schritt die Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen berechnet (siehe auch Kapitel 5.5.4).

Tab. 42: Korrelationen nach Pearson der unabhängigen Variablen (Fragestellung 2a)

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Indikator sozioökonomischer Hintergrund										
2 Klassencockpit Mathematik	.188**									
3 Klassencockpit Deutsch	.234***	.605***								
4 Skala Metakognition	.047	.115	.078							
5 Skala Planen und Strukturieren	-.069	-.089	-.148	.244**						
6 Skala Heuristische Strategien	.089	.071	.015	.382***	.231**					
7 Skala Soziale Unterstützung	.055	.041	.034	.353***	.205**	.284***				
8 Skala Emotionen im Fach Mathematik	.019	.151*	-.012	.176*	.084	.111	.038			
9 Summe Genannte Vorgehensweisen beim Lösen des Verpackungsproblems	-.038	.084	.154*	.108	.026	.050	.032	-.029		
10 Einzelitem Selbstberichtete Motivation vor Lösen des Verpackungsproblems	.009	.177**	.084	.110	.003	.104	.045	.079	.150*	
11 Einzelitem Selbstberichtete Konzentration beim Lösen des Verpackungsproblems	-.124	.010	-.062	-.025	-.011	.035	.035	.012	.133*	.175**

Anmerkungen. Dichotome Prädiktoren werden in der Tabelle nicht aufgeführt (Geschlecht, Muttersprache Deutsch, Niveau); Kodierung Indikator sozioökonomischer Hintergrund: 1 (*keine oder sehr wenige Bücher*), 2 (*ungefähr ein Regalbrett*), 3 (*ungefähr ein ganzes Büchergestell*), 4 (*ungefähr zwei Büchergestelle*), 5 (*drei Büchergestelle oder mehr*); Kodierung Klassencockpit: Prozentwerte; Kodierung Skalen: 1 (*stimmt gar nicht*), 2 (*stimmt eher nicht*), 3 (*stimmt eher*), 4 (*stimmt genau*); Einzelitem Selbstberichtete Motivation vor Lösen des Verpackungsproblems: 1 (--), 2 (-), 3 (+), 4 (++); Einzelitem Selbstberichtete Konzentration beim Lösen des Verpackungsproblems: 1 (*stimmt gar nicht*), 2 (*stimmt eher nicht*), 3 (*stimmt eher*), 4 (*stimmt genau*); * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ (zweiseitig); $N = 250$.

Wie Tabelle 42 zeigt, ist insbesondere die Korrelation zwischen Klassencockpit Deutsch und Klassencockpit Mathematik hoch (.605***), was nach Cohen (1992) einem starken Effekt entspricht. Schwache und mittlere Effekte sind auch zwischen verschiedenen Skalen aus dem Schülerfragebogen vorhanden.

In das hierarchische Regressionsmodell wurden in einem ersten Schritt soziodemografische Merkmale der Schülerinnen und Schüler (Geschlecht, Muttersprache Deutsch, Indikator sozioökonomischer Hintergrund) aufgenommen (siehe Tabelle 43). Zunächst war der multivariate

Zusammenhang zwischen der Muttersprache Deutsch und der Problemlöseleistung im Verpackungsproblem im Umfang von $B = .166$ (.016) signifikant. Lernende mit Muttersprache Deutsch schnitten bei der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ signifikant besser ab als Lernende, welche angegeben hatten, dass Deutsch nicht ihre Muttersprache sei. Sobald im zweiten Schritt das schulische Niveau berücksichtigt wurde, war der Zusammenhang mit der Muttersprache Deutsch nicht mehr signifikant; dafür wurde das erweiterte Niveau mit $B = .262$ (.001) hochsignifikant. Lernende aus Unterricht mit erweiterten Anforderungen hatten die Problemlöseaufgabe überzufällig besser gelöst.

Tab. 43: Hierarchisches Regressionsmodell Ausgangsmodell

	Schritt 1	Schritt 2
Abhängige Variable: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ Aufgaben 1–3	B_s ($SE(B_s)$)	B_s ($SE(B_s)$)
Konstante	-5.266E-16 (.062)	-5.987E-16 (.060)
Soziodemografische Merkmale		
Geschlecht (Ref.: männlich)	-.016 (.063)	-.033 (.061)
Muttersprache Deutsch (Ref.: Deutsch nicht Muttersprache)	.166* (.068)	.118 (.070)
Indikator sozioökonomischer Hintergrund	.092 (.071)	.054 (.073)
Niveau		
Durchmischt (Ref.: nicht durchmischt)		-.001 (.074)
Erweiterte Anforderungen (Ref.: nicht erweiterte Anforderungen)		.262** (.076)
R^2	.11	.09
Korr. R^2	.04	.03

Anmerkungen. Infolge Standardisierung aller Variablen entsprechen die B -Koeffizienten Betas; * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$; $N = 250$.

In der Folge sollte geklärt werden, ob verschiedene individuelle Merkmale der Schülerinnen und Schüler die Problemlöseleistung in der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ zusätzlich zu den Kontrollvariablen erklären können. In einem dritten Schritt wurde deshalb mit den Leistungen im Klassencockpit Mathematik und im Klassencockpit Deutsch zunächst das allgemeine fachliche Wissen, eine der zentralen Voraussetzungen für das erfolgreiche Problemlösen (siehe Kapitel 3.5.1), in das Ausgangsmodell aufgenommen (siehe Tabelle 43). Nach der Aufnahme der vom Verpackungsproblem unabhängigen Leistungsdaten aus dem Klassencockpit liess sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Problemlöseleistung im Verpackungsproblem und dem Niveau mit erweiterten Anforderungen mehr feststellen. Stattdessen wies das Klassencockpit Mathematik mit $B = .186$ (.018) einen signifikanten Zusammenhang mit der Problemlöseleistung im Verpackungsproblem auf (siehe Tabelle 44).

In einem vierten Schritt wurden verschiedene selbsteingeschätzte individuelle Merkmale ins Modell aufgenommen (Skalen zu Metakognition, Planen und Strukturieren, heuristische Strategien, soziale Unterstützung, Emotionen im Fach Mathematik). Wie das Modell in Tabelle 44

zeigt, hatte keine der neu eingeführten unabhängigen Variablen einen signifikanten Effekt. Der Effekt des Klassencockpits Mathematik blieb mit einem leicht tieferen $B = .173$ weiterhin signifikant (.030). Im letzten Schritt wurden individuelle Merkmale, die sich direkt auf das Verpackungsproblem bezogen, ins Regressionsmodell aufgenommen (Summe genannter Vorgehensweisen sowie die Einzelitems „Selbstberichtete Motivation vor dem Lösen“ und „Selbstberichtete Konzentration beim Lösen des Verpackungsproblems“). Der signifikante Effekt des Klassencockpits Mathematik blieb mit $B = .180$ (.026) weiter bestehen. Keine der neu aufgenommenen unabhängigen Variablen stand in einem signifikanten Zusammenhang mit der Problemlöseleistung beim Lösen der individuellen Problemlöseaufgabe „Verpackungen“.

Tab. 44: Hierarchisches Regressionsmodell (Fragestellung 2a)

Abhängige Variable: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ Aufgaben 1–3	Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3	Schritt 4	Schritt 5
	B_s (SE(B))	B_s (SE(B))	B_s (SE(B))	B_s (SE(B))	B_s (SE(B))
Konstante	-5.266 E-16 (.062)	-5.987 E-16 (.060)	-5.660 E-16 (.058)	-6.523 E-16 (.058)	-8.898 E-16 (.058)
Soziodemografische Merkmale					
Geschlecht (Ref.: männlich)	-.016 (.063)	-.033 (.061)	-.001 (.062)	.016 (.064)	.019 (.064)
Muttersprache Deutsch (Ref.: Deutsch nicht Muttersprache)	.166* (.068)	.118 (.070)	.078 (.069)	.078 (.070)	.077 (.071)
Indikator sozioökonomischer Hintergrund	.092 (.071)	.054 (.073)	.023 (.071)	.022 (.071)	.039 (.072)
Niveau					
Durchmischt (Ref.: nicht durchmischt)		-.001 (.074)	-.056 (.073)	-.060 (.074)	-.073 (.075)
Erweiterte Anforderungen (Ref.: nicht erweiterte Anforderungen)		.262** (.076)	.132 (.079)	.131 (.080)	.113 (.081)
Wissen (Leistung Klassencockpit)					
Klassencockpit Mathematik			.186* (.078)	.173* (.080)	.180* (.081)
Klassencockpit Deutsch			.133 (.080)	.141 (.082)	.149 (.082)
Weitere individuelle Merkmale (allgemein)					
Skala Metakognition				.027 (.087)	-.019 (.088)
Skala Planen und Strukturieren				-.032 (.088)	-.031 (.088)
Skala Heuristische Strategien				.009 (.091)	.007 (.090)
Skala Soziale Unterstützung				.088 (.074)	.093 (.073)
Skala Emotionen im Fach Mathematik				-.029 (.074)	-.033 (.075)
Weitere individuelle Merkmale (konkret)					
Summe Genannte Vorgehensweisen beim Lösen des Verpackungsproblems					-.074 (.064)
Einzelitem Selbstberichtete Motivation vor Lösen des Verpackungsproblems					.020 (.062)
Einzelitem Selbstberichtete Konzentration beim Lösen des Verpackungsproblems					.111 (.062)
R^2	.04	.11	.17	.19	.21
Korr. R^2	.03	.09	.15	.15	.15

Anmerkungen. Infolge Standardisierung aller Variablen entsprechen die B -Koeffizienten Betas; * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$; $N = 250$.

Das mathematische Wissen, welches anhand des Klassencockpits gemessen worden war und keinen direkten inhaltlichen Zusammenhang mit dem Verpackungsproblem aufwies, hatte als einzige individuelle Voraussetzung einen signifikanten Effekt auf die Problemlöseleistung der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Aufgaben 1–3, Einzelarbeit).

6.2.2 Welche Rolle spielt die von den Schülerinnen und Schülern wahrgenommene Personalisierung der Oberflächen- und Tiefenstruktur für ihre Problemlöseleistung beim Verpackungsproblem (Einzelarbeit)?

Um diese Frage zu klären, wurde ebenfalls eine hierarchische Regressionsanalyse (siehe Kapitel 5.6.1) mit der Problemlöseleistung im Verpackungsproblem als abhängiger Variable gerechnet. Zunächst wurden wie in Kapitel 6.2.1 beschrieben die verschiedenen Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen bestimmt (siehe Tabelle 45). Als unabhängige Variablen wurden wiederum soziodemografische Merkmale der Schülerinnen und Schüler (Geschlecht, Muttersprache Deutsch und sozioökonomischer Hintergrund) und das schulische Niveau sowie verschiedene Indikatoren für die Oberflächenstruktur (Unterrichtsaktivität Wochenplan, Lernplan oder Tagesplan, Lernatelier und Werkstatt, siehe auch Kapitel 2.4) und die Tiefenstruktur (individuelle Zielvereinbarung, Mitwirken bei Stoffauswahl, Wahlfreiheit, kognitive Aktivierung, Unterstützung des Strategieerwerbs zum selbstständigen lernen, Verständnisorientierung sowie Unterstützungsverhalten und Fürsorglichkeit der Lehrperson) herangezogen.

Tab. 45: Korrelationen nach Pearson der unabhängigen Variablen (Fragestellung 2b)

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Indikator sozioökonomischer Hintergrund										
2 Einzelitem Unterrichtsaktivität Wochenplan, Lernplan oder Tagesplan	.074									
3 Einzelitem Unterrichtsaktivität Lernatelier	.087	.330***								
4 Einzelitem Unterrichtsaktivität Werkstatt	.043	.196**	.201**							
5 Skala Individuelle Zielvereinbarung	.034	.156	.075	.128						
6 Skala Mitwirken bei Stoffauswahl	-.012	.044	.022	.075	.409***					
7 Skala Wahlfreiheit	.057	.137	.043	.037	.262***	.223**				
8 Skala Kognitive Aktivierung	.103	-.030	-.022	-.030	.198**	.261**	.266**			
9 Skala Unterstützung des Strategieerwerbs zum selbstständigen Lernen	.027	.098	.072	.068	.338***	.241**	.238**	.383***		
10 Skala Verständnisorientierung	.115	.007	-.059	-.014	.074	.113	.134	.396***	.388***	
11 Skala Unterstützungsverhalten und Fürsorglichkeit der Lehrperson	.129	.016	-.017	.059	.216**	.270**	.231**	.470***	.371***	.421***

Anmerkungen. Dichotome Prädiktoren werden in der Tabelle nicht aufgeführt (Geschlecht, Muttersprache Deutsch, Niveau); Kodierung Indikator sozioökonomischer Hintergrund: 1 (*keine oder sehr wenige Bücher*), 2 (*ungefähr ein Regalbrett*), 3 (*ungefähr ein ganzes Büchergestell*), 4 (*ungefähr zwei Büchergestelle*), 5 (*drei Büchergestelle oder mehr*); Kodierung Einzelitems Unterrichtsaktivität: 1 (*[fast] nie*), 2 (*etwa einmal pro Monat*), 3 (*ein- bis zweimal pro Woche*), 4 (*[fast] jeden Tag*); Kodierung Skalen: 1 (*stimmt gar nicht*), 2 (*stimmt eher nicht*), 3 (*stimmt eher*), 4 (*stimmt genau*); * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ (zweiseitig); $N = 250$.

Vor allem die verschiedenen Skalen aus dem Schülerfragebogen korrelierten teilweise miteinander. Wie Tabelle 45 weiter zeigt, entsprechen die signifikanten Zusammenhänge schwachen oder mittleren Effekten nach Cohen (1992).

In einem ersten Schritt wurden als Kontrollvariablen wiederum soziodemografische Merkmale der Schülerinnen und Schüler wie Geschlecht, Muttersprache Deutsch und sozioökonomischer Hintergrund und in einem zweiten Schritt das Niveau in das hierarchische Regressionsmodell eingefügt (siehe Ausgangsmodell in Tabelle 43). Da für Schulen mit personalisierten Lernkonzepten auf den ersten Blick die veränderte Oberflächenstruktur charakteristisch ist, wurde diese in einem dritten Schritt als Erstes in das Ausgangsmodell eingefügt. Als Merkmale der Oberflächenstruktur wurden Variablen hinzugezogen, die sich darauf beziehen, wie oft die Lernenden mit Arbeitsplänen, Werkstätten oder im Lernatelier arbeiten. Des Weiteren wurden in diesem Schritt Angaben aus dem Schülerfragebogen eingefügt, die Auskunft über die individuelle Zielvereinbarung, das Mitwirken bei der Stoffauswahl sowie über die Wahlfreiheit geben. Wie Tabelle 46 zeigt, hatten die neu aufgenommenen Variablen zur Wahrnehmung der Oberflächenstruktur keinen signifikanten Zusammenhang mit der Problemlöseleistung beim Lösen des Verpackungsproblems. Das Niveau mit den erweiterten Anforderungen blieb mit $B = .263$ (.001) weiterhin signifikant.

Im letzten Schritt wurden Merkmale der Tiefenstruktur in das Modell aufgenommen, und zwar die Skalen „Kognitive Aktivierung“, „Verständnisorientierung“ sowie „Unterstützungsverhalten und Fürsorglichkeit der Lehrperson“. Da in der vorliegenden Arbeit vor allem das selbstständige Lösen eines Problems im Zentrum des Interesses steht, wurde zudem die Skala „Unterstützung des Strategieerwerbs zum selbstständigen Lernen“ in die Analyse miteinbezogen. Auch unter Berücksichtigung der von den Schülerinnen und Schülern wahrgenommenen Tiefenstruktur blieb einzig das Niveau mit den erweiterten Anforderungen signifikant (.001), wobei der Effekt durch das Einführen der unabhängigen Variablen zur Tiefenstruktur leicht sank ($B = .255$). Dies bedeutet, dass nur der Zusammenhang zwischen dem erweiterten Niveau und der Problemlöseleistung im Verpackungsproblem überzufällig war. Lernende, die Unterricht mit erweitertem Niveau besuchten, lösten die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ signifikant besser als Lernende, welche Unterricht auf einem tieferen schulischen Niveau besuchten.

Tab. 46: Hierarchisches Regressionsmodell (Fragestellung 2b)

	Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3	Schritt 4
Abhängige Variable: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ Aufgaben 1–3	B_s (SE(B))	B_s (SE(B))	B_s (SE(B))	B_s (SE(B))
Konstante	-5.269E-16 (.062)	-5.989E-16 (.060)	-6.060E-16 (.061)	-5.369E-16 (.061)
Soziodemografische Merkmale				
Geschlecht (Ref.: männlich)	-.016 (.063)	-.033 (.061)	-.038 (.064)	-.036 (.065)
Muttersprache Deutsch (Ref.: Deutsch nicht Muttersprache)	.166* (.068)	.118 (.070)	.116 (.071)	.118 (.071)
Indikator sozioökonomischer Hintergrund	.092 (.071)	.054 (.073)	.052 (.074)	.058 (.076)
Niveau				
Durchmischt (Ref.: nicht durchmischt)		-.001 (.074)	-.002 (.088)	-.006 (.090)
Erweiterte Anforderungen (Ref.: nicht erweiterte Anforderungen)		.262** (.076)	.263** (.078)	.255** (.079)
Oberflächenstruktur Personalisierung				
Einzelitem Unterrichtsaktivität Wochenplan, Lernplan oder Tagesplan			.015 (.083)	.032 (.086)
Einzelitem Unterrichtsaktivität Lernatelier			-.049 (.082)	-.039 (.086)
Einzelitem Unterrichtsaktivität Werkstatt			.047 (.077)	.061 (.080)
Skala Individuelle Zielvereinbarung			-.010 (.077)	-.010 (.078)
Skala Mitwirken bei Stoffauswahl			.005 (.082)	.007 (.083)
Skala Wahlfreiheit			-.010 (.072)	-.008 (.073)
Tiefenstruktur Personalisierung				
Skala Kognitive Aktivierung				-.010 (.095)
Skala Unterstützung des Strategieerwerbs zum selbstständigen Lernen				-.066 (.082)
Skala Verständnisorientierung				-.012 (.089)
Skala Unterstützungsverhalten und Fürsorglichkeit der Lehrperson				-.001 (.091)
R^2	.04	.11	.12	.13
Korr. R^2	.03	.09	.08	.07

Anmerkungen. Infolge Standardisierung aller Variablen entsprechen die B -Koeffizienten Betas; * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$; $N = 250$.

7 Diskussion

Verschiedene gesellschaftliche und bildungspolitische Veränderungen haben Anstoss zur Entwicklung innovativer Schul- und Unterrichtskonzepte gegeben. Eine dieser Reformideen ist das personalisierte Lernen. Ein Schwerpunkt von Schulen, welche sich an personalisierten Lernkonzepten orientieren, ist die Förderung fachlicher und überfachlicher Kompetenzen. In diesen Zusammenhang wird der Problemlösekompetenz ein zentraler Stellenwert zugeschrieben (siehe Kapitel 2).

In der vorliegenden Forschungsarbeit interessierte erstens, wie Lernende aus Schulen mit personalisierten Lernkonzepten allein und gemeinsam ein Problem lösen (siehe Kapitel 4). Um dieser Frage nachzugehen, wurde die Teilstudie „Problemlösen“ im Rahmen des perLen-Projekts durchgeführt (siehe Kapitel 5.2). In dieser Teilstudie haben 250 Neuntklässlerinnen und Neuntklässler aus elf perLen-Schulen allein die ursprünglich aus TIMSS 1995 stammende Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ gelöst und im Anschluss daran ihr Vorgehen beim Lösen des Problems beschrieben. Zusätzlich haben sie jeweils zu dritt ein auf dem Verpackungsproblem aufbauendes Problem gelöst, wobei ausgewählte Gruppen beim gemeinsamen Lösen des Problems gefilmt wurden. Zweitens wurde der Frage nachgegangen, welche Rolle soziodemografische und individuelle Merkmale der Schülerinnen und Schüler (siehe Kapitel 3.5) sowie die von den Lernenden wahrgenommene Personalisierung der Oberflächen- und der Tiefenstruktur des Unterrichts (siehe auch Kapitel 3.7) für die Problemlöseleistung im Verpackungsproblem (Einzelarbeit) spielen.

Die Ergebnisse zu diesen Fragen werden in Kapitel 7.1 zusammengefasst und in Bezug auf die in Kapitel 2 und 3 dargestellte Theorie diskutiert. Anschliessend wird in Kapitel 7.2 das methodische Vorgehen reflektiert. In Kapitel 7.3 werden Folgerungen für die Schulen und Lehrpersonen, die Lehrerinnen- und Lehrerbildung sowie die Forschung erörtert. Zum Schluss werden in Kapitel 7.4 weiterführende Fragen skizziert.

7.1 Zusammenfassung und Diskussion der zentralen Ergebnisse

In Kapitel 7.1.1 und 7.1.2 werden zunächst die Ergebnisse zum individuellen und gemeinsamen Problemlösen diskutiert. Danach werden in Kapitel 7.1.3 die Ergebnisse zur Rolle verschiedener Merkmale der Lernenden beim Problemlösen besprochen. In Kapitel 7.1.4 werden die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt und diskutiert.

7.1.1 Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen allein das Problem „Verpackungen“?

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Datenanalysen zur Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit) diskutiert. Wenn möglich wird jeweils auf die Ergebnisse der Schweizer Stichprobe von TIMSS 1995 Bezug genommen, da die an TIMSS teilnehmenden Schülerinnen und Schüler diese Aufgabe ebenfalls zu lösen hatten. Anschliessend wird aufgezeigt, wie die Schülerinnen und Schüler beim Problemlösen gemäss eigener Aussage vorgegangen sind.

Produkt: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

Personalisiertem Lernen wird hinsichtlich der Förderung der Problemlösefähigkeit unter anderem aus theoretischer, aber auch aus praktischer Sicht grosses Potenzial zugesprochen (siehe v.a. Kapitel 3.7). Deshalb wurde vermutet, dass die Lernenden aus den perLen-Schulen die allein zu lösende Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (siehe Kapitel 5.4.1) erfolgreich lösen würden. Die Ergebnisse stellten sich jedoch als erwartungswidrig heraus: Lediglich 1.6% der Lernenden hatten alle vier Aufgaben des Verpackungsproblems vollständig und richtig gelöst. Bemerkenswert ist vor allem, dass 7.6% der Lernenden keine einzige Aufgabe korrekt oder auch nur teilweise korrekt gelöst hatten.

Des Weiteren wurden auch die vier Aufgaben im Verpackungsproblem unterschiedlich erfolgreich gelöst. Aufgabe 1 haben die perLen-Lernenden relativ erfolgreich und signifikant besser gelöst als die TIMSS-Lernenden (siehe auch Kapitel 7.2.3): Rund 80% der Lernenden haben mindestens eine korrekte Verpackung für vier Tischtennisbälle gezeichnet, bei den in TIMSS 1995 untersuchten Schweizer Lernenden waren es hingegen nur rund 55%. Dieses unterschiedlich erfolgreiche Lösen der ersten Aufgabe hängt damit zusammen, dass fast ausnahmslos alle perLen-Lernenden diese Aufgabe überhaupt bearbeitet haben. In TIMSS 1995 hatte rund ein Viertel der Lernenden die erste Aufgabe gar nicht erst in Angriff genommen und eine andere als die vorgegebene Reihenfolge gewählt. Warum diese Lernenden eine andere Bearbeitungsreihenfolge gewählt hatten, kann verschiedene Gründe gehabt haben (Leibundgut, 1996): Die Lernenden hatten möglicherweise die Aufgabe ungenau gelesen und unmittelbar damit begonnen, eine Schachtel in Originalgrösse herzustellen (Aufgabe 3), da dies die übergeordnete Fragestellung war. Zudem bot das zur Verfügung gestellte Material (u.a. Papier und Schere) einen grossen Anreiz zum Basteln. Vielleicht hatten es einige Schülerinnen und Schüler daher bevorzugt, die Aufgabe zunächst enaktiv-handelnd zu lösen (siehe Kapitel 3.5.9), anstatt die Verpackungen zu skizzieren.

Werden die konkreten Lösungen genauer betrachtet, zeigt sich, dass die perLen-Lernenden in Aufgabe 1 wie erwartet ähnliche Verpackungen gezeichnet haben wie die Schülerinnen und Schüler in der TIMSS-Erhebung 1995. Wie vermutet wurde, kamen insbesondere einfache, aus dem Alltag bekannte Verpackungen wie die Schachtel in I-Form häufig vor. Seltener wurde der Zylinder gezeichnet, obwohl dieser ebenfalls eine gängige Verpackung für Bälle darstellt. Besonders Lernende, welche vor dem Lösen die gesamte Aufgabenstellung gelesen hatten, haben möglicherweise eher rechteckige und somit eher einfacher zu berechnende Verpackungen ausgewählt (siehe Aufgabe 4).

Aufgaben 2 und 3 hatten die Lernenden in der TIMSS-Untersuchung 1995 im Gegensatz zu Aufgabe 1 tendenziell besser gelöst als die Lernenden in der vorliegenden Untersuchung, wobei der Unterschied jedoch nicht statistisch bedeutsam ist. Die TIMSS-Lernenden konnten für das Zeichnen der Faltpläne (Aufgabe 2) und das Herstellen einer Verpackung in Originalgrösse (Aufgabe 3) mehr Zeit aufwenden als die perLen-Lernenden, da sie die vorhergehende(n) Aufgabe(n) seltener bearbeitet hatten. Die erzielten Lösungen der perLen-Lernenden in Aufgabe 2 und 3 entsprechen wiederum den Ergebnissen von TIMSS 1995 (Leibundgut, 1996). Festzuhalten ist diesbezüglich, dass fast die Hälfte der perLen-Lernenden in Aufgabe 3 den Faltpfad in Originalgrösse nicht nur wie in der Aufgabenstellung verlangt gezeichnet, sondern ihn zusätzlich auch ausgeschnitten und zusammengeklebt hat. In TIMSS 1995 hatten dies nur rund 20% der Schülerinnen und Schüler getan. Möglicherweise haben die perLen-Lernenden diese zusätzliche Arbeit häufiger geleistet, weil sie durch die längere Bearbeitungszeit auch mehr Zeit zum Basteln hatten. Zur Überprüfung des eigenen massstabgetreuen Faltplans kann es zudem durchaus sinnvoll sein, diesen herzustellen und zusammenzusetzen (siehe auch Kapitel 3.5.9). Dadurch verloren die Lernenden jedoch Zeit, welche sie für die letzte Aufgabe benötigt hätten. So hat fast die Hälfte der perLen-Lernenden in Aufgabe 4 weder Oberflächen noch Volumen berechnet (43.6%), obwohl ihnen durch die Erweiterung und die vierte Aufgabe 10 Minuten mehr Arbeitszeit zur Verfügung gestellt wurden. Wurde die Aufgabe bearbeitet, haben die Lernenden das Volumen doppelt so häufig korrekt berechnet wie die Oberfläche. Dies könnte daran liegen, dass für die Volumenberechnung meistens lediglich Länge, Breite und Höhe miteinander multipliziert werden müssen, während für die Oberfläche neben der Grundfläche auch die Mantelfläche berechnet werden muss, welche sich teilweise aus mehreren unterschiedlich grossen Flächen zusammensetzt. Zudem unterscheidet sich das Volumen bei den meisten Schachteln mit rechteckiger Grundfläche nicht, die Oberfläche ist jedoch

je nach Schachtelform und Lage im Raum verschieden gross. Für die Vermutung der höheren fachlichen Herausforderung der Oberflächenberechnung spricht auch, dass die Lernenden den Lösungsweg hier häufiger angegeben haben als bei der Volumenberechnung.

Die im Vergleich zu TIMSS 1995 nicht besseren Ergebnisse der perLen-Lernenden (v.a. Aufgabe 2 und 3) und insbesondere ihr ungünstiges Zeitmanagement (v.a. Aufgabe 4) wurden in diesem Ausmass nicht erwartet und werfen aus mehreren Gründen Fragen auf: Erstens wurden den Lernenden für die zusätzliche vierte Aufgabe 10 Minuten mehr Zeit zugestanden und es war deshalb davon auszugehen, dass dadurch für die letzte Aufgabe oder zumindest für die Bearbeitung der ersten drei Aufgaben genügend Zeit bleiben würde. Zweitens wurde vermutet, dass Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen ihre Zeit gut einteilen können, da sie es sich durch die in solchen Schulen häufig eingeplanten Phasen selbstständigen Arbeitens gewohnt sein sollten, mehr Verantwortung und Eigenständigkeit bei der Planung, Steuerung, Überwachung und Evaluation ihres eigenen Lernens zu übernehmen (siehe auch Kapitel 2.4 und 3.7). Möglicherweise haben die Lernenden in diesen Schulen aber vor allem mehr Erfahrung darin, auf einer organisatorischen Ebene (z.B. welche Aufträge wann, wo und mit wem bearbeitet werden) und nicht auf einer inhaltlichen Ebene (z.B. wie ein längerer Auftrag bearbeitet wird, wie die Zeit innerhalb einer Aufgabe sinnvoll eingeteilt wird) zu planen. Huf und Breidenstein (2009) sprechen im Zusammenhang mit Wochenplänen auch vom Aspekt der „Planerfüllung“, welcher „sich vor die inhaltliche Auseinandersetzung mit der Aufgabe bzw. mit der Sache schiebt“ (S. 23). Auch gemäss Häcker (2017) findet in individualisierendem Unterricht, welcher mit personalisiertem Lernen Überschneidungen aufweist (siehe Kapitel 2.2), eine „Formalisierung bzw. Entfachlichung von Lehr-/Lernprozessen“ (S. 287) statt, das heisst, die formale Organisation der Lern- und Arbeitsprozesse der Lernenden steht stark im Vordergrund, da diese infolge der unterschiedlichen Programme das einzige gemeinsame Thema darstellt, über welches im Klassenverband gesprochen werden kann (siehe auch Martens, 2018). Drittens waren die Lernenden zwei Jahre älter als die Lernenden in der TIMSS-Erhebung von 1995 (9. vs. 7. Klasse), weshalb erwartet wurde, dass es für sie eher einfacher sein sollte, das Verpackungsproblem zu lösen. Die Aufgabe ist zwar weitgehend unabhängig vom Curriculum, es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die relevanten Themen vor allem in der 7. Klasse (Flächenberechnung von Recht- und Dreiecken; Volumenberechnung von Quadern) und 8. Klasse (Flächenberechnung von Kreisen; Volumenberechnung von Prismen und Zylindern) behandelt werden (z.B. Affolter et al., 2013, 2014, 2015; Keller, Bollmann, Rohrbach &

Schelldorfer, 2011, 2012, 2013). Somit waren ältere Lernende möglicherweise gar nicht wie angenommen im Vorteil, weil sie sich im Gegensatz zu Lernenden der 7. Klasse schon länger nicht mehr mit diesen Inhalten beschäftigt hatten.

Prozess: Beschreibung des Vorgehens beim Lösen von Problemen

Die Ergebnisse der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ sind zwar schlechter ausgefallen als erwartet, bemerkenswert ist jedoch, dass die Mehrheit der Lernenden fähig war, ausführlich über den eigenen Problemlöseprozess Auskunft zu geben (siehe Kapitel 6.1.1.2). So haben sie ihr Vorgehen beim Lösen des Verpackungsproblems mit durchschnittlich fast fünf Vorgehensweisen beschrieben. Wie vermutet wurde, liegen zum Verpackungsproblem mehr Berichte über Vorgehensweisen vor als zum Lösen allgemeiner Probleme (1116 vs. 832 selbstberichtete Vorgehensweisen). Es ist gut vorstellbar, dass es den Lernenden leichter fällt, einen konkreten Problemlöseprozess, der nur wenige Minuten zuvor durchgeführt wurde, zu beschreiben, als sich in eine unbestimmte Problemsituation hineinzusetzen. Wenn das Lösen allgemeiner Probleme jedoch beschrieben wurde, dann variierten die genannten Vorgehensweisen stärker als beim Verpackungsproblem (60 vs. 42 verschiedene Vorgehensweisen). Dass die Lernenden im Zusammenhang mit einer klar umrissenen Problemsituation über weniger verschiedene, dafür aber vor allem über konkrete Vorgehensweisen aus der Ausführungsphase wie „Skizzieren/Zeichnen/Konstruieren“, „Rechnen“ oder „Messen“ berichten würden, war erwartet worden. Im Vergleich dazu haben die Schülerinnen und Schüler beim allgemeinen Vorgehensbescrieb nicht nur mehr verschiedene, sondern auch eher allgemeine Vorgehensweisen genannt, unter anderem „Nachdenken“ oder „Ausprobieren“.

Die Lernenden haben beim allgemeinen Problemlösebescrieb zudem viele Vorgehensweisen aus dem Bereich „Soziale Ressourcen“ (siehe auch Kapitel 3.5.6) aufgeführt. Dass der Aspekt der Zusammenarbeit in den Berichten der Schülerinnen und Schüler explizit Erwähnung fand, dürfte die perLen-Schulen in ihren Unterrichtskonzepten und ihrem Vorgehen bestärken, da ihnen die Förderung von Kooperation und gegenseitiger Unterstützung ebenfalls ein Anliegen ist (siehe Kapitel 2.4 und 3.7). Das Verpackungsproblem indes musste allein gelöst werden, weshalb die Schülerinnen und Schüler in ihren Ausführungen zur konkreten Situation konsequenterweise auch nicht über Zusammenarbeit berichtet haben. Ausserdem standen ihnen kaum Hilfsmittel zur Verfügung und nur wenige selbsterstellte Hilfsmittel (z.B. Skizze) waren beim Verpackungsproblem hilfreich (siehe Kapitel 3.5.9).

Wie vermutet worden war, berichteten die Lernenden des Weiteren beim konkreten Vorgehen zwar über weniger verschiedene Vorgehensweisen, jedoch berichteten mehr Schülerinnen und Schüler über vollständige Problemlöseprozesse (siehe Kapitel 3.4.3 und 3.4.4): 13.6% der Lernenden haben beim Verpackungsproblem Vorgehensweisen aus allen vier Phasen des Problemlöseprozesses in Anlehnung an Polya (1949) beschrieben. Aufschlussreich ist diesbezüglich, dass rund die Hälfte der Lernenden ihr Vorgehen auch in der theoretisch als sinnvoll angesehenen Reihenfolge beschrieben hat, auch wenn beim Berichten teilweise Phasen übersprungen wurden. Beschrieben die Lernenden hingegen einen allgemeinen Problemlöseprozess, zeigten diese Beschreibungen weit weniger Linearität und waren meist unvollständig. Beispielsweise wurde die letzte Phase, die Rückschau, beim allgemeinen Beschrieb im Vergleich zum konkreten Vorgehen nur selten genannt (2.5% vs. 12.8%). Wie das berichtete Vorgehen beim Verpackungsproblem zeigt, scheinen die Lernenden in der konkreten Situation die Lösungen jedoch durchaus zu überprüfen und zu kontrollieren. Dies ist aus der Perspektive der Lehr-Lern-Forschung positiv zu werten, da Kontrolle eine wichtige metakognitive Tätigkeit beim Lernen und Problemlösen darstellt (siehe auch Kapitel 3.5.3).

7.1.2 Wie lösen Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen gemeinsam das Problem „Verpackungen“?

Die Fähigkeit, Probleme nicht nur allein, sondern auch gemeinsam mit anderen Personen lösen zu können, wird angesichts der Veränderungen im Berufsleben und in der Gesellschaft ganz allgemein zunehmend als wichtig erachtet (siehe auch Kapitel 3.6). Deshalb wurde zusätzlich untersucht, wie Schülerinnen und Schüler aus perLen-Schulen gemeinsam ein Problem lösen. In diesem Kapitel werden zunächst die von den Gruppen erzielten Ergebnisse diskutiert. Anschliessend wird darauf eingegangen, wie die Lernenden in der Gruppenarbeit miteinander interagierten.

Produkt: Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

Jeweils zu dritt haben die Lernenden die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit) bearbeitet, wobei in Aufgabe 1 möglichst viele Verpackungen für vier Tischtennisbälle und in Aufgabe 2 die in ihren Augen beste Verpackung gefunden werden mussten (siehe Kapitel 5.4.3). Die insgesamt 91 Gruppen haben das Problem ganz unterschiedlich erfolgreich gelöst: Bei der ersten Aufgabe haben sie 1 bis 17 korrekte Verpackungen gezeichnet. Entgegen den Erwartungen haben sechs Gruppen nur drei oder weniger korrekte Verpackung gefunden,

obwohl die drei Gruppenmitglieder bereits in der vorhergehenden Einzelarbeit je drei Schachteln hätten zeichnen sollen (siehe Kapitel 7.1.1). Vertiefende Auswertungen haben diesbezüglich gezeigt, dass die individuelle Problemlöseleistung beim Verpackungsproblem und die Gruppenleistung schwach ($.288^{**}$) zusammenhängen (siehe Schmid & Pauli, 2018).

In der zweiten Aufgabe haben die Gruppen verschiedene Verpackungen als die beste Verpackung ausgewählt, das heisst, die Gruppen waren sich nicht einig, welches die beste Verpackung ist. Begründet wurde die Wahl unter anderem mit ökonomischen, ökologischen oder ästhetischen Argumenten (z.B. „braucht wenig Papier und ist deshalb am günstigsten“, „ist am schönsten“).

Prozess: Gespräche während des Problemlösens

Zusätzlich zur Leistung beim gemeinsamen Problemlösen interessierte auch der gemeinsame Problemlöseprozess, das heisst die Frage, wie die Lernenden miteinander interagieren, um zu den Lösungen zu gelangen, und welche fachlich-inhaltliche sowie regulative Qualität ihre Gespräche aufweisen (siehe auch Kapitel 3.6.4). Als Grundlage für die Analyse der Problemlöseprozesse wurden elf Dreiergruppen beim gemeinsamen Lösen videografiert (siehe Kapitel 5.4.3).

Die Gespräche unterschieden sich zum Teil erheblich hinsichtlich der Sprechzeit. Die Gruppen sprachen in Aufgabe 1 zwischen knapp 3.5 und fast 7.5 Minuten miteinander. Aber auch innerhalb der einzelnen Gruppen gab es grosse Unterschiede: Nur in wenigen Gruppen war die Sprechzeit ausgeglichen auf die drei Lernenden verteilt. In fünf Gruppen sprach beispielsweise jeweils eine Person während mehr als der Hälfte der gesamten Sprechzeit. In Aufgabe 2 dominierten einzelne Lernende noch stärker: In drei Gruppen sprach jeweils eine Person während mehr als 70% der Sprechzeit. Die Sprechzeit ist zu einem gewissen Ausmass auch schülerabhängig, jedoch wurde erwartet, dass die Lernenden ausgeglichener miteinander interagieren würden, indem beispielsweise möglichst alle Lernenden ins Gespräch eingebunden werden und nicht eine einzelne Person herausragt. Ausserdem unterschieden sich die Gruppen hinsichtlich der Bearbeitungsdauer. Nur zwei Gruppen haben in Aufgabe 2 die vorgegebenen 10 Minuten vollständig genutzt. Allerdings haben diese beiden Gruppen über längere Zeit nicht miteinander interagiert, was darauf hindeuten könnte, dass sie die verbleibenden Minuten abwarteten, um ihre Lösung nach Ablauf der offiziell vorgegebenen Zeit abzugeben. Alle anderen videografierten Gruppen haben sich relativ schnell mit einer Lösung zufriedengegeben und die zweite Aufgabe viel früher abgegeben. Ausserdem wurde im Zusammenhang

mit Aufgabe 2 auch häufiger über aufgabenfremde Themen gesprochen. Möglicherweise erhalten die Schülerinnen und Schüler in den perLen-Schulen zwar Zeit zum gemeinsamen Lernen und Arbeiten (siehe Kapitel 2.4), jedoch haben sie nicht oder nicht ausreichend gelernt, wie sie erfolgreich als Gruppe kommunizieren können (z.B. im Sinne von Exploratory Talk, siehe auch Kapitel 3.6) und wie sie die ihnen zur Verfügung stehende Zeit optimal nutzen können. Dass die Gruppen auch über aufgabenfremde Themen gesprochen haben, könnte aber auch daran liegen, dass die Aufgabe als zu einfach empfunden wurde (siehe auch unten).

Wie lange die Schülerinnen und Schüler gemeinsam das Problem lösten und dabei sprachen, sagt jedoch wenig über die Qualität des Gesprächs aus (siehe auch Kapitel 3.6.4). Die Forschung hat gezeigt, dass für erfolgreiches gemeinsames Problemlösen vielmehr die Qualität der Interaktion entscheidend ist (siehe Kapitel 3.6.2). In erfolgreichen Gruppen bauen unter anderem die verschiedenen Beiträge aufeinander auf, hinterfragen Schülerinnen und Schüler Aussagen kritisch und setzen sich ko-konstruktiv mit Ideen und Lösungsvorschlägen auseinander. Im Zusammenhang mit kooperativem Lernen und Problemlösen in Schulkontexten werden Gruppengespräche, die diese Kriterien erfüllen, als „Exploratory Talk“ bezeichnet (Mercer, 1995, 1996). Mit einer Ausnahme wurden jedoch alle Gespräche nicht als Exploratory Talk, sondern als Cumulative Talk eingeschätzt. Untersuchungen haben gezeigt, dass das Auftreten von Exploratory Talk mit der Aufgabe bzw. dem Vorwissen der Lernenden zusammenhängen kann und diese Gesprächsform idealerweise dann eingesetzt wird, wenn neues Wissen generiert werden muss (Barnes, 1999). Bestehen bei einer Aufgabe nur wenige zu klärende fachliche Verstehenshindernisse, kann vor allem Cumulative Talk beobachtet werden. Dies lässt den Schluss zu, dass das Verpackungsproblem für die meisten Gruppen kaum Unklarheiten beinhaltet haben dürfte, da sich die Lernenden vorher bereits 40 Minuten allein mit einer ähnlichen Problemlöseaufgabe auseinandergesetzt hatten und in der Gruppe nur noch die verschiedenen Lösungen zusammengetragen und erweitert werden mussten („Kumulation“), was bisweilen eher unkritisch erfolgt sein könnte.

Im Gegensatz zur interaktiven Qualität variierten die inhaltlich-fachliche sowie die regulative Qualität zwischen den verschiedenen Gruppen und Aufgaben teilweise erheblich. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die erhobenen Qualitätsmerkmale nicht unabhängig voneinander sind. Beispielsweise werden Fachbegriffe benötigt, damit eine fachlich korrekte, qualitätsvolle inhaltliche Auseinandersetzung stattfinden kann. Bereits in Aufgabe 1 konnten die verschiedenen Qualitätsmerkmale nicht bei allen Gruppen beobachtet werden; die Gespräche in

Aufgabe 2 wurden insgesamt noch tiefer eingeschätzt. Dies könnte damit zusammenhängen, dass diese Aufgabe auf einem tieferen kognitiven Niveau gelöst wurde, als dies intendiert worden war (siehe auch unten). Bezüglich der Regulation weisen Studien beispielsweise darauf hin, dass, ähnlich wie bei der interaktiven Qualität, auch Socially Shared Regulation bei einfacheren Problemen seltener vorkommt (siehe auch Kapitel 3.6.3, v.a. Iiskala, Vauras, Lehtinen & Salonen, 2011; Volet et al., 2013). Weiterführende Auswertungen der Gespräche beim Verpackungsproblem haben zudem gezeigt, dass die Lernenden während des gemeinsamen Lösens vor allem Handlungen ausführten (z.B. Zeichnen, Schreiben), jedoch wenig metakognitive Handlungen vollzogen wie Planen, Organisieren oder Kontrollieren (Hess, 2018).

Einige der angesprochenen Unterschiede lassen sich mit den verschiedenen kognitiven Anforderungen der Aufgaben erklären. In Aufgabe 1 müssen möglichst viele Schachteln gefunden werden, was unter anderem räumliches Denken erfordert, weil die geometrischen Körper je nach Lage im Raum eine andere Schachtel darstellen können (siehe auch Kapitel 3.2.3 und 3.6.5). Zudem hat die Aufgabe auch einen kreativen Charakter, denn neben der Reproduktion der Schachteln aus der vorangehenden Einzelarbeit müssen weitere Schachteln generiert werden. Aufgabe 2 war so angelegt, dass die Lernenden durch Argumentation die in ihren Augen beste Schachtel auswählen sollten. Jedoch haben die Gruppen eher Alltagswissen reproduziert und sich schnell mit einer Lösung zufriedengegeben („in den Läden werden die Bälle so verkauft, deshalb wählen wir diese als die beste Schachtel“) und sich nicht, wie vermutet und wie von kompetenten Problemlösenden zu erwarten wäre, vertieft mit verschiedenen Argumenten auseinandergesetzt. Es muss hierbei aber auch beachtet werden, dass es eine Strategie erfolgreicher Problemlöserinnen und Problemlöser sein kann, pragmatisch-ökonomisch vorzugehen und ein Problem mit minimalem Aufwand in möglichst kurzer Zeit zu lösen. Obwohl die Aufgabe anspruchsvoll war, liess sie sich auch auf einem tiefen Niveau lösen, wofür weniger Zeit verwendet werden musste. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass die Schülerinnen und Schüler bereits während fast eineinhalb Stunden ohne Pause gearbeitet hatten, was zu einer Abnahme von Anstrengungsbereitschaft, Motivation und Volition geführt haben könnte (siehe auch Kapitel 3.5.4).

7.1.3 Welche Rolle spielen verschiedene Merkmale der Schülerinnen und Schüler beim individuellen Problemlösen?

Wie bereits dargelegt wurde, haben die Schülerinnen und Schüler die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit, Aufgaben 1 bis 3) mit unterschiedlichem Erfolg gelöst (siehe

Kapitel 7.1.1). Aufgrund der in Kapitel 3.5 dargestellten Befunde wurde erwartet, dass diesbezüglich verschiedene individuelle Voraussetzungen eine Rolle spielen. Ausserdem wurde vermutet, dass sich die von den Lernenden wahrgenommene Personalisierung der Oberflächen- bzw. insbesondere der Tiefenstruktur des Unterrichts ebenfalls darauf auswirken kann, wie erfolgreich das Verpackungsproblem gelöst wird (siehe Kapitel 3.7).

Individuelle Voraussetzungen

Ausgehend von empirischer Evidenz, die den Einfluss verschiedener individueller Voraussetzungen für das erfolgreiche Problemlösen verdeutlicht (siehe Kapitel 3.5), wurde die Rolle soziodemografischer Merkmale der Schülerinnen und Schüler (Geschlecht, Muttersprache Deutsch, sozioökonomischer Hintergrund) und individueller Voraussetzungen (u.a. Wissen, Problemlösestrategien, metakognitive Fähigkeiten, Motivation, Konzentration) beim Lösen des Verpackungsproblems untersucht.

Es konnten die Befunde bestätigt werden, dass es zwischen Mädchen und Jungen keinen Unterschied hinsichtlich der Problemlöseleistung beim Verpackungsproblem gibt (Harmon, 1999). Ebenfalls keine Unterschiede zeigten sich je nach Muttersprache (Deutsch bzw. nicht Deutsch) und sozioökonomischem Hintergrund gemessen an der Anzahl Bücher. Wie erwartet und wie bereits 1995 in der TIMSS-Untersuchung gezeigt, lösten Schülerinnen und Schüler, welche Unterricht mit höheren Anforderungen besuchen, das Verpackungsproblem signifikant besser als Lernende aus tieferen Niveaus (Leibundgut, 1996).

Werden zusätzlich zu den soziodemografischen Merkmalen der Schülerinnen und Schüler individuelle Voraussetzungen betrachtet, so lässt sich feststellen, dass einzig das mathematische Wissen, gemessen anhand des Klassencockpits Mathematik, eine bedeutsame Rolle spielte. Dieses Ergebnis ist wenig erstaunlich, denn um das Verpackungsproblem zu lösen, ist mathematisches Wissen nötig (siehe Kapitel 3.5.9) und Vorwissen gilt sowohl in traditionellem wie auch in offenem Unterricht als eine äusserst aussagekräftige Determinante für Schulerfolg (siehe auch Kapitel 3.5.1 sowie Messner & Blum, 2019; Weinert, 1996). Da es sich um eine offene Problemlöseaufgabe handelte, wurde ausserdem erwartet, dass metakognitive Fähigkeiten wie Planen und Strukturieren mit der Problemlöseleistung zusammenhängen würden (siehe Kapitel 3.5.3). Wie die Analysen jedoch zeigen, spielte es für den Problemlöseerfolg beim Verpackungsproblem keine Rolle, ob die Schülerinnen und Schüler in der Onlinebefragung über hohe metakognitive Fähigkeiten berichtet hatten oder ob dies nicht der Fall gewesen war. Ein möglicher Grund für dieses Ergebnis könnte erstens darin bestehen, dass die eher

gut definierte Problemlöseaufgabe auch mit wenig metakognitiven Strategien gelöst werden konnte, da sie beispielsweise wenig Orientierung oder Planung bei der Bearbeitung erforderte (siehe Kapitel 3.5.9). Zweitens waren die metakognitiven Fähigkeiten nicht direkt in Bezug zum Verpackungsproblem, sondern situationsfern erhoben worden. Auch andere Untersuchungen haben gezeigt, dass keine oder nur schwache Zusammenhänge zwischen allgemeinen Angaben zum Strategieeinsatz und dem Lernerfolg bestehen (siehe zusammenfassend z.B. Leopold, 2009; Leopold & Leutner, 2002; Souvignier & Gold, 2004). Überdies hatten Schülerinnen und Schüler, welche bei der darauffolgenden Beschreibung des Lösens des Verpackungsproblems viele Vorgehensweisen nannten, dieses ebenfalls nicht besser gelöst. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass in der vorliegenden Untersuchung der Qualitätsaspekt des Strategieeinsatzes nicht berücksichtigt wurde. Diesbezüglich haben Studien gezeigt, dass nicht die Häufigkeit, sondern die Qualität der verwendeten Strategien zentral ist (siehe auch Karlen, 2016). Ausserdem ist denkbar, dass nicht die Anzahl genannter Vorgehensweisen oder einzelne, qualitätsvolle Strategien, sondern deren Zusammenspiel für das erfolgreiche Lösen eines Problems entscheidend ist. Die Anzahl genannter Strategien könnte bei guten Problemlösenden möglicherweise tiefer ausfallen als bei schwächeren Lernenden, da bei ihnen der Problemlöseprozess unbewusst und automatisiert abläuft (siehe auch Pressley et al., 1989). Ebenfalls denkbar ist, dass sie weniger, dafür effizientere Vorgehensweisen beschreiben. Schwächere Lernende hingegen können vielleicht mehr Strategien aufzählen als stärkere Lernende, da sie diese explizit gelernt haben, können diese aber in konkreten Situationen nicht oder nur unzureichend anwenden (Nutzungsdefizit, siehe dazu auch Artelt, Demmrich & Baumert, 2001).

Überdies wurden die selbstberichtete Konzentration und Motivation beim Lösen des Verpackungsproblems berücksichtigt. Es wurde davon ausgegangen, dass diese Faktoren, da sie in direktem Zusammenhang mit der Problemlöseaufgabe als Selbstbericht erfasst wurden, eine Rolle spielen könnten im Hinblick darauf, wie erfolgreich das Verpackungsproblem gelöst wird. Dies war jedoch nicht der Fall. Das heisst, Lernende, welche angaben, die Problemlöseaufgabe konzentriert und/oder motiviert gelöst zu haben, hatten das Problem nicht erfolgreicher gelöst als ihre Kolleginnen und Kollegen, die gemäss eigener Auskunft weniger motiviert und/oder konzentriert waren.

Wahrgenommene Personalisierung

Da es sich bei den untersuchten Schulen um Schulen handelt, welche personalisierte Lernkonzepte mit unterschiedlicher Akzentuierung umsetzen und dadurch zum Teil erheblich von der klassischen Schul- und Unterrichtskultur abweichen (siehe Kapitel 2.4), interessierte neben der Rolle verschiedener individueller Merkmale der Schülerinnen und Schüler auch die Rolle der Personalisierung hinsichtlich des erfolgreichen Lösens des Verpackungsproblems (Einzelarbeit). Zur Klärung dieser Frage wurden die von den Lernenden wahrgenommene Oberflächenstruktur (Vorkommen bestimmter Unterrichtsaktivitäten, aber auch Wahlfreiheit oder Mitwirken bei der Stoffauswahl) und die wahrgenommene Tiefenstruktur des Unterrichts (v.a. kognitive Aktivierung und Unterstützungsverhalten der Lehrperson) berücksichtigt.

Für den Erfolg im Verpackungsproblem spielte es keine Rolle, wie die Lernenden die Oberflächenstruktur (z.B. Lernatelier, Wochenplan) oder die Wahlfreiheiten im Unterricht wahrnehmen. Der Befund, dass keine Oberflächenmerkmale einen Zusammenhang mit der Problemlöseleistung aufwiesen, ist nicht unerwartet, denn in der Unterrichtsforschung ist mittlerweile gut belegt, dass die Oberflächenstruktur wenig über die Qualität des Unterrichts aussagt, sondern vielmehr die Qualität der Tiefenstruktur bedeutsam ist (z.B. Gold, 2015; Kunter & Trautwein, 2013). Es wurde deshalb davon ausgegangen, dass personalisierte Lernkonzepte tiefergehend umgesetzt werden müssen und eine reine Umsetzung auf der Oberflächenstruktur, wie zum Beispiel die Einführung von Lernateliers, nicht ausreicht, um die Problemlösefähigkeiten der Schülerinnen und Schüler zu fördern (siehe auch Maag Merki, 2018). Die Lernenden wurden daher zusätzlich zur wahrgenommenen Tiefenstruktur des Unterrichts befragt. Diese wird im deutschsprachigen Raum meistens anhand von drei Qualitätsdimensionen guten Unterrichts beschrieben: effiziente Klassenführung, kognitive Aktivierung der Lernenden und unterstützendes Unterrichtsklima (z.B. Hess & Lipowsky, 2016; Klieme et al., 2006; Kunter & Ewald, 2016; Kunter & Trautwein, 2013; Kunter & Voss, 2011), wobei in den letzten Jahren auch vermehrt diskutiert wurde, ob diese Basisdimensionen durch fachbezogene Qualitätsmerkmale erweitert werden müssten (z.B. Bruder, 2018; Lipowsky & Bleck, 2019; Lipowsky, Drollinger-Vetter, Klieme, Pauli & Reusser, 2018). In der vorliegenden Untersuchung wurden verschiedene Facetten von zwei fachunspezifischen Qualitätsmerkmalen, nämlich kognitive Aktivierung der Lernenden und unterstützendes Unterrichtsklima, berücksichtigt. Entgegen den Erwartungen spielte die wahrgenommene Tiefenstruktur des Unterrichts jedoch ebenfalls keine Rolle dafür, wie erfolgreich eine Schülerin oder ein Schüler das Verpackungsproblem

gelöst hat. Dieses Ergebnis ist zwar erwartungswidrig, lässt sich aber möglicherweise dadurch erklären, dass die Lernenden sehr allgemein zu den Qualitätsdimensionen guten Unterrichts befragt worden waren (alle Fächer, verschiedene Lehrpersonen) und sich deshalb kein Zusammenhang mit dem Lösungserfolg beim konkreten Verpackungsproblem zeigte.

7.1.4 Fazit

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in das in den Kapiteln 3.4 und 3.5 erarbeitete Problemlösemodell eingeordnet und es wird abschliessend erörtert, ob die untersuchten perLen-Schulen tatsächlich dazu beitragen können, dass ihre Schülerinnen und Schüler zu kompetenten Problemlösenden werden.

Auf der Basis der Ergebnisse wurde das Problemlösemodell modifiziert und ergänzt (siehe Abbildung 33): Zunächst wurden die vier Problemlösephasen entsprechend ihrem Vorkommen im selbstbeschriebenen Problemlöseprozess abgebildet. Überdies wurden, da in der vorliegenden Untersuchung nur aufeinander aufbauende Phasen, nicht aber rekursive Prozesse empirisch berücksichtigt werden konnten, die entsprechenden Verbindungen aus dem Modell entfernt (Rückkopplungsschleifen). Dafür wurden aufgrund der Beschreibungen der Lernenden alle möglichen Verbindungen, die ein Überspringen von Phasen anzeigen, eingefügt (gestrichelte Pfeile, siehe auch Kapitel 3.4.3), und zwar auch dann, wenn dies aus theoretischer Sicht nicht möglich wäre bzw. wenig Sinn ergibt, da ein Zwischenschritt fehlt bzw. mehrere Zwischenschritte fehlen. Es wird davon ausgegangen, dass diese Zwischenschritte in den meisten Fällen vollzogen wurden, jedoch von den Schülerinnen und Schülern nicht explizit beschrieben wurden (z.B. ist es kaum möglich, einen Plan auszuführen, ohne vorher einen Plan ausgedacht zu haben).

Des Weiteren wurden im Problemlösemodell zusätzlich zu den in Kapitel 3.5 beschriebenen individuellen Voraussetzungen und Ressourcen zum erfolgreichen Problemlösen auch soziodemografische Merkmale der Schülerinnen und Schüler (Geschlecht, sozioökonomischer Hintergrund, Muttersprache Deutsch), das schulische Niveau sowie die wahrgenommene Personalisierung der Oberflächen- und der Tiefenstruktur des Unterrichts berücksichtigt (oben bzw. rechts in der Abbildung eingefügt). Wie die Auswertungen gezeigt haben, spielte jedoch nur das mathematische Vorwissen gemessen anhand des Klassencockpits Mathematik (Kapitel 6.2.1) bzw., wenn dieses nicht berücksichtigt wird, das schulische Niveau (Kapitel 6.2.2) eine Rolle beim Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit, Aufgaben 1 bis 3). Deshalb werden diese empirisch relevanten Aspekte in der Abbildung fett hervorgehoben.

Die anderen Aspekte wurden trotzdem beibehalten, da Problemlösen ein komplexer und multidimensionaler Prozess ist und verschiedene Untersuchungen gezeigt haben, dass für das erfolgreiche Problemlösen neben kognitiven Fähigkeiten auch metakognitive, regulative, motivationale, volitionale, emotionale, soziale und kommunikative Fähigkeiten wichtig sind (siehe Kapitel 3.5).

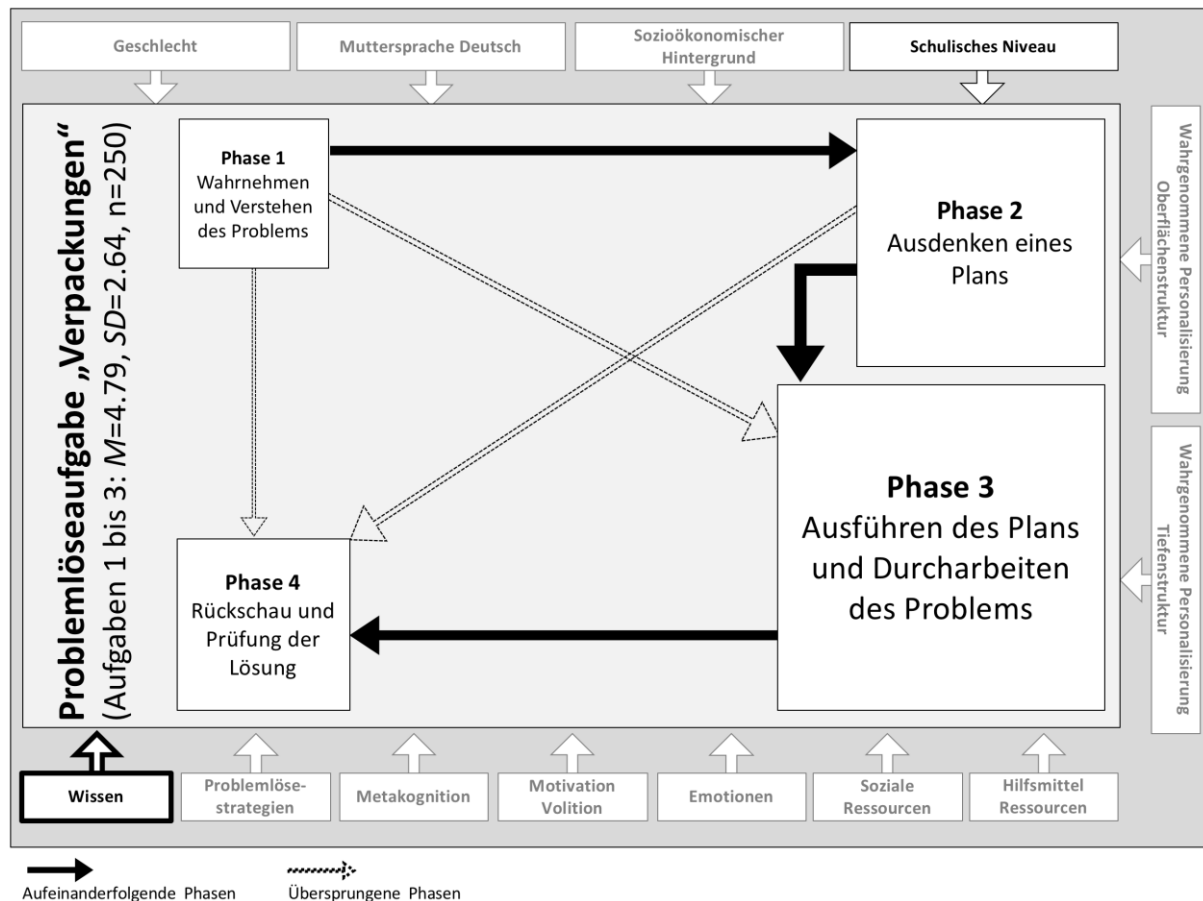


Abb. 33: Problemlösemodell (III) (eigene Darstellung)

Abschliessend lassen die Ergebnisse die nachfolgend dargelegte Gesamteinschätzung zu.

Problemlösen – kein Problem!

Die Hälfte der Lernenden hat im Verpackungsproblem zwischen 3 und 7.5 von insgesamt 12 Punkten erreicht und 1.6% der Schülerinnen und Schüler haben sogar das gesamte Verpackungsproblem fehlerfrei gelöst. Ausserdem lässt sich festhalten, dass die Lernenden beim Verpackungsproblem, aber auch beim Beschreiben von allgemeinen Problemlöseprozessen, über viele und viele verschiedene Vorgehensweisen berichtet haben. Die meisten Lernenden verfügen gemäss ihren eigenen Beschreibungen über ein breites Strategierepertoire und wissen, wie sie Probleme angehen und wo sie Hilfe anfordern können. Wie die Auswertungen zur Vollständigkeit der Problemlöseprozesse gezeigt haben, hatten die Schülerinnen und Schüler

vor allem beim konkreten Verpackungsproblem über vollständige Prozesse berichtet (13.6%). Zudem gaben mehr als 80% der Lernenden an, dass sie Probleme eher gut oder sehr gut lösen könnten (Schmid & Pauli, 2017).

Problemlösen – ein Problem!

Neben den positiven Befunden weisen die Ergebnisse der Teilstudie „Problemlösen“ auch auf Schwächen hin und machen auf kritische Aspekte aufmerksam: Im Vergleich zur TIMSS-Stichprobe von 1995 lösten die Lernenden das Verpackungsproblem (Einzelarbeit) insgesamt nicht besser. 7.6% der untersuchten Neuntklässlerinnen und Neuntklässler haben sogar keine Punkte erreicht, obwohl die Aufgabe eigentlich für die 7. Klasse konzipiert worden war. Schlecht abgeschnitten haben dabei vor allem Lernende, welche Unterricht auf einem tieferen Niveau besuchten und über vergleichsweise wenig Wissen in Mathematik verfügten. Dieses eher ernüchternde Ergebnis deutet darauf hin, dass das Problemlösen für relativ viele Schülerinnen und Schüler ein Problem darzustellen scheint.

Das zum Teil schlechte Ergebnis beim Lösen des Verpackungsproblems steht jedoch im Widerspruch zum von den Lernenden grösstenteils ausführlich beschriebenen Vorgehen beim Problemlösen. Es scheint daher, dass die Lernenden zwar über ihr Problemlöseverfahren berichten können, bei der tatsächlichen Ausführung der Problemlöseprozesse jedoch Mühe haben (siehe auch Nutzungsdefizit bei Artelt et al., 2001). Diesbezüglich stellt sich die Frage, wieso zwischen dem Wissen zum Problemlösen und dem Ausführen von Problemlöseprozessen eine Lücke besteht. Zur Beantwortung dieser Frage lässt sich möglicherweise anführen, dass in den Schulen ein Schwerpunkt auf der Reflexion von Lern- und Arbeitsprozessen liegt (siehe dazu Lerntagebuch etc. in Kapitel 2.4), dadurch aber die tatsächliche Ausführung und die Umsetzung von Problemlöseprozessen vernachlässigt werden könnten. Zudem ist auch denkbar, dass im Anschluss an das Problemlösen gar keine echte Reflexion stattgefunden hat, da die Lernenden über eine gewisse Routine im Schreiben solcher Berichte entwickelt haben und dadurch genau wissen, welche Angaben erwünscht sind (siehe auch Rabenstein, 2016).

Ein weiterer Punkt, welchen es besonders hervorzuheben gilt und der in diesem Ausmass nicht erwartet wurde, ist das ungenügende Zeitmanagement der Lernenden. Dies zeigt sich vor allem darin, dass ein Grossteil der Schülerinnen und Schüler nicht alle Aufgaben des Verpackungsproblems bearbeitet hat (siehe Kapitel 7.1.1). Als erwartungswidrig einzustufen ist dieser Befund, weil die Lernenden in den Schulen oft selbstständig lernen (z.B. im Lernatelier) und deshalb davon ausgegangen wurde, dass das Einteilen der Arbeitszeit und das Einhalten

von zeitlichen Vorgaben in der Schule gelernt und eingeübt wurden. Offenbar gelingt dies den Schülerinnen und Schülern jedoch in einer konkreten Situation wie beim Lösen des Verpackungsproblems nicht. Hier müsste weiter der Frage nachgegangen werden, ob es am Verpackungsproblem lag oder ob die Lernenden ihre Zeit in den Phasen selbstständigen Lernens ebenso mangelhaft planen und nutzen (siehe auch Kapitel 7.4).

Das gemeinsame Problemlösen scheint ebenfalls einigen Schülerinnen und Schülern Probleme zu bereiten: In der gemeinsam zu lösenden Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ haben nur 3 von 91 Gruppen das Ziel erreicht, mehr als 15 verschiedene Schachteln für vier Tischtennisbälle zu zeichnen. Bemerkenswert ist überdies, dass es mehrere Gruppen gab, welche nur drei oder weniger korrekte Verpackungen abgegeben haben, obwohl bereits in der vorangehenden Einzelarbeit drei Verpackungen hätten gefunden werden sollen.

Bezüglich des gemeinsamen Problemlöseprozesses gilt es besonders hervorzuheben, dass die vertieft untersuchten Gruppen wenig Ausdauer beim gemeinsamen Lösen des Verpackungsproblems gezeigt haben. Dies wird vor allem darin ersichtlich, dass sie nicht die gesamte zur Verfügung gestellte Zeit nutzten, sich schnell mit einer Lösung zufriedengaben und auch über aufgabenfremde Themen sprachen. Ausserdem wies ein Grossteil der Gespräche keine hohe interaktive, inhaltlich-fachliche oder regulative Qualität auf (siehe auch Kapitel 7.1.2).

Das eher schlechte Abschneiden beim Verpackungsproblem, das mangelnde Zeitmanagement, die fehlende Ausdauer oder die nicht sehr qualitätsvolle Zusammenarbeit von perLen-Lernenden wurden so nicht erwartet. Es wurde vielmehr davon ausgegangen, dass perLen-Lernende kompetente Schülerinnen und Schüler sind, welche das Verpackungsproblem erfolgreich lösen können, ihre Zeit beim individuellen Arbeiten einteilen können und über Selbstdisziplin sowie Ausdauer verfügen. Gerade auch für das selbstständige Arbeiten oder die Gruppenarbeiten, welche einen Grossteil der Unterrichtszeit in den meisten perLen-Schulen ausmachen, sind solche Fähigkeiten zentral und es stellt sich deshalb die Frage, ob Schülerinnen und Schüler im Schulalltag ähnlich arbeiten und Probleme lösen (siehe auch Kapitel 7.4).

Problemlösen und personalisiertes Lernen: Werden die Erwartungen erfüllt?

Zum Anspruch von Schulen mit personalisierten Lernkonzepten gehört, Problemlösekompetenzen von Schülerinnen und Schülern zu fördern. Im direkten Vergleich mit TIMSS 1995 kann

angesichts der Ergebnisse der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden, dass sich Leistungen von Lernenden aus perLen-Schulen beim Lösen eines konkreten Problems von den Leistungen von Schülerinnen und Schülern abheben, die in TIMSS 1995 untersucht wurden.

Die Auswertungen haben zudem gezeigt, dass das Ausmass der wahrgenommenen Personalisierung der Oberflächen- und der Tiefenstruktur des Unterrichts keinen Zusammenhang mit der konkreten Problemlöseleistung im Verpackungsproblem aufweist. Es ist denkbar, dass die Lernenden für eine solche doch eher kurze, gut definierte Problemlöseaufgabe mit wenig Handlungsspielraum in allen Dimensionen von Personalisierung ähnlich gut vorbereitet werden. Dieses Ergebnis mag angesichts der im Allgemeinen mit personalisierten Lernkonzepten verbundenen Erwartungen ernüchternd sein, da die Schulen zum Teil erheblichen Aufwand betreiben, um ihren Unterricht entsprechend zu organisieren. Es entspricht aber auch den in Kapitel 2.3 vorgestellten empirischen Befunden, gemäss welchen individualisierte, differenzierte, offene oder erweiterte Unterrichtsformen traditionellem Unterricht zwar hinsichtlich nicht fachlicher Leistungen teilweise überlegen sind, hinsichtlich der fachlichen Leistung (beim Verpackungsproblem spielte das fachliche Wissen eine wichtige Rolle, siehe Kapitel 7.1.3) jedoch nicht wirksamer und zum Teil sogar weniger wirksam sind (z.B. Giaconia & Hedges, 1982; Hattie, 2009; Horak, 1981).

Insgesamt scheinen gegenwärtige Umsetzungen personalisierter Lernkonzepte somit noch nicht das gesamte Potenzial auszuschöpfen, das ihnen vor allem aus der Sicht der Theorie und der Praxis zugeschrieben wird, da es den untersuchten Schulen bislang nur unzureichend zu gelingen scheint, *alle* Schülerinnen und Schüler beim Erreichen eines möglichst hohen Kompetenzniveaus und bei der Entwicklung von variabel einsetzbaren Problemlösefähigkeiten wirksam zu begleiten und zu unterstützen – zumindest bezogen auf das Lösen des Verpackungsproblems. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass die Forschung gezeigt hat, dass sich in offenen Unterrichtsformen die interindividuellen Unterschiede insgesamt eher vergrössern als verringern (siehe Kapitel 2.3; Häcker, 2017; Lipowsky & Lotz, 2015).

7.2 Diskussion des methodischen Vorgehens und Grenzen der Untersuchung

In diesem Kapitel wird das methodische Vorgehen diskutiert. Dazu werden in Kapitel 7.2.1 die Zusammensetzung der Stichprobe, in Kapitel 7.2.2 die Datenerhebung sowie in Kapitel 7.2.3 die Erhebungs- und Auswertungsinstrumente einer kritischen Betrachtung unterzogen.

7.2.1 Stichprobe

Die elf in der Teilstudie „Problemlösen“ untersuchten Schulen wurden aus der nicht repräsentativen Stichprobe des perLen-Projekts bewusst ausgewählt (z.B. nur Schulen mit 9. Klassen, siehe Kapitel 5.3). Zudem setzen die Schulen Dimensionen des personalisierten Lernens unterschiedlich und mit verschiedenen Akzentuierungen um (siehe Kapitel 2.4). Diese Umsetzungsvielfalt erschwert zwar den Vergleich, die heterogene Stichprobe bildet aber gleichzeitig die Realität der Deutschschweizer Schulen ab. Die in jeder Schule vertieft untersuchten Gruppen wurden ebenfalls nicht zufällig, sondern von den Lehrpersonen anhand bestimmter Vorgaben ausgesucht (z.B. mittleres Leistungsniveau oder Einverständnis für Filmaufnahmen vorhanden, siehe Kapitel 5.3). Es wurde jedoch sichergestellt, dass die vertieft untersuchten Lernenden sich in ihrer Leistung im Klassenscockpit Mathematik nicht signifikant von ihren Mitlernenden unterschieden. Trotz dieser Überprüfung ist allerdings nicht auszuschliessen, dass sie sich hinsichtlich ihrer Motivation, Kooperations- oder Gesprächskompetenz von den anderen Lernenden abhoben. Da es sich weder bei den Schulen noch bei den vertieft untersuchten Gruppen um Zufallsstichproben handelte, können keine Verallgemeinerungen der Ergebnisse vorgenommen werden.

7.2.2 Datenerhebung

Um das Problemlösen in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten umfassend zu untersuchen, wurden verschiedene Daten miteinbezogen (siehe Kapitel 5.4). Mit Ausnahme der Fragebogendaten aus dem zweiten Projektjahr stammten alle Daten aus dem dritten Projektjahr. Es wird davon ausgegangen, dass die im Jahr vor der Teilstudie „Problemlösen“ erhobenen Items zu Merkmalen der Oberflächenstruktur des Unterrichts sich innerhalb eines Jahres nicht grundlegend verändern.

Die Teilstudie „Problemlösen“ wurde in den Schulen aus organisatorischen Gründen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im letzten Semester der obligatorischen Schulzeit durchgeführt. Da die Problemlöseaufgabe weitgehend frei vom Curriculum ist (siehe Kapitel 5.4.1) und die für die letzte Aufgabe benötigten Wissensinhalte (Oberflächen- und Volumenberechnung) in der Regel bereits in der 7. und 8. Klasse behandelt werden (siehe Kapitel 7.1.1), wurde der mögliche Einfluss des Erhebungszeitpunkts auf die Lösungen als nicht bedeutsam eingeschätzt. Allenfalls hätte zusätzlich untersucht werden können, ob die Lernenden kurz vor der Erhebung für die Problemlöseaufgabe relevante Inhalte im Unterricht behandelt hatten (z.B. Wiederholung bestimmter Stoffinhalte).

Der Einsatz verschiedener Erhebungsinstrumente und die Kombination qualitativer und quantitativer Verfahren hat sich in dieser Untersuchung als sehr gewinnbringend herausgestellt, da auf dieser Grundlage ein umfassendes, empirisch breit abgestütztes Bild des Produkts und des Prozesses beim individuellen und kooperativen Problemlösen gewonnen werden konnte (siehe auch Kapitel 5.1).

7.2.3 Erhebungs- und Auswertungsmethoden

Im Folgenden werden die verschiedenen Erhebungs- und Auswertungsmethoden kritisch diskutiert.

Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

Das Verpackungsproblem stammt aus einem bestehenden Test von TIMSS 1995 (Harmon et al., 1997). Dies brachte mehrere Vorteile mit sich: Die Aufgabe war bereits mehrfach durchgeführt worden, es konnte auf bestehende Kategoriensysteme zur Auswertung zurückgegriffen werden und die Ergebnisse konnten einer Vergleichsstichprobe gegenübergestellt werden. Beim Vergleich der Ergebnisse muss jedoch beachtet werden, dass zwischen der vorliegenden Untersuchung und der Untersuchung von TIMSS 1995 Unterschiede im Erhebungssetting und im Alter der untersuchten Schülerinnen und Schüler bestehen. In TIMSS 1995 wurde nicht nur eine, sondern es wurden mehrere Problemlöseaufgaben eingesetzt und die Lernenden besuchten die 7. Klasse, das heisst, sie waren in der Regel zwei Jahre jünger als die Neuntklässlerinnen und Neuntklässler der vorliegenden Stichprobe. Diese Punkte wurden in der inhaltlichen Diskussion der Ergebnisse berücksichtigt.

Obwohl in der vorliegenden Arbeit jeweils von „Problem“ bzw. „Problemlöseaufgaben“ gesprochen wurde, hängt es unter anderem von den individuellen Vorerfahrungen und dem Vorwissen einer Person ab, was als Problem wahrgenommen wird (siehe Kapitel 3.1). Es ist somit möglich, dass die beiden Problemlöseaufgaben „Verpackungen“ nicht für alle Lernenden gleichermassen ein Problem im Sinne eines unerwünschten Anfangszustands, eines gedanklich vorweggenommenen erwünschten Zielzustands und einer Barriere dargestellt haben. Mit dem Verpackungsproblem wurde jedoch ein Arbeitsauftrag ausgewählt, bei welchem davon ausgegangen werden konnte, dass er für möglichst viele der untersuchten Lernenden ein Problem darstellen würde. Im Gegensatz zu Aufgabenstellungen, die in anderen Untersuchungen, die sich mit Problemlösen befassen haben (z.B. Lange, 2014; Otto et al., 2008; Rott, 2014; Wegerif et al., 2017), eingesetzt wurden, handelt es sich beim Verpackungsproblem um ein

divergentes Problem, das heisst um ein Problem, welches verschiedene Lösungen zulässt (siehe Kapitel 3.2), weshalb zusätzlich die verschiedenen von den Schülerinnen und Schülern erzielten Lösungen ausgewertet werden konnten (siehe Kapitel 6.1.1.1).

Das Verpackungsproblem (Einzelarbeit) besteht aus vier aufeinander aufbauenden Aufgaben, was Konsequenzen für die Aufgabenbearbeitung hatte: Wer bei der ersten Aufgabe nicht in der Lage gewesen war, drei Verpackungen zu finden, konnte anschliessend in Aufgabe 2 weder drei Faltpläne zeichnen, noch in Aufgabe 4 alle Volumen und Oberflächen berechnen (siehe auch Kapitel 3.4.4). Wenn in Aufgabe 1 die geforderte Anzahl Schachteln zwar hatte gefunden werden können, aber nicht alle davon als korrekte Lösungen gewertet werden konnten, wurden gleichwohl Punkte vergeben, wenn die dazugehörenden Faltpläne bzw. Berechnungen in Aufgabe 2 und 4 korrekt waren (siehe auch Kapitel 6.1.1.1). Aus diesem Grund war es möglich, in diesen beiden Aufgaben mehr Punkte zu erreichen als bei Aufgabe 1. Die in Aufgabe 3 erforderliche massstabgetreue Zeichnung eines Faltplans war hingegen bereits anhand einer einzigen in Aufgabe 1 gefundenen Schachtel möglich.

Da bei jeder Aufgabe genau erklärt wurde, was zu erledigen war, vermögen die Lösungen in ihrer Gesamtheit auch ansatzweise aufzuzeigen, wie gut die Schülerinnen und Schüler Anleitungen lesen und befolgen konnten. Trotz der vielfältigen Aspekte des Problemlösens, die anhand der Verpackungsaufgabe untersucht werden konnten, muss insgesamt betrachtet festgehalten werden, dass sich alle Ergebnisse nur konkret auf dieses Problem beziehen und keine Rückschlüsse auf die allgemeine Problemlösefähigkeit der Lernenden gezogen werden können. Das Gleiche gilt analog für die Analyseergebnisse zum in Gruppenarbeit gelösten Problem.

Reflexionsinstrument

Die Lernenden hatten unmittelbar im Anschluss an die allein zu bearbeitende Problemlösaufgabe „Verpackungen“ ihre Überlegungen zu ihrem Vorgehen zu notieren. Damit wurde das Reflexionsinstrument nicht intrusiv und trotz seiner retrospektiven Orientierung äusserst zeitnah zur Handlung eingesetzt. Dies bedeutet, dass davon auszugehen ist, dass sich die Lernenden bei dessen Bearbeitung noch relativ gut an ihr Vorgehen erinnern konnten (siehe auch Garner & Alexander, 1989; Winne et al., 2002). Laut Spörer und Brunstein (2006) verlangen Selbstauskünfte jedoch Motivation und entsprechende Bereitschaft, was wiederum ihre Qualität beeinflussen kann, besonders wenn sie über eine längere Zeit hinweg gegeben werden müssen, was in der vorliegenden Studie aber nicht der Fall war. Ausserdem beeinflusst die Schreibkompetenz gemäss Spörer und Brunstein (2006) die Validität von Untersuchungen, die

auf Selbstauskünften basieren. Obwohl Rechtschreibung und Grammatik in den Auswertungen nicht berücksichtigt wurden, könnte die Gefahr bestehen, dass Lernende mit geringeren Schreibfähigkeiten fälschlicherweise ein weniger entwickeltes Strategierepertoire zugeschrieben wurde, da sie weniger ausführlich über ihr Vorgehen berichten konnten als Lernende mit höheren Schreibfähigkeiten. Angesichts der Schulzugehörigkeit dürfte allerdings davon auszugehen sein, dass es sich die meisten Lernenden aufgrund des an ihren Schulen implementierten personalisierten Settings gewohnt waren, über ihren Arbeits- und Lernprozess zu berichten und sie dies bereits zuvor, beispielsweise in Portfolios oder in Lerntagebüchern, schon oft oder gar routinemässig getan hatten (siehe Kapitel 2.4 und 3.7).

Bei der Entwicklung des Reflexionsinstruments war darauf geachtet worden, dass die Lernenden möglichst frei über ihr Vorgehen berichten konnten. Um eine allfällige Beeinflussung durch vorformulierte Strategien so weit wie möglich zu reduzieren, wurden die geschlossenen Fragen zu einzelnen Strategien bewusst erst am Schluss gestellt, damit die Beantwortung der offenen Fragen nicht von diesen Items beeinflusst wurde (siehe auch Kapitel 5.4.2). Diese hinter der Fragebogenkonzeption stehende Überlegung kam jedoch nur dann zum Tragen, wenn die Schülerinnen und Schüler das Reflexionsinstrument in der vorgegebenen Reihenfolge bearbeitet haben. Mit einem onlinebasierten Fragebogen, bei welchem keine Fragen übersprungen werden können, hätte die Reihenfolge hingegen vorgegeben werden können. Dies war jedoch aus organisatorischen und testökonomischen Gründen in der vorliegenden Untersuchung nicht möglich.

Die Kategorien bei der Kodierung der Vorgehensweisen wurden unter anderem anhand der in Kapitel 3.4.3 beschriebenen Problemlösephasen zusammengefasst. Die einzelnen Unterkategorien könnten jedoch auch anders eingeteilt werden: Skizzen können beispielsweise als Hilfe beim Verstehen des Problems erstellt, aber auch erst beim Ausführen des Plans oder am Schluss des Problemlöseprozesses zur Kontrolle angefertigt werden (siehe auch Kapitel 3.5.2). Ausserdem wurden planende Aktivitäten vorwiegend der zweiten Phase („Ausdenken eines Plans“) und reflexive Aktivitäten vor allem der letzten Phase („Rückschau und Prüfung der Lösung“) zugeordnet, obwohl diese verschiedenen selbstregulativen und metakognitiven Aktivitäten potenziell in allen Phasen vorkommen können (siehe z.B. Rott, 2014). Überdies konnten rekursive Phasen nicht als solche berücksichtigt werden. Dies wurde bei der Diskussion der Ergebnisse beachtet.

Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

Das Ziel des Einsatzes des Verpackungsproblems (Gruppenarbeit) bestand darin, im Anschluss an das individuelle Problemlösen auch Einblicke in das gemeinsame Problemlösen zu ermöglichen. Die Problemlöseaufgabe wurde, wie in Kapitel 7.1.2 bereits festgehalten, unerwartet auf einem tieferen als dem intendierten Niveau gelöst. Es stellt sich daher die Frage, ob bei einer anderen, weniger alltagsbezogenen Problemstellung mehr Argumentation, Regulation etc. hätte beobachtet werden können. Zudem war infolge der Strukturierung des Problems möglicherweise auch eine geringere Anzahl Kooperationsstrategien erforderlich oder es mussten weniger Rollen übernommen werden (z.B. Zeitplanerin oder Berichterstatter, siehe Borge & White, 2016; Hild, 2013; Webb et al., in press).

Elf Gruppengespräche wurden zur vertieften Auswertung des Löseprozesses zusätzlich videografiert. Bei der Videografie fallen die Beobachtungs- und die Analysephase nicht mit der Erhebungsphase zusammen, was insofern günstig ist, als sich die Versuchsleitung in der Erhebungssituation selbst auf die Durchführung konzentrieren kann. Ein weiterer Vorteil von Videoaufnahmen liegt darin, dass diese mehrmals nach verschiedenen Kriterien und aus unterschiedlichen Perspektiven, mit qualitativen oder quantitativen Verfahren und von verschiedenen Personen analysiert werden können (Petko et al., 2003). Konkret konnten in den videografierten Gesprächen zunächst die Sprechanteile der Lernenden bestimmt werden (siehe Kapitel 5.5.3.2). Anschliessend konnten dank der Aufnahmen die interaktive, die fachlich-inhaltliche sowie die regulative Qualität eingeschätzt werden (siehe auch Kapitel 5.5.3.3). Bei solchen Einschätzungen können jedoch bestimmte Urteilsfehler auftreten wie der Milde-Härte-Fehler oder der Reihenfolgeeffekt (Döring & Bortz, 2016). Da die Videos von verschiedenen Personen mehrmals und in unterschiedlicher Reihenfolge eingeschätzt wurden, konnten solche Urteilsfehler zumindest eingeschränkt werden.

Im Zusammenhang mit Videografie wird häufig kritisiert, dass es sogenannte „Kameraeffekte“ geben könne. Diese scheinen in der Regel aber kleiner zu sein als vermutet (Petko et al., 2003). Darauf, dass die Lernenden die Kamera relativ schnell vergessen hatten, deuten auch die Videos hin, die in der vorliegenden Untersuchung analysiert wurden (siehe Anteile von Talk-off-Task oder auch Transkriptausschnitte in Kapitel 6.1.2.2).

Befragung der Schülerinnen und Schüler und Klassencockpit

Die Daten aus der Befragung der Schülerinnen und Schüler bestehen aus Selbstauskünften, wobei gewisse Antworttendenzen auftreten konnten, da die Lernenden aus einer Auswahl

von Antworten auswählen mussten (meistens vierstufige Likertskala, siehe z.B. Kapitel 5.4.4). Die Datensätze der Onlinebefragung waren vom perLen-Projektteam hinsichtlich spezifischer Antwortmuster überprüft worden. Bei Verdacht auf unzuverlässiges Ausfüllen wurden die Daten der betreffenden Person nicht ausgewertet (z.B. wenn durchgängig immer die gleiche Antwort angekreuzt worden war). Antworttendenzen wie sozial erwünschte Antworten oder Tendenz zur Mitte sind jedoch im vorliegenden Datensatz wie in den meisten Untersuchungen schwierig zu erkennen und können deshalb nicht vollständig ausgeschlossen werden (Döring & Bortz, 2016).

In einigen Schulen mit personalisierten Lernkonzepten gibt es keine eigentlichen Lektionen und Klassen mehr (siehe Kapitel 2.4). Deshalb waren erstens keine Auswertungen auf Klassenebene möglich und zweitens haben die im Schülerfragebogen verwendeten Items teilweise nicht zu allen Schulen gepasst (z.B. Items wie „Im Unterricht höre ich der Lehrperson zu, wenn sie der ganzen Klasse etwas erklärt oder Fragen stellt“, siehe auch Kapitel 7.3.2). Aus diesem Grund konnte unter anderem keine Skala zum Qualitätsmerkmal „Klassenführung“ gebildet werden. Grundsätzlich gelten die Qualitätsmerkmale guten Unterrichts aber auch in nicht lehrpersonenzentriertem Unterricht, da gemäss Bohl (2017) die grundlegenden Aspekte des Gelingens von Unterricht unabhängig von der jeweiligen Konzeption von Unterricht sind. Allerdings müssen die Qualitätsmerkmale teilweise ausdifferenziert, angepasst und neu interpretiert werden. Gerade das Qualitätsmerkmal „Klassenführung“ erhält laut Bohl (2017) in einem individualisierenden Unterricht eine andere Ausrichtung, da in solchen Settings präventive Massnahmen und eine klare Strukturierung bezüglich Material, Regeln, Raum oder Zeit wichtiger werden als in einem traditionellen Unterricht.

Um das Wissen der Schülerinnen und Schüler in den Fächern Mathematik und Deutsch abzubilden, wurde auf die Klassencockpit-Daten, welche im Rahmen des gesamten perLen-Projekts erhoben worden waren, zurückgegriffen. Das Klassencockpit war vom perLen-Projekt zur Erfassung fachlicher Kompetenzen gewählt worden, weil viele perLen-Schulen diesen Test bereits gewohnheitsmässig durchführen (Stebler, 2019). Lernende, welche dieses Testformat vorher nicht gekannt hatten, dürften jedoch kaum benachteiligt gewesen sein, da es sich kaum von den gängigen Aufgaben- und Prüfungsformaten unterscheidet. Es muss aber berücksichtigt werden, dass diese Leistungstests ein breites Spektrum von Wissen abdecken und keinen direkten Zusammenhang mit der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ aufweisen, weshalb die Testergebnisse der Lernenden nichts über ihr spezifisches Vorwissen aussagen können.

Auswertungsverfahren: Hierarchische Regressionsanalyse mit Multipler Imputation

Die hierarchische Regressionsanalyse bringt unter anderem den Vorteil mit sich, dass die unabhängigen Variablen aufgrund theoretischer Überlegungen ins Modell eingeführt werden, weshalb alle erklärten Varianzanteile zuordenbar sind. Die für die hierarchische Regressionsanalyse verwendeten Daten stammten aus verschiedenen Quellen und waren teilweise zu unterschiedlichen Zeitpunkten erhoben worden. Deshalb wurden mit den hierarchischen Regressionsanalysen keine Kausalitäten, sondern multivariate Zusammenhänge ermittelt.

Da nicht alle Schülerinnen und Schüler an allen Datenerhebungen teilgenommen hatten (siehe Kapitel 5.6.1.1) und die kumulierte Missingness die Richtwerte überstieg, wurden die fehlenden Werte mit dem Verfahren der Multiplen Imputation geschätzt. Dies bringt jedoch einige Einschränkungen mit sich, unter anderem diejenige, dass nicht alle Daten verfügbar sind. Um beispielsweise die standardisierten Koeffizienten ausweisen zu können, wurde in der vorliegenden Arbeit mit z-transformierten Daten gerechnet. Die Einschränkungen, welche durch die Multiple Imputation erfolgten, wurden jedoch als geringer erachtet, als die Einschränkungen anderer statistischer Verfahren zum Umgang mit Missings. Beispielsweise hätte der fallweise Ausschluss zu einer erheblichen Reduktion der Stichprobe geführt.

7.3 Folgerungen

In diesem Kapitel werden Folgerungen für die Schulen und den Unterricht, die Lehrerinnen- und Lehrerbildung sowie die Forschung gezogen. Die Folgerungen ergeben sich einerseits unmittelbar aus den vorliegenden Ergebnissen und andererseits aus allgemeinen Überlegungen zum personalisierten Lernen und/oder zum Problemlösen.

7.3.1 Folgerungen für die Schulen und den Unterricht

Ein Ziel personalisierten Lernens ist der Aufbau der Problemlösekompetenz der Schülerinnen und Schüler (siehe v.a. Kapitel 2.2 und 3.7). Obwohl die untersuchten Lernenden insgesamt ausführlich über ihren eigenen Problemlöseprozess berichten konnten, haben viele von ihnen Schwierigkeiten beim konkreten Problemlösen gezeigt (siehe auch Kapitel 7.1.4). Im Hinblick auf das Ziel, dass Schülerinnen und Schüler lernen, Probleme systematisch anzugehen und verschiedene Problemlösestrategien zweckmässig und zielorientiert einzusetzen, lassen sich aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie zwei Folgerungen für die perLen-Schulen ableiten: (1) In Anbetracht der grossen Bedeutung, die dem Problemlösen ganz generell zugeschrieben wird und die sich in Zukunft noch weiter erhöhen dürfte, scheint es unabdingbar zu

sein, dass die Schulen künftig noch verstärkt darauf achten sollten, verschiedene, qualitätsvolle Lerngelegenheiten für den Aufbau der Problemlösefähigkeiten bereitzustellen (siehe auch Qualitätsdimensionen guten Unterrichts: kognitive Aktivierung). (2) Ein Aspekt, der für den Erfolg der in Folgerung (1) genannten Massnahme entscheidend ist und daher in direktem Zusammenhang damit gesehen werden muss, ist, dass die Schülerinnen und Schüler beim Problemlösen adäquat unterstützt werden müssen (siehe auch Qualitätsdimensionen guten Unterrichts: unterstützendes Unterrichtsklima).

(1) Die Lernenden sollen während ihrer Schulzeit vielfältige Lerngelegenheiten erhalten, um fachliche und überfachliche Kompetenzen zu erwerben. Wie die Auswertungen der vorliegenden Arbeit gezeigt haben (siehe v.a. Kapitel 7.1.3), ist insbesondere das mathematische Wissen wichtig für das erfolgreiche Lösen des Verpackungsproblems (Einzelarbeit). Dies impliziert, dass für den Erwerb von Problemlösekompetenzen neben dem Aufbau überfachlicher Kompetenzen auch dem Aufbau fachlicher Kompetenzen weiterhin eine wichtige Rolle zukommen muss. Aus diesem Grund dürfte es erfolgversprechend sein, wenn in den Unterricht bewusst auch divergente, schlecht definierte sowie fächer- und themenübergreifende Problemlöseaufgaben eingebaut werden, an welchen verschiedene fachliche und überfachliche Fähigkeiten eingeübt werden können, die auch metakognitive, motivationale und volitionale Aspekte einschliessen. Für umfangreiche Problemlöseaufgaben bieten einige der Schulen mit personalisierten Lernkonzepten das organisatorische Potenzial, da durch das Aufheben des klassischen Lektionentaktes zeitliche Gefässe für längere Aufträge zur Verfügung stehen. Dadurch können die Schülerinnen und Schüler auch lernen, sich über einen längeren Zeitraum hinweg mit einer umfangreicheren Aufgabe auseinanderzusetzen und den Problemlöseprozess nicht beim ersten Hindernis abubrechen.

Da es vermehrt als wichtig angesehen wird, dass Probleme nicht nur allein, sondern auch gemeinsam erfolgreich gelöst werden können, sollen die Schülerinnen und Schüler auch dazu verschiedene Lerngelegenheiten während ihrer Schulzeit erhalten. Hierzu ist in perLen-Schulen ebenfalls das organisatorische Potenzial vorhanden: In den meisten perLen-Schulen gibt es viele Gruppenräume, in welchen sich die Lernenden bei Fragen austauschen oder von Beginn an gemeinsam Probleme lösen können. Wichtig ist diesbezüglich, dass die Lernenden zunächst lernen müssen, wie Hilfe angefordert und auch gegeben werden kann (siehe Kapitel 3.5.6) und wie sie qualitätsvolle Gruppengespräche im Sinne von Exploratory Talk führen können (siehe Kapitel 3.6.2). Dies könnte anhand eines spezifischen Trainings geschehen oder

auch implizit im Klassenverband, wenn die Lehrperson beispielsweise bewusst Schlüsselwörter des Exploratory Talks verwendet und so eine qualitätsvolle Gesprächskultur aufbaut. Denkbar sind auch Problemlöseaufgaben, welche mit einer Art kooperativem Skript versehen sind, an welches sich die Lernenden halten müssen und welches ihnen beim gemeinsamen Lösen hilft (z.B. jeweils zunächst allein einen Plan ausdenken, diesen anschliessend gemeinsam besprechen und begründet ein Vorgehen auswählen, aber auch Hinweise zur gemeinsamen Regulation des Problemlöseprozesses, siehe auch Kapitel 3.6.3).

(2) Den Lehrpersonen kommt trotz der Verschiebung der Verantwortung und der Urheberschaft von Lernprozessen von der lehrenden zur lernenden Person (siehe Kapitel 2.2) die Aufgabe zu, die Schülerinnen und Schüler beim konkreten Lösen von Problemen qualitativ zu unterstützen. Hilfreich ist, wenn Lehrpersonen die Schülerinnen und Schüler beim Problemlösen zumindest zu Beginn auch adaptiv unterstützen, und zwar nicht nur hinsichtlich organisatorischer Aspekte, sondern vor allem auch bei der inhaltlichen Auseinandersetzung mit der Aufgabe (siehe Kapitel 7.1.1). Um die Lernenden gut zu unterstützen, ist eine sorgfältige Unterrichtsvorbereitung und -planung zentral, da dadurch qualitätsvolle Unterstützungsprozesse ermöglicht werden (siehe auch Lipowsky & Lotz, 2015). Arbeiten die Schülerinnen und Schüler selbstständig in der Lernlandschaft, müssen sie in den meisten perLen-Schulen bei Schwierigkeiten zu den Lehrpersonen gehen („Holschuld“; siehe auch Kapitel 3.5.6). Dies kann aber dazu führen, dass weniger motivierte, ängstliche oder minimalistische Lernende sich aus verschiedenen Gründen nicht an die Lehrperson wenden, die zur Verfügung gestellte Zeit nicht optimal nutzen und nicht an den Problemlöseaufgaben wachsen können (siehe auch Kapitel 2.3). Lehrpersonen sollten deshalb in Phasen selbstständigen Lernens lernbegleitend unterstützen, auch wenn die Schülerinnen und Schüler nicht explizit Hilfe holen: Lehrpersonen obliegt es, umherzugehen, zu beobachten, für Fragen zur Verfügung zu stehen, Denkanstösse zu geben oder die Lernenden anzuregen und Lösungsansätze kritisch zu überprüfen (siehe auch Niggli, 2013).

Sinnvoll scheint, dass Arbeits- und Lernprozesse nicht nur in Lerntagebüchern etc. beschrieben werden (siehe auch Kapitel 2.4), sondern dass sie auch gemeinsam mit der Lehrperson, zum Beispiel hinsichtlich Effizienz, Passung und konkreter Umsetzung reflektiert werden (siehe auch Verschaffel et al., 2009). Auf diese Weise können die Lernenden neue Vorgehensweisen kennenlernen und diese in ihr Strategierepertoire aufnehmen und sich gleichzeitig nicht bewährter Vorgehensweisen bewusst werden. Wichtig ist weiter, dass nicht nur über

Problemlöseprozesse gesprochen wird, sondern dass diese danach auch an vielen verschiedenen konkreten Problemen ausprobiert und eingeübt werden können (siehe Punkt 1).

Insgesamt deuten die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit auf Entwicklungsbedarf hin, der darin besteht, dass die perLen-Schulen ihr organisatorisches, oberflächenstrukturelles Potenzial ausschöpfen und dank einer damit verbundenen qualitätsvollen Tiefenstruktur, insbesondere durch kognitiv aktivierende Problemlöseaufgaben und gute Unterstützung beim Problemlösen, die Lernenden beim systematischen Aufbau der Problemlösekompetenz unterstützen. Bei diesen Überlegungen muss allerdings berücksichtigt werden, dass in der vorliegenden Arbeit vor allem die Schülerinnen und Schüler fokussiert wurden („Nutzungsseite“) und hier Folgerungen für die „Angebotsseite“ gezogen wurden, da davon ausgegangen wird, dass Verbesserungspotenzial insbesondere beim tiefenstrukturellen Angebot liegt. Möglicherweise ist das von den Lehrpersonen bereitgestellte Angebot bereits sehr qualitativ, wird aber von den Lernenden erst ungenügend genutzt bzw. wahrgenommen. Dann würde sich jedoch die Frage aufdrängen, woran dies liegen könnte und welche Massnahmen umzusetzen wären, damit die Lernenden das Angebot besser nutzen könnten (siehe auch Kapitel 7.4).

7.3.2 Folgerungen für die Lehrerinnen- und Lehrerbildung

Deutschschweizer Schulen orientieren sich vermehrt an personalisierten Lernkonzepten. Es ist deshalb unabdingbar, dass personalisiertes Lernen neben anderen Konzepten der individuellen Förderung in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung explizit thematisiert wird. Konkret denkbar sind beispielsweise Kursinhalte zum adaptiven Unterstützen und Coachen von Lernenden in offenen Unterrichtsformaten. Wichtig scheint aufgrund der vorliegenden Ergebnisse insbesondere die Unterstützung bei der inhaltlichen Auseinandersetzung mit Problemen zu sein (siehe auch Kapitel 7.3.1). Neben theoretischen Inhalten in der Ausbildung sind auch Praktika in solchen individualisierenden Schulen wünschenswert, damit die angehenden Lehrpersonen Einblicke in solche Schulen erhalten und nicht nur theoretisch lernen, wie zum Beispiel Lernende in Phasen selbstständigen Lernens adaptiv unterstützt werden können (siehe auch Altrichter et al., 2009).

Aufbauend auf den Überlegungen aus Kapitel 7.3.1 zum Problemlösen besteht auch Bedarf in der Hinsicht, dass die angehenden Lehrpersonen lernen, herausfordernde, kognitiv aktivierende und kompetenzorientierte Problemlöseaufgaben zu stellen, an welchen die Lernenden wachsen können und die das Potenzial bieten, verschiedene kognitive, metakognitive oder

volitionale Fähigkeiten einzuüben. Als förderlich dürfte es sich in diesem Zusammenhang erweisen, wenn sich die angehenden Lehrpersonen während ihres Studiums auch mit ihren eigenen Problemlöseprozessen auseinandersetzen und später eine Modellfunktion für die Lernenden einnehmen können (siehe auch Askell-Williams et al., 2012).

7.3.3 Folgerungen für die Forschung

Bisher liegen für das personalisierte Lernen zur fachlichen und überfachlichen Wirksamkeit erst wenige empirische Nachweise vor (siehe Kapitel 2.3). Da personalisiertes Lernen nicht nur in der Schweiz, sondern in verschiedenen Ländern vermehrt umgesetzt wird, sind weitere empirische Untersuchungen erforderlich, um zu überprüfen, ob diese Reformideen tatsächlich die beabsichtigten fachlichen und überfachlichen Wirkungen zeigen. Eine Herausforderung bei der Untersuchung personalisierten Lernens liegt jedoch darin, dass jeweils von verschiedenen Ausgangslagen ausgegangen wird und sich die Studien auf unterschiedliche Aspekte der Personalisierung beziehen, weshalb die Ergebnisse nur schwer miteinander vergleichbar sind. Deshalb braucht es auch weitere Überlegungen zur Theoriebildung im Bereich des personalisierten Lernens.

Eine weitere Schwierigkeit liegt in der Erfassung der vom personalisierten Lernen intendierten Wirkungen wie beispielsweise hinsichtlich der Förderung der Problemlösekompetenz oder der Selbstständigkeit (siehe auch Kapitel 2.3). In der vorliegenden Arbeit hat sich gezeigt, dass insbesondere das fachliche Wissen eine Rolle dafür gespielt hat, wie erfolgreich die Lernenden die Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ zu lösen vermochten. Dieses Ergebnis könnte auch daraus resultieren, dass die Problemlöseaufgabe und der eingesetzte Leistungstest gar nicht so unterschiedliche Fähigkeiten massen, wie angenommen worden war. Dies führt zur Frage, ob es neuere Instrumente braucht, um die Fähigkeit des Problemlösens im Kontrast zum mathematischen Wissen abbilden zu können, und ob die im 21. Jahrhundert als zentral erachteten Kompetenzen wie die Problemlösekompetenz überhaupt mit einem Instrument aus dem 20. Jahrhundert gemessen werden können. Aus methodischer Sicht besteht deshalb Bedarf, bestehende Instrumente kritisch zu überdenken und diese allenfalls anzupassen bzw. neue Instrumente zu entwickeln. Bestrebungen in diese Richtung sind unter anderem im Kontext von PISA vorhanden. Solche Überlegungen gelten auch für Items und Skalen, damit sie es nach einer Weiterentwicklung ermöglichen, verschiedene Aspekte und Dimensionen personalisierten Lernens und anderer offener Unterrichtskonzepte valide zu erfassen (siehe auch Überlegungen zur Erhebung von Qualitätsmerkmalen guten Unterrichts in Kapitel 7.2.3).

7.4 Weiterführende Fragen

Die vorliegende Arbeit stellt einen ersten Versuch dar, einen Einblick in das Problemlösen von Lernenden aus perLen-Schulen zu gewinnen. Die Frage, wie Schülerinnen und Schüler in solchen Schulen Probleme lösen, bedarf jedoch noch weiterer Klärung: Einerseits könnten mit den vorhandenen Daten weitere Analysen durchgeführt werden und andererseits ergeben sich aus der Arbeit auch neue, daran anknüpfende Fragestellungen. Auf diese beiden Punkte wird im Folgenden einzeln eingegangen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschiedene Daten erhoben, welche noch vertieft ausgewertet werden könnten. Potenzial liegt insbesondere in den selbstberichteten Vorgehensweisen beim Problemlösen. Hier könnte analysiert werden, wie stringent und sinnvoll das selbstbeschriebene Vorgehen war, denn in der vorliegenden Untersuchung wurde vor allem die Anzahl berichteter Vorgehensweisen und nicht deren Qualität ausgewertet (siehe dazu auch Kapitel 7.1.3). Eine solche Analyse dürfte jedoch aufschlussreich sein, da es je nach Problemtyp ausgereifere, elaboriertere, aber stets auch weniger zielführende Vorgehensweisen gibt (z.B. VOTAT vs. unsystematisches Ausprobieren, siehe Kapitel 3.5.2). Überdies könnte eingeschätzt werden, ob eine bestimmte Vorgehensweise im konkreten Fall zweckmässig war (z.B. Einsatz von Hilfsmitteln). Dazu würden sich beispielsweise Ratings eignen. Beim Problemlösen sind des Weiteren auch Rücklaufschleifen möglich, welche in der vorliegenden Arbeit empirisch nicht berücksichtigt worden sind. Mithilfe dieser zusätzlichen Auswertungen könnten weitere Hinweise in Bezug auf die Frage gefunden werden, welche Vorgehensweisen nötig sind bzw. wie die Vorgehensweisen zusammenspielen müssen, damit Probleme erfolgreich gelöst werden können.

Ebenfalls erhoben wurde die Gruppenleistung beim Problemlösen. Dies würde eine Grundlage zur Untersuchung der individuellen Leistungen beim gemeinsamen Problemlösen bieten. In diesem Zusammenhang könnte ausführlicher der Frage nachgegangen werden, wie die Einzel- und Gruppenleistung zusammenhängen. Potenzial für vertiefende Auswertungen liegt auch in den videografierten Gesprächen während des gemeinsamen Problemlösens. Mögliche Fragen wären: Wieso unterscheiden sich die Lernenden teilweise so stark in der Gesprächsbeteiligung? Wer hat welche Rolle in der Gruppe inne? Wie lässt sich die Qualität der einzelnen Beiträge beschreiben? Sind die Sprechpausen produktiv? Wodurch lassen sich die Lernenden ablenken? An welchem Punkt im Problemlöseprozess und wieso geben die Lernenden auf? Aus methodischer Sicht wären zur Bearbeitung solcher Fragestellungen auch feinere, spezifischere

Analysen wie Partizipations- oder Interaktionsanalysen denkbar (z.B. Krummheuer & Brandt, 2001; Krummheuer & Fetzner, 2005).

Da die Schulen personalisiertes Lernen auf der Oberfläche und/oder der Tiefenstruktur ganz unterschiedlich umsetzen, könnten die verschiedenen Auswertungen im Sinne von Fallanalysen zusätzlich nach Schule differenziert durchgeführt werden. Längerfristiges Ziel, auch unter Berücksichtigung weiterer Forschung zum personalisierten Lernen, sollte das Identifizieren von Gelingensbedingungen personalisierten Lernens hinsichtlich verschiedener Aspekte (fachlicher und überfachlicher Kompetenzaufbau, Selbstständigkeit etc.) sein.

Neben den zusätzlichen Auswertungen bestehender Daten wäre auch das Hinzuziehen weiterer Daten denkbar. Da beim Verpackungsproblem (Einzelarbeit) ungenügendes Zeitmanagement beobachtet werden konnte (v.a. zu wenig Zeit für die letzte Aufgabe), wäre es aufschlussreich, zu untersuchen, wie die Schülerinnen und Schüler die Zeit im Schulalltag beim individuellen Arbeiten nutzen und einteilen. Dabei könnte auch der Frage nachgegangen werden, ob es möglicherweise je nach Leistungsniveau Unterschiede gibt (siehe auch Kapitel 2.3). In diesem Zusammenhang würde auch interessieren, ob und wie die Schülerinnen und Schüler die Zeit nutzen, um gemeinsam zu lernen und Probleme zu lösen, da sich gezeigt hat, dass die vertieft untersuchten Gruppen beim gemeinsamen Lösen des Verpackungsproblems wenig ausdauernd waren und zum Teil auch längere Zeit über aufgabenfremde Themen gesprochen haben.

Angezeigt sein könnte des Weiteren auch eine Replikation oder eine Erweiterung der vorliegenden Untersuchung. Zum Lösen des Verpackungsproblems wurden unter anderem nur wenige metakognitive Fähigkeiten benötigt (siehe auch Kapitel 3.5.9) und es stellt sich im Anschluss an die Untersuchung die Frage, wie die Problemlösefähigkeit von perLen-Lernenden bei einem umfangreicheren, eher schlecht definierten Problem aussehen würde, welches auch weniger Ähnlichkeiten mit Aufgaben aus dem Klassencockpit aufweist (siehe auch Kapitel 7.3.3). Im Rahmen einer solchen Studie könnte untersucht werden, wie die Lernenden je nach Umsetzung und Akzentsetzung der Personalisierung verschiedene Probleme lösen. Methodisch wäre eine solche Untersuchung allerdings herausfordernd, da schlecht definierte Probleme noch mehr Lösungsspielraum bieten als das Verpackungsproblem. Denkbar ist, dass die Lösungen und Lösungswege der Schülerinnen und Schüler anhand eines Ratings eingeschätzt würden, beispielsweise hinsichtlich Passung zum Problem, Effizienz oder Qualität.

Wie in Kapitel 7.3.1 bereits festgehalten wurde, stand in der vorliegenden Forschungsarbeit vor allem die Seite der Schülerinnen und Schüler im Mittelpunkt („Nutzungsseite“). Das Ergebnis, dass die Lernenden das Verpackungsproblem eher schlechter gelöst hatten als erwartet, wurde unter anderem auf Mängel im Angebot zurückgeführt. Wie das Angebot bezüglich Problemlösen in den perLen-Schulen tatsächlich aussieht, wurde jedoch kaum berücksichtigt. Um einen ganzheitlicheren Blick auf das Problemlösen in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten zu erhalten und auch um das Zusammenspiel von Angebot und Nutzung diesbezüglich besser zu verstehen, wäre es erforderlich, zusätzlich das Angebot in den perLen-Schulen umfassend zu untersuchen (z.B. bereitgestellte Problemlöseaufgaben oder Unterstützung durch die Lehrperson) und diese Befunde in Bezug zu den vorliegenden Ergebnissen zu setzen.

8 Literaturverzeichnis

- Achtziger, A. & Gollwitzer, P. M. (2010). Motivation und Volition im Handlungsverlauf. In J. Heckhausen & H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation und Handeln (4., überarbeitete und erweiterte Auflage)* (S. 309-335). Berlin: Springer.
- Aebli, H. (1976). *Grundformen des Lehrens: Eine Allgemeine Didaktik auf kognitionspsychologischer Grundlage (9. Auflage)*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aebli, H. (1981). *Denken, das Ordnen des Tuns (2. Band)*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aebli, H. (1983). *Zwölf Grundformen des Lehrens*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aebli, H. (2011). *Zwölf Grundformen des Lehrens (14. Auflage)*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Affolter, W., Beerli, G., Hurschler, H., Jaggi, B., Jundt, W., Krummenacher, R., Nydegger, A., Wälti, B. & Wieland, G. (2013). *mathbuch 1. Mathematik für die Sekundarstufe I*. Bern/Baar: Schulverlag plus/Klett und Balmer.
- Affolter, W., Beerli, G., Hurschler, H., Jaggi, B., Jundt, W., Krummenacher, R., Nydegger, A., Wälti, B. & Wieland, G. (2014). *mathbuch 2. Mathematik für die Sekundarstufe I*. Bern/Baar: Schulverlag plus/Klett und Balmer.
- Affolter, W., Beerli, G., Hurschler, H., Jaggi, B., Jundt, W., Krummenacher, R., Nydegger, A., Wälti, B. & Wieland, G. (2015). *mathbuch 3. Mathematik für die Sekundarstufe I*. Bern/Baar: Schulverlag plus/Klett und Balmer.
- Agostini, E., Schratz, M. & Risse, E. (2018). *Lernseits denken – erfolgreich unterrichten. Personalisiertes Lehren und Lernen in der Schule*. Hamburg: AOL.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16 (3), 183-198.
- Alexander, R. (2008). *Towards dialogic teaching: Rethinking classroom talk (fourth edition)*. York: Dialogos.
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J. & Tenenbaum, H. R. (2010). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103 (1), 1-18.
- Altrichter, H., Trautmann, M., Wischer, B., Sommerauer, S. & Doppler, B. (2009). Unterrichten in heterogenen Gruppen. Das Qualitätspotenzial von Individualisierung, Differenzierung und Klassenschülerzahl. In W. Specht (Hrsg.), *Nationaler Bildungsbericht Österreich 2009. 2. Fokussierte Analysen bildungspolitischer Schwerpunktthemen* (S. 341-360). Graz: Leykam.
- Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- André, F. & Halbheer, U. (2017). Aktuelle Schul- und Unterrichtsentwicklungen in der Schweiz. Das Beispiel der MOSAIK-Sekundarschulen. *Lehren & Lernen. Zeitschrift für Schule und Innovation aus Baden-Württemberg*, 3, 20-26.
- Arbinger, R. (1997). *Psychologie des Problemlösens. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Darmstadt: Primus.
- Artelt, C., Demmrich, A. & Baumert, J. (2001). Selbstreguliertes Lernen. In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, P. Stanat, K.-J. Tillmann & M. Weiss (Hrsg.), *PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Bereich* (S. 271-298). Opladen: Leske + Budrich.
- Artzt, A. F. & Armour-Thomas, E. (1992). Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups. *Cognition and Instruction*, 9 (2), 137-175.
- Artzt, A. F. & Armour-Thomas, E. (1997). Mathematical problem solving in small groups: Exploring the interplay of students' metacognitive behaviors, perceptions, and ability levels. *Journal of Mathematical Behavior*, 16 (1), 63-74.

- Askell-Williams, H., Lawson, M. & Skrzypiec, G. (2012). Scaffolding cognitive and metacognitive strategy instruction in regular class lessons. *Instructional Science*, 40 (2), 413-443.
- Assmus, D. & Förster, F. (2015). ViStAD – Analoges Denken beim Problemlösen – Förderliche und hinderliche Bedingungen bei Analogieerkennung und Analogienutzung. In A. Kuzle & B. Rott (Hrsg.), *Problemlösen gestalten und beforschen. Tagungsband der Herbsttagung des GDM-Arbeitskreises Problemlösen in Münster 2014* (S. 1-31). Münster: WTM.
- Assmus, D. & Fritzlär, T. (2014). Analogieerkennung im Problemlöseprozess – ein Verlaufsmodell. In J. Roth & J. Ames (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2014* (S. 113-116). Münster: WTM.
- Atteslander, P. (2010). *Methoden der empirischen Sozialforschung (13., neu bearbeitete und erweiterte Auflage)*. Berlin: Erich Schmidt.
- Baeriswyl, F. & Schmid, M. (2014). An Aufgaben lernen. Am Lernen das Können erkennen. *Lernchancen*, 97, 8-13.
- Bakeman, R. & Gottman, J. M. (1986). *Observing interaction: An introduction to sequential analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Baker, L. (1994). Fostering metacognitive development. *Advances in child development and behavior*, 25, 201-239.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Bangert, R. L., Kulik, J. A. & Kulik, C.-L. C. (1983). Individualized systems of instruction in secondary schools. *Review of Educational Research*, 53 (2), 143-158.
- Barnes, M. (1999). *Cumulative and exploratory talk in a collaborative learning classroom*. Vortrag an der 22nd Conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia, Adelaide, Australia.
- Barron, B. (2003). When smart groups fail. *The Journal of the Learning Sciences*, 12 (3), 307-359.
- Barzel, B., Hussmann, S., Leuders, T. & Prediger, S. (Hrsg.). (2012). *mathewerkstatt 5. Handreichungen mit Erläuterungen zum Konzept*. Berlin: Cornelson.
- Bassok, M. (2003). Analogical transfer in problem solving. In J. E. Davidson & R. Sternberg (Hrsg.), *The psychology of problem solving* (S. 343-370). Cambridge: Cambridge University Press.
- Baxter, G. P., Shavelson, R. J., Herman, S. J., Brown, K. A. & Valadez, J. R. (1993). Mathematics performance assessment: Technical quality and diverse student impact. *Journal for Research in Mathematics Education*, 24 (3), 190-216.
- Beaton, A. E., Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Gonzalez, E. J., Kelly, D. L. & Smith, T. A. (Hrsg.). (1996). *Mathematics achievement in the middle school years: IEA's Third International Mathematics and Science Study*. Chestnut Hill: Boston College.
- Beaton, A. E. & Robitaille, D. F. (1999). An overview of the Third International Mathematics and Science Study. In G. Kaiser, E. Luna & I. Huntley (Hrsg.), *International comparisons in mathematics education* (S. 30-47). London: Falmer Press.
- Beck, E., Guldemann, T. & Zutavern, M. (1991). Eigenständig lernende Schülerinnen und Schüler. *Zeitschrift für Pädagogik*, 37, 735-768.
- Becker, G. E. (2007). *Unterricht auswerten und beurteilen. Handlungsorientierte Didaktik. Teil III*. Weinheim: Beltz.
- Behnke, J. (2015). *Logistische Regressionsanalyse. Eine Einführung*. Wiesbaden: Springer.

- Bellavance, M. (2014). Personalized learning Maine style. *Educational Leadership*, 71 (9), 62-65.
- Berelson, B. (1952). *Content analysis in communication research*. New York: Hafner Press.
- Betsch, T., Funke, J. & Plessner, H. (2011). *Denken – Urteilen, Entscheiden, Problemlösen*. Berlin: Springer.
- Bill & Melinda Gates Foundation. (2014). Early progress. Interim research on personalized learning. Verfügbar unter: <http://collegeready.gatesfoundation.org/sites/default/files/Early%20Progress%20Interim%20Report%20on%20Personalized%20Learning%20-%20Full%20Report.pdf>
- Bliss, C. I. (1967). *Statistics in biology (volume 1)*. New York: McGraw-Hill.
- Blum, W. & Leiss, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der „Tanken“-Aufgabe. *mathematik lehren*, 128, 18-21.
- Bodemer, D. (2013). Multiple externe Repräsentationen. In M. A. Wirtz (Hrsg.), *Lexikon der Psychologie (16. Auflage)* (S. 1064). Bern: Huber.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today. *International Journal of Educational Research*, 31 (6), 445-457.
- Bohl, T. (2017). Umgang mit Heterogenität im Unterricht: Forschungsbefunde und didaktische Implikationen. In T. Bohl, J. Budde & M. Rieger-Ladich (Hrsg.), *Umgang mit Heterogenität in Schule und Unterricht. Grundagentheoretische Beiträge, empirische Befunde und didaktische Reflexionen* (S. 257-273). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Bohl, T., Batzel, A. & Richey, P. (2011). Öffnung – Differenzierung – Individualisierung – Adaptivität. Charakteristika, didaktische Implikationen und Forschungsbefunde verwandter Unterrichtskonzepte zum Umgang mit Heterogenität. *Schulpädagogik heute*, 2 (4), 1-23.
- Boonen, A. J., Reed, H. C., Schoonenboom, J. & Jolles, J. (2016). It's not a math lesson – we're learning to draw! Teachers' use of visual representations in instructing word problem solving in sixth grade of elementary school. *Frontline Learning Research*, 4 (5), 55-82.
- Borge, M. & White, B. (2016). Toward the development of socio-metacognitive expertise: An approach to developing collaborative competence. *Cognition and Instruction*, 34 (4), 323-360.
- Bortz, J. & Döring, N. (2009). *Forschungsmethoden und Evaluation (4. Auflage)*. Heidelberg: Springer.
- Bransford, J. D., Sherwood, R. & Sturdevant, T. (1987). Teaching thinking and problem solving. In J. B. Baron & R. J. Sternberg (Hrsg.), *Teaching thinking skills. Theory and practice* (S. 162-181). New York: Freeman.
- Bransford, J. D. & Stein, B. S. (1984). *The ideal problem solver. A guide for improving thinking, learning, and creativity*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Bransford, J. D. & Stein, B. S. (1993). *The ideal problem solver. A guide for improving thinking, learning, and creativity (second edition)*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Bray, B. & McClaskey, K. (2013). A step-by-step guide to personalize learning. *Learning & Leading with Technology*, 40 (7), 12-19.
- Bray, B. & McClaskey, K. (2015). *Make learning personal. The what, who, wow, where and why*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Bray, B. & McClaskey, K. (2017). *How to personalize learning: A practical guide for getting started and going deeper*. Thousand Oaks, CA: Corwin.
- Breidenstein, G. (2018). Schülerpraktiken. In M. Proske & K. Rabenstein (Hrsg.), *Kompendium Qualitative Unterrichtsforschung. Unterricht beobachten - beschreiben - rekonstruieren* (S. 189-206). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

- Breidenstein, G. & Rademacher, S. (2016). Individualisierung und Standardisierung von Unterrichtszeit. Empirische Beobachtungen und Analysen. In K. Rabenstein & B. Wischer (Hrsg.), *Individualisierung schulischen Lernens. Mythos oder Königsweg?* (S. 16-32). Seelze: Klett/Kallmeyer.
- Brim, O. G., Glass, D. C., Lavin, D. E. & Goodman, N. (1962). *Personality and decisions processes: Studies in the social psychology of thinking*. Stanford: Stanford University Press.
- Brown, A. L. (1984). Metakognition, Handlungskontrolle, Selbststeuerung und andere, noch geheimnisvollere Mechanismen. In F. W. Weinert & R. H. Kluwe (Hrsg.), *Metakognition, Motivation und Lernen* (S. 60-109). Stuttgart: Kohlhammer.
- Bruder, R. (1992). Problemlösen lernen – aber wie? Ein altes, aber nicht befriedigend gelöstes Thema? *mathematik lehren*, 52, 6-12.
- Bruder, R. (2002). Lernen, geeignete Fragen zu stellen. Heuristik im Mathematikunterricht. *mathematik lehren*, 115, 4-8.
- Bruder, R. (2018). Fachliche Unterrichtsqualität im Kontext der Basisdimensionen guten Unterrichts aus mathematikdidaktischer Perspektive. In M. Martens, K. Rabenstein, K. Bräu, M. Fetzer, H. Gresch, I. Hardy & C. Schelle (Hrsg.), *Konstruktionen von Fachlichkeit. Ansätze, Erträge und Diskussionen in der empirischen Unterrichtsforschung* (S. 203-218). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Bruder, S., Perels, F., Schmitz, B. & Bruder, R. (2004). Die Förderung selbstregulierten Lernens bei der Hausaufgabenbearbeitung – Evaluation eines Schüler- und Elterntrainings auf der Basis von Prozessdaten. In B. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Schulische und außerschulische Ansätze zur Verbesserung der Bildungsqualität* (S. 377-398). Münster: Waxmann.
- Brügelmann, H. (1997). Die Öffnung des Unterrichts muß radikaler gedacht, aber auch klarer strukturiert werden. In H. Balhorn & H. Niemann (Hrsg.), *Sprachen werden Schrift. Mündlichkeit – Schriftlichkeit – Mehrsprachigkeit* (S. 43-61). Lengwil am Bodensee: Libelle.
- Bruner, J. S. (1974). *Entwurf einer Unterrichtstheorie*. Berlin: Arno Spitz.
- Brunner, E. (2013). *Innermathematisches Beweisen und Argumentieren in der Sekundarstufe I. Mögliche Erklärungen für systematische Bearbeitungsunterschiede und leistungsförderliche Aspekte*. Münster: Waxmann.
- Büchel, F. P. & Büchel, P. (2015). *DELV – Das Eigene Lernen Verstehen. Ein Programm zur Förderung des selbstregulierten Lernens und Denkens bei Jugendlichen und Erwachsenen*. Bern: hep.
- Bühl, A. (2014). *SPSS 22. Einführung in die moderne Datenanalyse (14., aktualisierte Auflage)*. Hallbergmoos: Pearson.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion (3., aktualisierte Auflage)*. München: Pearson.
- Camacho-Morlesa, J., Slempa, G. R., Oadesa, L. G., Morrisha, L. & Scoular, C. (2019). The role of achievement emotions in the collaborative problem-solving performance of adolescents. *Learning and Individual Differences*, 70, 169-181.
- Campell, R. J., Robinson, W., Neelands, J., Hewston, R. & Mazzoli, L. (2007). Personalised learning: Ambiguities in theory and practice. *British Journal of Educational Studies*, 55 (2), 135-154.
- Care, E. & Griffin, P. (2017). Assessment of collaborative problem-solving processes. In B. Csapò & J. Funke (Hrsg.), *The nature of problem solving: Using research to inspire 21st century learning* (S. 227-243). Paris: OECD.

- Catrysse, L., Gijbels, D., Donche, V., De Maeyer, S., Van den Bosschen, P. & Gommers, L. (2016). Mapping processing strategies in learning from expository text: An exploratory eye tracking study followed by a cued recall. *Frontline Learning Research*, 4 (1), 1-16.
- Clarke, J. H. (2014). Adapting secondary schools to personalized learning. *Principal Leadership*, 15 (1), 38-42.
- Clauß, G., Finze, F.-R. & Partzsch, L. (1995). *Statistik für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner. Grundlagen (Band 1, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Thun: Harri Deutsch.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112 (1), 155-159.
- Collet, C. (2009). *Förderung von Problemlösekompetenz in Verbindung mit Selbstregulation. Wirkungsanalysen von Lehrerfortbildungen*. Münster: Waxmann.
- Corno, L. & Kanfer, R. (1993). The role of volition in learning and performance. *Review of Research in Education*, 19, 301-341.
- Corvacho del Toro, I., Berner, N. E. & Mösko, E. (2013). Richtlinien zu den Film- und Tonaufnahmen der PERLE-Videostudien. In F. Lipowsky & G. Faust (Hrsg.), *Dokumentation der Erhebungsinstrumente des Projekts „Persönlichkeits- und Lernentwicklung von Grundschulkindern“ (PERLE) – Teil 3. M. Lotz, F. Lipowsky & G. Faust: Technischer Bericht zu den PERLE-Videostudien* (S. 53-65). Frankfurt: DIPF/GFPF.
- Cossi, G. (2018). Dokumentation zum Klassencockpit Deutsch und Mathematik. Unveröffentlichte Projektversion. In K. Reusser, C. Pauli & R. Stebler (Hrsg.), *Dokumentation der Erhebungs- und Auswertungsinstrumente des Projektes „Personalisierte Lernkonzepte in heterogenen Lerngruppen“ (perLen)*. Zürich/Freiburg: Universität Zürich/Universität Freiburg.
- Cress, U. (1999). *Personale und situative Einflussfaktoren auf das selbstgesteuerte Lernen Erwachsener*. Regensburg: S. Roderer.
- Croci, A., Imgrüth, P., Landwehr, N. & Spring, K. (1995). *ELF – ein Projekt macht Schule*. Aarau: NWEDK.
- Csapò, B. & Funke, J. (2017). The development and assessment of problem solving in 21st-century schools. In B. Csapò & J. Funke (Hrsg.), *The nature of problem solving: Using research to inspire 21st century learning* (S. 19-32). Paris: OECD.
- Curran, P. J., West, S. G. & Finch, J. F. (1996). The robustness of test statistics to nonnormality and specification error in confirmatory factor analysis. *Psychological Methods*, 1 (1), 19-29.
- D-EDK. (2015). *Lehrplan 21*. Luzern: Deutschschweizer Erziehungsdirektoren-Konferenz.
- DCSF. (2008a). Personalised learning. A policy overview. Verfügbar unter: http://www.complexneeds.org.uk/modules/Module-4.1-Working-with-other-professionals/All/downloads/m13p070b/personalised_learning_policy_overview.pdf
- DCSF. (2008b). *Personalised learning. A practical guide*. Nottingham: DCSF Publications.
- De Corte, E. (1995). Fostering cognitive growth: A perspective from research on mathematics learning and instruction. *Educational Psychologist*, 30 (1), 37-56.
- De Corte, E., Depaepe, F., Op 't Eynde, P. & Verschaffel, L. (2011). Students' self-regulation of emotions in mathematics: An analysis of meta-emotional knowledge and skills. *ZDM*, 43, 483-495.
- De Corte, E., Greer, B. & Verschaffel, L. (1996). Mathematics teaching and learning. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Hrsg.), *Handbook of educational psychology* (S. 491-549). New York: Macmillan.

- De Corte, E., Verschaffel, L. & Op 't Eynde, P. (2000). Self-regulation. A characteristic and a goal of mathematics education. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 687-726). San Diego: Elsevier.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York: Plenum Press.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39, 223-238.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2008). Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health. *Canadian Psychology*, 49 (3), 182-185.
- Dellios, Z. & Schmid, M. (2017). *Analyse Klassencockpit Deutsch. Unveröffentlichte Auswertungen*. Zürich/Freiburg: Universität Zürich/Universität Freiburg.
- Dewey, J. (1910). *How we think*. Boston: Heath.
- Dewey, J. (1933). *How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process*. Boston: Heath.
- Dewey, J. (2002). *Wie wir denken. Mit einem Nachwort neu herausgegeben von Rebekka Horlacher und Jürgen Oelkers*. Zürich: Pestalozzianum.
- DfES. (2001). *Schools achieving success*. Norwich: TSO.
- DfES. (2004a). *Five year strategy for children and learners. Putting people at the heart of public services*. Norwich: TSO.
- DfES. (2004b). *A national conversation about personalised learning*. Nottingham: DfES Publications.
- Diekmann, A. (2013). *Empirische Sozialforschung: Grundlagen, Methoden, Anwendungen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Dignath, C. & Büttner, G. (2008). Components of fostering self-regulated learning among students. A meta-analysis on intervention studies at primary and secondary school level. *Metacognition and Learning*, 3, 231-264.
- Döring, N. (2013). Cohens Kappa. In M. A. Wirtz (Hrsg.), *Lexikon der Psychologie (16. Auflage)* (S. 330). Bern: Huber.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften (5. Auflage)*. Berlin: Springer.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Misslingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Dörner, D., Kreuzig, H. W., Reither, F. & Stäudel, T. (Hrsg.). (1983). *Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Huber.
- Drollinger-Vetter, B. (2011). *Verstehenselemente und strukturelle Klarheit. Fachdidaktische Qualität der Anleitung von mathematischen Verstehensprozessen im Unterricht*. Münster: Waxmann.
- Duncker, K. (1935/1974). *Zur Psychologie des produktiven Denkens (3. unveränderte Auflage)*. Berlin: Springer.
- Edelmann, W. & Wittmann, S. (2012). *Lernpsychologie (7., vollständig überarbeitete Auflage)*. Weinheim: Beltz.
- Eder, F. (1999). *Offenes Lernen am BG Dornbirn (Evaluationsbericht)*. Linz: Institut für Pädagogik und Psychologie der Universität Linz.
- Efklides, A. & Petkaki, C. (2005). Effects of mood on students' metacognitive experiences. *Learning and Instruction*, 15 (5), 415-431.
- Ehret, C. (2017). *Mathematisches Schreiben. Modellierung einer fachbezogenen Prozesskompetenz*. Wiesbaden: Springer Spectrum.

- Eid, M., Gollwitzer, M. & Schmitt, M. (2015). *Statistik und Forschungsmethoden (4., überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Weinheim: Beltz.
- Enders, C. K. (2010). *Applied missing data analysis*. New York: The Guilford Press.
- Ennis, R. H. (1987). A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities. In J. B. Baron & R. J. Sternberg (Hrsg.), *Teaching thinking skills. Theory and practice* (S. 9-26). New York: Freeman.
- Escher, D. & Messner, H. (2015). *Lernen in der Schule. Ein Studienbuch (2., überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Bern: hep.
- Faßnacht, G. (1995). *Systematische Verhaltensbeobachtung. Eine Einführung in die Methodologie und Praxis (2. Auflage)*. München: Ernst Reinhardt.
- Fend, H. (1984). Determinanten von Schulleistungen: Wie wichtig sind die Lehrer? *Unterrichtswissenschaft*, 12 (1), 68-86.
- Fend, H. (2019). Erklärungen von Unterrichtserträgen im Rahmen des Angebot-Nutzungs-Modells. In U. Steffens & R. Messner (Hrsg.), *Unterrichtsqualität. Konzepte und Bedingungen qualitätvollen Unterrichts. Grundlagen der Qualität von Schule 3* (S. 91-103). Münster: Waxmann.
- Fischer, A., Greiff, S., Wüstenberg, S., Fleischer, J., Buchwald, F. & Funke, J. (2015). Assessing analytic and interactive aspects of problem solving competency. *Learning and Individual Differences*, 39, 172-179.
- Fleiss, J. L. (1981). *Statistical methods for rates and proportions (second edition)*. New York: John Wiley & Sons.
- Fraefel, U. (2011). Was ist unter „Lernprozessbegleitung“ zu verstehen? In H. Berner, U. Fraefel & B. Zumsteg (Hrsg.), *Didaktisches handeln und denken 1. Fokus angeleitetes Lernen* (S. 180-201). Zürich: Pestalozzianum.
- Franke, M. & Ruwisch, S. (2010). *Didaktik des Sachrechnens in der Grundschule (2. Auflage)*. Heidelberg: Spektrum.
- Frenzel, A. C., Götz, T. & Pekrun, R. (2015). Emotion. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie (2. Auflage)* (S. 201-224). Berlin: Springer.
- Frenzel, A. C. & Stephens, E. J. (2011). Emotionen. In T. Götz (Hrsg.), *Emotion, Motivation und selbstreguliertes Lernen* (S. 16-77). Paderborn: Schöningh.
- Fretwurst, B. (2015). Reliabilität und Validität von Inhaltsanalysen. Mit Erläuterungen zur Berechnung des Reliabilitätskoeffizienten „Lotus“ mit SPSS. In W. Wirth, K. Sommer, M. Wettstein & J. Matthes (Hrsg.), *Methoden und Forschungslogik der Kommunikationswissenschaft. 12 Qualitätskriterien in der Inhaltsanalyse* (S. 176-203). Köln: Herbert von Halem.
- Friedrich, H. F. & Mandl, H. (1992). Lern- und Denkstrategien – ein Problemaufriß. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien. Analyse und Intervention* (S. 3-54). Göttingen: Hogrefe.
- Friedrich, H. F. & Mandl, H. (2006). Lernstrategien: Zur Strukturierung des Forschungsfeldes. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 1-23). Göttingen: Hogrefe.
- Fritz, A., Hussy, W. & Tobinski, D. (2014). *Pädagogische Psychologie (2. Auflage)*. München: Ernst Reinhardt.
- Fromm, S. (2012). Multiple lineare Regressionsanalyse. In S. Fromm (Hrsg.), *Datenanalyse mit SPSS für Fortgeschrittene 2: Multivariate Verfahren für Querschnittsdaten (2. Auflage)* (S. 83-106). Wiesbaden: Springer.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. Stuttgart: Kohlhammer.

- Funke, J. (2006a). Denken: Ansätze und Definitionen. In J. Funke & P. Frensch (Hrsg.), *Handbuch der Allgemeinen Psychologie – Kognition* (S. 391-399). Göttingen: Hogrefe.
- Funke, J. (2006b). Komplexes Problemlösen. In J. Funke (Hrsg.), *Denken und Problemlösen (Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie II: Kognition, Band 8)* (S. 375-446). Göttingen: Hogrefe.
- Funke, J. (2015). Problemlösungstheorien. In M. Galliker & U. Wolfradt (Hrsg.), *Kompandium psychologischer Theorien* (S. 353-355). Frankfurt: Suhrkamp.
- Funke, J. & Zumbach, J. (2006). Problemlösen. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 206-220). Hogrefe: Göttingen.
- Garden, R. A. (1997). *Performance assessment in the Third International Mathematics and Science Study: New Zealand results*. Wellington: Ministry of Education.
- Garden, R. A. (1999). Development of TIMSS performance assessment tasks. *Studies in Educational Evaluation*, 25, 217-241.
- Garner, R. & Alexander, P. A. (1989). Metacognition: Answered and unanswered questions. *Educational Psychologist*, 24, 1143-1158.
- Garofalo, J. & Lester, F. K. (1985). Metacognition, cognitive monitoring, and mathematical performance. *Journal for Research in Mathematics Education*, 18 (3), 163-176.
- Giaconia, R. M. & Hedges, L. V. (1982). Identifying features of effective open education. *Review of Educational Research*, 52 (4), 579-602.
- Gillies, R. M. (2016). Dialogic interactions in the cooperative classroom. *International Journal of Educational Research*, 76, 178-189.
- Gillies, R. M. & Khan, A. (2008). The effects of teacher discourse on students' discourse, problem-solving and reasoning during cooperative learning. *International Journal of Educational Research*, 47, 323-340.
- Gillies, R. M. & Khan, A. (2009). Promoting reasoned argumentation, problem-solving and learning during small-group work. *Cambridge Journal of Education*, 39 (1), 7-27.
- Glaser, R. & Chi, M. T. H. (1988). Overview. In M. T. H. Chi, R. Glaser & M. J. Farr (Hrsg.), *The nature of expertise* (S. 15-28). Hillsday, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Gold, A. (2015). *Guter Unterricht. Was wir wirklich darüber wissen*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Gonzalez, E. J. & Smith, T. A. (Hrsg.). (1997). *User guide for the TIMSS international database. Primary and middle school years (population 1 and population 2)*. Chestnut Hill: Boston College.
- Goos, M. (2002). Understanding metacognitive failure. *Journal of Mathematical Behavior*, 21 (3), 283-302.
- Götz, T. (2004). *Emotionales Erleben und selbstreguliertes Lernen bei Schülern im Fach Mathematik*. München: Herbert Utz.
- Graham, J. W., Cumsille, P. E. & Elek-Fisk, E. (2003). Methods for handling missing data. In J. A. Schinka & W. F. Velicer (Hrsg.), *Handbook of psychology: Research methods in psychology (volume 2)* (S. 87-114). New York: John Wiley & Sons.
- Greeno, J. G. & Simon, H. A. (1988). Problem solving and reasoning. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey & R. D. Luce (Hrsg.), *Stevens' handbook of experimental psychology. Volume 2: Learning and cognition* (S. 589-672). New York: Wiley.
- Greiff, S. & Funke, J. (2010). Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal komplexer Systeme. *Zeitschrift für Pädagogik*, 56, 216-227.
- Greiff, S., Holt, D. V. & Funke, J. (2013). Perspectives on problem solving in educational assessment: Analytical, interactive, and collaborative problem solving. *The Journal of Problem Solving*, 5 (2), 71-91.

- Greiff, S., Niepel, C., Scherer, R. & Martin, R. (2016). Understanding students' performance in a computer-based assessment of complex problem solving: An analysis of behavioral data from computer-generated log files. *Computers in Human Behavior*, 61, 36-46.
- Greve, W. & Wentura, D. (1997). *Wissenschaftliche Beobachtung: Eine Einführung*. Weinheim: Beltz.
- Gruehn, S. (2000). *Unterricht und schulisches Lernen. Schüler als Quellen der Unterrichtsbeschreibung*. Münster: Waxmann.
- Gürtler, T., Perels, F., Schmitz, B. & Bruder, R. (2002). Training zur Förderung selbstregulativer Fähigkeiten in Kombination mit Problemlösen in Mathematik. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen* (S. 222-239). Weinheim: Beltz.
- Häcker, T. (2017). Individualisierter Unterricht. In T. Bohl, J. Budde & M. Rieger-Ladich (Hrsg.), *Umgang mit Heterogenität in Schule und Unterricht. Grundagentheoretische Beiträge, empirische Befunde und didaktische Reflexionen* (S. 275-290). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hackl, A. (2011). Schule personalisieren – ein Plädoyer für eine neue Schulkultur. In A. Hackl, O. Steenbuck & G. Weigand (Hrsg.), *Werte schulischer Begabtenförderung. Begabungsbegriff und Werteorientierung* (S. 39-47). Frankfurt a.M.: Karg-Stiftung.
- Hadwin, A. & Oshige, M. (2011). Self-regulation, coregulation, and socially shared regulation: Exploring perspectives of social in self-regulated learning theory. *Teachers College Record*, 113 (2), 240-264.
- Hahn, E., Rohlf, C., Wacker, A. & Bohl, T. (2016). Umgang mit Heterogenität. Eine quantitative Beobachtungsstudie zur aktiven Lernzeit von Schülerinnen und Schülern unterschiedlicher Leistungsniveaus. In T. Bohl & A. Wacker (Hrsg.), *Die Einführung der Gemeinschaftsschule in Baden-Württemberg. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitforschung (WissGem)* (S. 255-274). Münster: Waxmann.
- Hammann, M. & Jördens, J. (2014). Offene Aufgaben codieren. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschafts-didaktischen Forschung* (S. 169-178). Berlin: Springer.
- Harmon, M. (1999). Performance Assessment in the Third International Mathematics and Science Study – an international perspective. *Studies in Educational Evaluation*, 25, 243-262.
- Harmon, M. & Kelly, D. L. (1996). Development and design of the TIMSS performance assessment. In M. O. Martin & D. L. Kelly (Hrsg.), *Third International Mathematics and Science Study (TIMSS) technical report, volume I: Design and development* (S. 6.1-6.19). Chestnut Hill: Boston College.
- Harmon, M., Smith, T. A., Martin, M. O., Kelly, D. L., Beaton, A. E., Mullis, I. V. S., Gonzalez, E. J. & Orpwood, G. (1997). *Performance assessment in IEA's Third International Mathematics and Science Study (TIMSS)*. Chestnut Hill: Boston College.
- Hartley, D. (2007). Personalisation: The emerging 'revised' code of education? *Oxford Review of Education*, 35 (5), 629-642.
- Hartley, D. (2008). Education, markets and the pedagogy of personalisation. *British Journal of Educational Studies*, 56 (4), 365-381.
- Hartley, D. (2009). Personalisation: The nostalgic revival of child-centred education? *Journal of Education Policy*, 24 (4), 423-434.

- Hasselhorn, M. (2012). Metakognition. In K.-P. Horn, H. Kemnitz, W. Marotzki & U. Sandfuchs (Hrsg.), *Klinkhardt Lexikon Erziehungswissenschaft (Band 2)* (S. 381). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2013). *Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren (3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Hasselhorn, M. & Labuhn, A. S. (2008). Metakognition und selbstreguliertes Lernen. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Pädagogischen Psychologie* (S. 28-37). Göttingen: Hogrefe.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London: Routledge.
- Hattie, J. (2013). *Lernen sichtbar machen. Überarbeitete deutschsprachige Ausgabe von „Visible Learning“ besorgt von Wolfgang Beywl und Klaus Zierer*. Baltmannsweiler: Schneider.
- Hébert, Y. & Hartley, W. J. (2006). Personalised learning and changing conceptions of childhood and youth. In OECD (Hrsg.), *Personalising education* (S. 63-73). Paris: OECD.
- Heckhausen, H. (1989). *Motivation und Handeln (2. Auflage)*. Berlin: Springer.
- Heckhausen, H. & Gollwitzer, P. M. (1987). Thought contents and cognitive functioning in motivational versus volitional states of mind. *Motivation and Emotion*, 11 (2), 101-120.
- Hefendehl-Hebeker, L. (2003). Erkenntnisgewinnung in der Mathematik. In T. Leuders (Hrsg.), *Mathematikdidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 107-118). Berlin: Cornelson.
- Heinrich, F. (2001). Wechseln von Lösungsanläufen als eine bedeutungsvolle heuristische Vorgehensweise beim Lösen mathematischer Probleme. *Der Mathematikunterricht*, 47 (6), 18-33.
- Heinrich, F., Bruder, R. & Bauer, C. (2015). Problemlösen lernen. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 279-301). Berlin: Springer.
- Helmke, A. (2006). Was wissen wir über guten Unterricht? Über die Notwendigkeit einer Rückbesinnung auf den Unterricht als dem „Kerngeschäft“ der Schule. *Pädagogik*, 2 (58), 42-44.
- Herrle, M., Rauin, U. & Engartner, T. (2016). Planung, Durchführung und Nachbereitung videogestützter Beobachtungen im Unterricht. In U. Rauin, M. Herrle & T. Engartner (Hrsg.), *Videoanalysen in der Unterrichtsforschung. Methodische Vorgehensweise und Anwendungsbeispiele* (S. 30-49). Weinheim: Beltz Juventa.
- Hertel, S., Fingerle, M. & Rohlf, C. (2016). Gestaltung adaptiver Lerngelegenheiten in der Schule. In K. Rabenstein & B. Wischer (Hrsg.), *Individualisierung schulischen Lernens. Mythos oder Königsweg?* (S. 64-75). Seelze: Klett/Kallmeyer.
- Hess, M. & Lipowsky, F. (2016). Unterrichtsqualität und das Lernen der Schüler. In M. Rothland (Hrsg.), *Beruf Lehrer/Lehrerin. Ein Studienbuch* (S. 149-169). Münster: Waxmann.
- Hess, N. (2018). *Kooperationsarten beim gemeinsamen Problemlösen. Videoanalyse von Gruppen in Schulen der Sekundarstufe 1 mit unterschiedlichem Personalisierungsgrad (unveröffentlichte Masterarbeit)*. Freiburg: Universität Freiburg.
- Hild, P. (2013). Kooperatives Lernen im Hochschulbereich. In H. Bachmann (Hrsg.), *Hochschullehre variantenreich gestalten. Kompetenzorientierte Hochschullehre – Ansätze, Methoden und Beispiele* (S. 19-49). Bern: hep.
- Holmes, W., Anastopoulou, S., Schaumburg, H. & Mavrikis, M. (2018). *Personalisiertes Lernen mit digitalen Medien. Ein roter Faden*. Stuttgart: Robert Bosch Stiftung.

- Holzäpfel, L., Leuders, T., Rott, B. & Schelldorfer, R. (2016). Schritte zum Problemlösen. *Praxis der Mathematik in der Schule*, 58 (68), 2-8.
- Horak, V. M. (1981). A meta-analysis of research findings on individualized instruction in mathematics. *The Journal of Educational Research*, 74 (4), 249-253.
- Huf, C. & Breidenstein, G. (2009). Schülerinnen und Schüler bei der Wochenplanarbeit. Beobachtungen zur Eigenlogik „Planerfüllung“. *Pädagogik*, 61 (4), 20-23.
- Hugener, I. (2008). *Inszenierungsmuster im Unterricht und Lernqualität. Sichtstrukturen schweizerischen und deutschen Mathematikunterrichts in ihrer Beziehung zu Schülerwahrnehmung und Lernleistung – eine Videoanalyse*. Münster: Waxmann.
- Hugener, I., Krammer, K. & Reusser, K. (2007). Problemlösen im Mathematikunterricht. In K. Reusser, C. Pauli & K. Krammer (Hrsg.), *Unterrichtsvideos für die Aus- und Weiterbildung von Lehrpersonen*. DVD Nr. 2. Zürich: Universität Zürich, Pädagogisches Institut.
- Hussy, W. (1984). *Denkpsychologie. Geschichte, Begriffs- und Problemlöseforschung, Intelligenz*. Berlin: Kohlhammer.
- Hussy, W. (1993). *Denken und Problemlösen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- IBM. (2016a). IBM SPSS statistics 23 algorithms. Verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiCy_vlwffeAhWSecAKHWUABsEQFjAAegQIBxAC&url=ftp%3A%2F%2Fpublic.dhe.ibm.com%2Fsoftware%2Fanalytics%2Fspss%2Fdocumentation%2Fstatistics%2F24.0%2Fen%2Fclient%2FManuals%2FIBM_SPSS_Statistics_Algorithms.pdf&usg=AOvVaw3IAOF1ZyS-eUOmfnOq4IUJ
- IBM. (2016b). Pooled results not produced for standardized regression coefficients with multiple imputation. Verfügbar unter: <http://www-01.ibm.com/support/docview.wss?uid=swg21484395>
- Iiskala, T., Vauras, M., Lehtinen, E. & Salonen, P. (2011). Socially shared metacognition of dyads of pupils in collaborative mathematical problem-solving processes. *Learning and Instruction*, 21 (3), 379-393.
- Jacobse, A. & Harskamp, E. (2012). Towards efficient measurement of metacognition in mathematical problem solving. *Metacognition and Learning*, 7 (2), 133-149.
- Johnson, M. (2004). Personalised learning. New directions for schools? *New Economy*, 11 (4), 224-228.
- Jordan, A., Krauss, S., Löwen, K., Blum, W., Neubrand, M. & Brunner, M. (2008). Aufgaben im COACTIV-Projekt: Zeugnisse des kognitiven Aktivierungspotentials im deutschen Mathematikunterricht. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 29 (2), 83-107.
- Jude, N. & Klieme, E. (2010). Das Programme for International Student Assessment (PISA). In E. Klieme, C. Artelt, J. Hartig, N. Jude, O. Köller, M. Prenzel, W. Schneider & P. Stanat (Hrsg.), *PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt* (S. 11-21). Münster: Waxmann.
- Jürgens, E. (1998). *Die „neue“ Reformpädagogik und die Bewegung Offener Unterricht: Theorie, Praxis und Forschungslage (4., erweiterte Auflage)*. Sankt Augustin: Academia
- Kantowski, M. G. (1974). *Processes involved in mathematical problem solving (Unveröffentlichte Dissertation)*. Athens: University of Georgia.
- Kantowski, M. G. (1977). Processes involved in mathematical problem solving. *Journal for Research in Mathematics Education*, 8 (3), 163-180.
- Käpnick, F. (2014). *Mathematiklernen in der Grundschule*. Heidelberg: Springer.
- Karabenick, S. A. & Sharma, R. (2009). Seeking academic assistance as a strategic learning resource. In P. R. Pintrich, D. R. Brown & C. E. Weinstein (Hrsg.), *Student motivation*,

- cognition, and learning. Essays in honor of Wilbert J. Mc Keachie (second edition)* (S. 189-211). New York: Routledge.
- Karlen, Y. (2016). Differences in students' metacognitive strategy knowledge, motivation, and strategy use: A typology of self-regulated learners. *The Journal of Educational Research*, 109 (3), 253-265.
- Keamy, K., Nicholas, H., Mahar, S. & Herrick, C. (2007). Personalising education: From research to policy and practice. Verfügbar unter: https://www.google.ch/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwi9g9qw39TOAhWCOxQKHXdDmkQFgghMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.eduweb.vic.gov.au%2Fedulibrary%2Fpublic%2Fpubl%2Fresearch%2Fpubl%2Fpersonalising-education-report.pdf&usq=AFQjCNFQksughA8VMZiObbUoBtyZGP_MLw&sig2=D6TUiU4LDTb7rOq_I54ezg&bvm=bv.129759880,d.d24
- Keefe, J. W. (2007). What is personalization? *Phi Delta Kappan*, 89 (3), 217-223.
- Keller, F., Bollmann, B., Rohrbach, C. & Schelldorfer, R. (2011). *Mathematik 1 Sekundarstufe I*. Zürich: Lehrmittelverlag Zürich.
- Keller, F., Bollmann, B., Rohrbach, C. & Schelldorfer, R. (2012). *Mathematik 2 Sekundarstufe I*. Zürich: Lehrmittelverlag Zürich.
- Keller, F., Bollmann, B., Rohrbach, C. & Schelldorfer, R. (2013). *Mathematik 3 Sekundarstufe I*. Zürich: Lehrmittelverlag Zürich.
- Keller, F. S. (1968). „Good-bye, teacher...“. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 1 (1968), 79-89.
- King, A. (1999). Discourse patterns for mediating peer learning. In A. M. O'Donnell & A. King (Hrsg.), *Cognitive perspectives on peer learning* (S. 87-115). Mahwah: Erlbaum.
- Klafki, W. (1958). Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. *Die Deutsche Schule*, 50, 450-471.
- Kleinknecht, M., Bohl, T., Maier, U. & Metz, K. (2011). Aufgaben und Unterrichtsplanung. *Jahrbuch für Allgemeine Didaktik*, 1 (1), 59-75.
- Kleinknecht, M., Bohl, T., Maier, U. & Metz, K. (2013). Fazit und Ausblick. Aufgaben analysieren: Eine allgemeindidaktische und fachdidaktische Herausforderung. In M. Kleinknecht, T. Bohl, U. Maier & K. Metz (Hrsg.), *Lern- und Leistungsaufgaben im Unterricht* (S. 207-220). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Klieme, E., Artelt, C. & Stanat, P. (2002). Fächerübergreifende Kompetenzen: Konzepte und Indikatoren. In F. W. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessung in Schulen* (S. 203-218). Weinheim: Beltz.
- Klieme, E., Funke, J., Leutner, D., Reimann, P. & Wirth, J. (2001). Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz. Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 47, 179-200.
- Klieme, E., Lipowsky, F., Rakoczy, K. & Ratzka, N. (2006). Qualitätsdimensionen und Wirksamkeit von Mathematikunterricht. Theoretische Grundlagen und ausgewählte Ergebnisse des Projekts „Pythagoras“. In M. Prenzel & L. Allolio-Näcke (Hrsg.), *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule. Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms* (S. 127-146). Münster: Waxmann.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten: kybernetische Aspekte der organismischen Informationsverarbeitung: Einführung in naturwissenschaftliche Grundlagen der Allgemeinen Psychologie*. Bern: Huber.
- Klovert, H. (18.12.2015). „Personalisiertes Lernen“. So stellt sich Mark Zuckerberg Schule vor. In Spiegel Online. Verfügbar unter:

- <http://www.spiegel.de/lebenundlernen/schule/zuckerberg-will-personalisiertes-lernen-foerdern-was-bringt-das-a-1066491.html>
- Köhler, W. (1921). *Intelligenzprüfung an Menschenaffen*. Berlin: Springer.
- Köller, O., Baumert, J. & Bos, W. (2002). TIMSS – Third International Mathematics and Science Study. Dritte internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie. In F. W. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessung in Schulen* (S. 269-284). Weinheim: Beltz.
- Komorek, E., Bruder, R. & Schmitz, B. (2004). Integration evaluierter Trainingskonzepte für Problemlösen und Selbstregulation in den Mathematikunterricht. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 54-76). Münster: Waxmann.
- Konrad, K. (2010). Lautes Denken. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (S. 476-490). Wiesbaden: Springer.
- Krammer, K., Hugener, I. & Reusser, K. (2007). Adaptiver Unterricht mit Arbeitsplänen. In K. Reusser, C. Pauli & K. Krammer (Hrsg.), *Unterrichtsvideos mit Begleitmaterialien für die Aus- und Weiterbildung von Lehrpersonen. DVD Nr. 3*. Zürich: Universität Zürich, Pädagogisches Institut.
- Krapp, A., Geyer, C. & Lewalter, D. (2014). Motivation und Emotion. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie (6. vollständig überarbeitete Auflage)* (S. 193-222). Weinheim: Beltz.
- Krause, U.-M. & Stark, R. (2006). Vorwissen aktivieren. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 38-49). Hogrefe: Göttingen.
- Kromrey, H. (2009). *Empirische Sozialforschung. Modelle und Methoden der standardisierten Datenerhebung und Datenauswertung*. Stuttgart: Lucius&Lucius.
- Krummheuer, G. & Brandt, B. (2001). *Paraphrase und Traduktion. Partizipationstheoretische Elemente einer Interaktionstheorie des Mathematiklernens in der Grundschule*. Weinheim: Beltz.
- Krummheuer, G. & Fetzer, M. (2005). *Der Alltag im Mathematikunterricht. Beobachten, Verstehen, Gestalten*. Heidelberg: Spektrum.
- Kuckartz, U. & Grunenberg, H. (2013). Qualitative Daten computergestützt auswerten: Methoden, Techniken, Software. In B. Frieberthäuser, A. Langer & A. Prengel (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft (4. Auflage)* (S. 501-514). Weinheim: Beltz Juventa.
- Kuger, S. (2016). Curriculum and learning time in international school achievement studies. In S. Kuger, E. Klieme, N. Jude & D. Kaplan (Hrsg.), *Assessing contexts of learning. An international perspective* (S. 395-422). Cham: Springer.
- Kunter, M. & Ewald, S. (2016). Bedingungen und Effekte von Unterricht: Aktuelle Forschungsperspektiven aus der pädagogischen Psychologie. In N. McElvany, W. Bos, H. G. Holtappels, M. M. Gebauer & F. Schwabe (Hrsg.), *Bedingungen und Effekte guten Unterrichts* (S. 9-31). Münster: Waxmann.
- Kunter, M. & Trautwein, U. (2013). *Psychologie des Unterrichts*. Paderborn: Schöningh UTB.
- Kunter, M. & Voss, T. (2011). Das Modell der Unterrichtsqualität in COACTIV: Eine multikriteriale Analyse. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 85-113). Münster: Waxmann.
- Kuzle, A. & Bruder, R. (2016). Probleme lösen lernen im Themenfeld Geometrie. *mathematik lehren*, 196, 2-8.

- Kyburz-Graber, R. & Notter, P. (2019). Einschätzung von Studierenden über die Effekte von selbstreguliertem Lernen im Gymnasium. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 41, 54-78.
- Labudde, P. & Stebler, R. (1999). Lern- und Prüfungsaufgaben für den Physikunterricht – Erträge aus dem TIMSS-Experimentiertest. *Unterricht Physik*, 54 (10), 23-31.
- Lamnek, S. (2005). *Qualitative Sozialforschung. Lehrbuch (4., vollständig überarbeitete Auflage)*. Basel: Beltz.
- Landmann, M., Perels, F., Otto, B., Schnick-Vollmer, K. & Schmitz, B. (2015). Selbstregulation und selbstreguliertes Lernen. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie (2. Auflage)* (S. 45-65). Berlin: Springer.
- Landmann, M., Trittel, M. & Krause, K. (2007). Vermittlung von Selbstregulation im Unterricht. In M. Landmann & B. Schmitz (Hrsg.), *Selbstregulation erfolgreich fördern. Praxisnahe Trainingsprogramme für effektives Lernen* (S. 327-333). Stuttgart: Kohlhammer.
- Lane, S. (1993). The conceptual framework for the development of a mathematics performance assessment instrument. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 12 (2), 16-23.
- Lange, D. (2014). Kooperationsarten in mathematischen Problemlöseprozessen. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 35 (2), 173-204.
- Lehrmittelverlag St.Gallen. (2016). Klassenscockpit. Verfügbar unter: www.klassenscockpit.ch
- Leibundgut, S. (1996). „Verpackungen“. *Analyse einer Performance-Test Aufgabe zur Erhebung des räumlichen Vorstellungsvermögens bei Schüler/innen der 7. Klasse. Eine Untersuchung im Rahmen des TIMSS Projektes*. Unveröffentlichte Seminararbeit. Zürich: Universität Zürich.
- Leibundgut, S. (1998). *Performance assessment: Praktische Anwendungsaufgaben zur Erhebung der Mathematikleistungen im 7. Schuljahr*. Unveröffentlichte Lizentiatsarbeit. Zürich: Universität Zürich.
- Leidinger, M. & Perels, F. (2012). Training self-regulated learning in the classroom: Development and evaluation of learning materials to train self-regulated learning during regular mathematics lessons at primary school. *Education Research International*, 20, 1-14.
- Leiss, D. & Blum, W. (2010). Beschreibung zentraler mathematischer Kompetenzen. In W. Blum, C. Drüke-Noe, R. Hartung & O. Köller (Hrsg.), *Bildungsstandards Mathematik: konkret. Sekundarstufe I: Aufgabenbeispiele, Unterrichts Anregungen, Fortbildungsideen* (S. 33-50). Berlin: Cornelsen.
- Leopold, C. (2009). *Lernstrategien und Textverstehen*. Münster: Waxmann.
- Leopold, C. & Leutner, D. (2002). Der Einsatz von Lernstrategien in einer konkreten Lernsituation bei Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen. In M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen (Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft 45)* (S. 240-258). Weinheim: Beltz.
- Lesh, R. & Lamon, S. J. (1992). Assessing authentic mathematical performance. In R. Lesh & S. J. Lamon (Hrsg.), *Assessment of authentic performance in school mathematics* (S. 17-62). Washington: AAAS Press.
- Leuders, T. (2003). Problemlösen. In T. Leuders (Hrsg.), *Mathematikdidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 119-135). Berlin: Cornelsen.
- Leutner, D., Fleischer, J., Wirth, J., Greiff, S. & Funke, J. (2012). Analytische und dynamische Problemlösekompetenz im Lichte internationaler Schulleistungsvergleichsstudien. Untersuchungen zur Dimensionalität. *Psychologische Rundschau*, 63 (1), 34-42.

- Leutner, D., Funke, J., Klieme, E. & Wirth, J. (2005). Problemlösefähigkeit als fächerübergreifende Kompetenz. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (S. 11-19). Wiesbaden: VS.
- Leutner, D., Klieme, E., Meyer, K. & Wirth, J. (2004). Problemlösen. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner, M. Neubrand, R. Pekrun, H.-G. Rolff, J. Rost & U. Schiefele (Hrsg.), *PISA 2003: Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland. Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (S. 147-175). Münster: Waxmann.
- Leutner, D., Klieme, E., Meyer, K. & Wirth, J. (2005). Die Problemlösekompetenz in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner, M. Neubrand, R. Pekrun, J. Rost & U. Schiefele (Hrsg.), *PISA 2003. Der zweite Vergleich der Länder in Deutschland – Was wissen und können Jugendliche?* (S. 125-146). Münster: Waxmann.
- Lie, S., Taylor, A. & Harmon, M. (1996). Scoring techniques and criteria. In M. O. Martin & D. L. Kelly (Hrsg.), *Third International Mathematics and Science Study (TIMSS) technical report, volume I: Design and development* (S. 7.1-7.16). Chestnut Hill: Boston College.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* (6. Auflage). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Linnemann, T. & Bruder, R. (2016). Kompetenzentwicklung im Fach Mathematik. Das Beispiel Argumentieren. In S. Keller & C. Reintjes (Hrsg.), *Aufgaben als Schlüssel zur Kompetenz. Didaktische Herausforderungen, wissenschaftliche Zugänge und empirische Befunde* (S. 357-369). Münster: Waxmann.
- Linneweber-Lammerskitten, H. (2014). Darstellen und Kommunizieren, Argumentieren und Begründen, Interpretieren und Reflektieren von Resultaten. In H. Linneweber-Lammerskitten (Hrsg.), *Fachdidaktik Mathematik. Grundbildung und Kompetenzaufbau im Unterricht der Sek. I und II* (S. 179-200). Seelze: Kallmeyer.
- Lipowsky, F. (2002). Zur Qualität offener Lernsituationen im Spiegel empirischer Forschung – Auf die Mikroebene kommt es an. In U. Drews & W. Wallrabenstein (Hrsg.), *Freiarbeit in der Grundschule: Offener Unterricht in Theorie, Forschung und Praxis* (S. 126-159). Frankfurt am Main: Grundschulverband.
- Lipowsky, F. (2006). Auf den Lehrer kommt es an. Empirische Evidenzen für Zusammenhänge zwischen Lehrerkompetenzen, Lehrerhandeln und dem Lernen der Schüler. In C. Allemann-Ghionda & E. Terhart (Hrsg.), *Kompetenzen und Kompetenzentwicklung von Lehrerinnen und Lehrern (Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft 51)* (S. 47-70). Weinheim: Beltz.
- Lipowsky, F. (2015). Unterricht. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (2. Auflage) (S. 69-105). Berlin: Springer.
- Lipowsky, F. & Bleck, V. (2019). Was wissen wir über guten Unterricht? – Ein Update. In U. Steffens & R. Messner (Hrsg.), *Unterrichtsqualität. Konzepte und Bedingungen qualitativ hochwertigen Unterrichts. Grundlagen der Qualität von Schule 3* (S. 219-249). Münster: Waxmann.
- Lipowsky, F., Drollinger-Vetter, B., Klieme, E., Pauli, C. & Reusser, K. (2018). Generische und fachdidaktische Dimensionen von Unterrichtsqualität – Zwei Seiten einer Medaille? In M. Martens, K. Rabenstein, K. Bräu, M. Fetzer, H. Gresch, I. Hardy & C. Schelle (Hrsg.), *Konstruktionen von Fachlichkeit. Ansätze, Erträge und Diskussionen in der empirischen Unterrichtsforschung* (S. 183-203). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

- Lipowsky, F. & Lotz, M. (2015). Ist Individualisierung der Königsweg zum erfolgreichen Lernen? Eine Auseinandersetzung mit Theorien, Konzepten und empirischen Befunden. In G. Mehlhorn, F. Schulz & K. Schöppe (Hrsg.), *Begabungen entwickeln & Kreativität fördern* (S. 155-219). München: kopaed.
- Lipshitz, R. & Bar-Ilan, O. (1996). How problem are solved: Reconsidering the phase theorem. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 65 (1), 48-60.
- Little, R. J. A. (1988). A test of missing completely at random for multivariate data with missing values. *Journal of the American Statistical Association*, 83 (404), 1198-1202.
- Lotz, C., Scherer, R., Greiff, S. & Sparfeldt, J. R. (2017). Intelligence in action – Effective strategic behaviors while solving complex problems. *Intelligence*, 64, 98-112.
- Lüdtke, O., Robitzsch, A., Trautwein, U. & Köller, O. (2007). Umgang mit fehlenden Werten in der psychologischen Forschung. Probleme und Lösungen. *Psychologische Rundschau*, 58 (2), 103-117.
- Lüftenegger, M., Schober, B., van de Schoot, R., Wagner, P., Finsterwald, M. & Spiel, C. (2012a). Lifelong learning as a goal – Do autonomy and self-regulation in school result in well prepared pupils? *Learning and Instruction*, 22 (1), 27-36.
- Lüftenegger, M., Schober, B., van de Schoot, R., Wagner, P., Finsterwald, M. & Spiel, C. (2012b). *Übersicht über die verwendeten Messinstrumente bei der SchülerInnenbefragung von TALK*. Wien: Universität Wien, Institut für Angewandte Psychologie, Arbeitsbereich Bildungspsychologie & Evaluation.
- Luthiger, H. (2017). Aufgaben gestalten – zwei didaktische „Ufer“-Hilfen. *Lehren & Lernen. Zeitschrift für Schule und Innovation aus Baden-Württemberg*, 43 (5), 9-16.
- Maag Merki, K. (2018). Zukunftsweisende Schulentwicklung in der Schweiz. *Lehren & Lernen. Zeitschrift für Schule und Innovation aus Baden-Württemberg*, 2, 16-23.
- Magone, M. E., Cai, J., Silver, E. A. & Wang, N. (1994). Validating the cognitive complexity and content quality of a mathematics performance assessment. *International Journal of Educational Research*, 21 (3), 314-340.
- Maier, N. R. F. (1964). Maximizing personal creativity through better problem-solving. *Personnel Administration*, 1, 14-18.
- Maier, U., Bohl, T., Kleinknecht, M. & Metz, K. (2013). Allgemeindidaktische Kriterien für die Analyse von Aufgaben. In M. Kleinknecht, T. Bohl, U. Maier & K. Metz (Hrsg.), *Lern- und Leistungsaufgaben im Unterricht* (S. 9-45). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Maier, U., Kleinknecht, M. & Metz, K. (2010). Ein fächerübergreifendes Kategoriensystem zur Analyse und Konstruktion von Aufgaben. In H. Kiper, W. Meints, S. Peters, S. Schlump & S. Schmit (Hrsg.), *Lernaufgaben und Lernmaterialien im kompetenzorientierten Unterricht* (S. 28-43). Stuttgart: Kohlhammer.
- Maier, U., Kleinknecht, M., Metz, K. & Bohl, T. (2010). Ein allgemeindidaktisches Kategoriensystem zur Klassifikation des kognitiven Potenzials von Aufgaben. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 28 (1), 84-96.
- Martens, M. (2018). Individualisieren als unterrichtliche Praxis. In M. Proske & K. Rabenstein (Hrsg.), *Kompodium Qualitative Unterrichtsforschung. Unterricht beobachten - beschreiben - rekonstruieren* (S. 207-222). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Beaton, A. E., Gonzalez, E. J., Smith, T. A. & Kelly, D. L. (Hrsg.). (1997). *Science achievement in the primary school years: IEA's Third International Mathematics and Science Study*. Chestnut Hill: Boston College.
- Martin, P.-Y. (2015). Diagnose lernstrategischer Kompetenzen. In P.-Y. Martin & T. Nicolaisen (Hrsg.), *Lernstrategien fördern. Modelle und Praxiszenarien* (S. 70-82). Weinheim: Beltz.

- Martin, P.-Y. & Nicolaisen, T. (2015). Einführung und Grundlagen. In P.-Y. Martin & T. Nicolaisen (Hrsg.), *Lernstrategien fördern. Modelle und Praxiszenarien* (S. 9-69). Weinheim: Beltz.
- Mayer, H., Nonn, C., Osterbrink, J. & Evers, G. C. M. (2004). Qualitätskriterien von Assessmentinstrumenten – Cohen's Kappa als Maß der Interrater-Reliabilität (Teil 1). *Pflege*, 17 (1), 36-46.
- Mayer, R. E. (1977). *Thinking and problem solving. An introduction to human cognition and learning*. Glenview: Scott Foresman and Company.
- Mayer, R. E. (1992). *Thinking, problem solving, cognition (second edition)*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Mayer, R. E. (1998). Cognitive, metacognitive, and motivational aspects of problem solving. *Instructional Science*, 26, 49-63.
- Mayer, R. E. & Wittrock, M. C. (2006). Problem solving. In P. A. Alexander & P. Winne (Hrsg.), *Handbook of educational psychology (second edition)* (S. 287-303). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Mayerl, J. & Urban, D. (2010). *Binär-logistische Regressionsanalyse. Grundlagen und Anwendung für Sozialwissenschaftler*. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Sozialwissenschaften, Abteilung für Soziologie und empirische Sozialforschung.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken (11., aktualisierte und überarbeitete Auflage)*. Weinheim: Beltz.
- Mayring, P. & Brunner, E. (2013). Qualitative Inhaltsanalyse. In B. Friebertshäuser, A. Langer & A. Prengel (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft (4. Auflage)* (S. 323-333). Weinheim: Beltz Juventa.
- McCarthy, J. (1956). The inversion of functions defined by turing machines. In D. E. Shannon & J. McCarthy (Hrsg.), *Automata studies. Annals of mathematical studies* 34 (S. 177-181). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- McLester, S. (2011). Learning gets personal. *District Administration*, 47 (3), 30-45.
- Meichenbaum, D. (1977). *Cognitive-behavior modification. An integrative approach*. New York: Plenum Press.
- Mercer, N. (1995). *The guided construction of knowledge. Talk amongst teachers and learners*. Clevedon: Multilingual Matters.
- Mercer, N. (1996). The quality of talk in children's collaborative activity in the classroom. *Learning and Instruction*, 6 (4), 359-377.
- Mercer, N. (2002). *Words and minds: How we use language to think together*. London: Routledge.
- Mercer, N. & Sams, C. (2006). Teaching children how to use language to solve maths problems. *Language and Education*, 20 (6), 507-528.
- Mercer, N., Wegerif, R. & Dawes, L. (1999). Children's talk and the development of reasoning in the classroom. *British Educational Research Journal*, 25, 95-111.
- Messner, H. & Blum, W. (2019). Der Mythos des offenen Unterrichts – unter Einbeziehung von Befunden aus dem DISUM-Projekt. In U. Steffens & R. Messner (Hrsg.), *Unterrichtsqualität. Konzepte und Bedingungen qualitätsvollen Unterrichts. Grundlagen der Qualität von Schule 3* (S. 57-89). Münster: Waxmann.
- Mevarech, Z. R. (1999). Effects of metacognitive training embedded in cooperative settings on mathematical problem solving. *The Journal of Educational Research*, 92 (4), 195-205.
- Mevarech, Z. R., Terkieltaub, S., Vinberger, T. & Nevet, V. (2010). The effects of meta-cognitive instruction on third and sixth graders solving word problems. *ZDM*, 42, 195-203.

- Meyer, M. & Prediger, S. (2012). Sprachenvielfalt im Mathematikunterricht – Herausforderungen, Chancen und Förderansätze. *Praxis der Mathematik in der Schule*, 54 (45), 2-9.
- Michaels, S., O'Connor, M. C., Hall, M. W. & Resnick, L. (2010). *Accountable Talk® sourcebook: For classroom conversation that works*. Pittsburgh: University of Pittsburgh, Institute for Learning.
- Miliband, D. (2004). *Personalised learning: Building a new relationship with schools*. Speech by David Miliband, Minister of State for School Standards. Vortrag an der North of England Education Conference, Belfast.
- Miliband, D. (2006). Choice and voice in personalised learning. In OECD (Hrsg.), *Personalising education* (S. 21-30). Paris: OECD.
- Miller, G. A., Galanter, E. & Pribram, K. H. (1973). *Strategien des Handelns. Pläne und Strukturen des Verhaltens*. Stuttgart: Klett.
- Miller, M. & Hadwin, A. (2015). Scripting and awareness tools for regulating collaborative learning: Changing the landscape of support in CSCL. *Computers in Human Behavior*, 52, 573-588.
- Mintzberg, H., Raisinghani, D. & Théorêt, A. (1976). The structure of 'unstructured' decisions processes. *Administrative Science Quarterly*, 21, 414-450.
- Moetteli, C. & Schmid, M. (2018). Dokumentation zum Schülerfragebogen. Unveröffentlichte Projektversion. In K. Reusser, C. Pauli & R. Stebler (Hrsg.), *Dokumentation der Erhebungs- und Auswertungsinstrumente des Projektes „Personalisierte Lernkonzepte in heterogenen Lerngruppen“ (perLen)*. Zürich/Freiburg: Universität Zürich/Universität Freiburg.
- Möller, J. & Trautwein, U. (2015). Selbstkonzept. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie (2. Auflage)* (S. 177-200). Berlin: Springer.
- Moser, U. (2003). *Klassencockpit im Kanton Zürich. Ergebnisse einer Befragung von Lehrerinnen und Lehrern der 6. Klassen über ihre Erfahrungen im Rahmen der Erprobung von Klassencockpit im Schuljahr 2002/03*. Zürich: Kompetenzzentrum für Bildungsevaluation und Leistungsmessung an der Universität Zürich.
- Müller, A. (2014). *Schule kann auch anders sein. Personalisiertes Lernen: Das Modell Beatenberg. Eine hintergründige Praxisbeschreibung mit vielen Beispielen und Materialien*. Bern: hep.
- Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Beaton, A. E., Gonzalez, E. J., Kelly, D. L. & Smith, T. A. (Hrsg.). (1997). *Mathematics achievement in the primary school years IEA's Third International Mathematics and Science Study*. Chestnut Hill: Boston College.
- Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Beaton, A. E., Gonzalez, E. J., Kelly, D. L. & Smith, T. A. (Hrsg.). (1998). *Mathematics and science achievement in the final year of secondary school: IEA's Third International Mathematics and Science Study*. Chestnut Hill: Boston College.
- Murphy, M., Redding, S. & Twyman, J. S. (Hrsg.). (2016). *Handbook on personalized learning for states, districts, and schools*. Philadelphia: Center on Innovations in Learning, Temple University, Philadelphia.
- Neber, H. (1987). Angewandte Problemlösepsychologie. In H. Neber (Hrsg.), *Angewandte Problemlösepsychologie* (S. 1-117). Münster: Aschendorffsche Verlagsbuchhandlung.
- Nelson-Le Gall, S. (1981). Help-seeking: An understudied problem-solving skill in children. *Developmental Review*, 1, 224-246.
- Nelson-Le Gall, S. (1992). Children's instrumental help-seeking: Its role in the social acquisition and construction of knowledge. In R. Hertz-Lazarowitz & N. Miller (Hrsg.), *Interaction*

- in cooperative groups. The theoretical anatomy of group learning* (S. 49-68). Cambridge: Cambridge University Press.
- Neubrand, J. (2002). *Eine Klassifikation mathematischer Aufgaben zur Analyse von Unterrichtssituationen. Selbsttätiges Arbeiten in Schülerarbeitsphasen in den Stunden der TIMSS-Video-Studie*. Hildesheim: Franzbecker.
- Neuhaus, K. (2002). *Die Rolle des Kreativitätsproblems in der Mathematikdidaktik*. Berlin: Dr. Köster.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Niggli, A. (2013). *Didaktische Inszenierung binnendifferenzierter Lernumgebungen. Theorie – Empirie – Konzepte – Praxis*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Niggli, A. & Kersten, B. (1999). Lehrerverhalten und Wochenplanunterricht. Wirkungen auf Mathematikleistungen und nicht-kognitive Merkmale von Lernenden. *Bildungsforschung und Bildungspraxis*, 272-291.
- Novick, L. R. & Bassok, M. (2005). Problem solving. In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Hrsg.), *The cambridge handbook of thinking and reasoning* (S. 321-349). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nutt, P. C. (1984). Types of organizational decision processes. *Administrative Science Quarterly* (29), 414-450.
- OECD. (2004). *Problem solving for tomorrow's world. First measurements of cross-curricular competencies from PISA 2003*. Paris: OECD.
- OECD. (2013). *PISA 2012 assessment and analytical framework. Mathematics, reading, science, problem solving and financial literacy*. Paris: OECD.
- OECD. (2014a). *PISA 2012 Ergebnisse: Was Schülerinnen und Schüler wissen und können. Schülerleistungen in Mathematik, Lesekompetenz und Naturwissenschaften (Band I, überarbeitete Ausgabe Februar 2014)*. Paris: OECD.
- OECD. (2014b). *PISA 2012 results: Creative problem solving: Students' skills in tackling real-life problems*. Paris: OECD.
- OECD. (2015). *PISA 2015 released field trial cognitive items*. Paris: OECD.
- OECD. (2016). *PISA 2015. Ergebnisse im Fokus*. Paris: OECD.
- OECD. (2017a). Collaborative problem solving. *PISA in Focus*, 78, 1-8.
- OECD. (2017b). How does PISA measure students' ability to collaborate? *PISA in Focus*, 77, 1-6.
- OECD. (2017c). *PISA 2015 assessment and analytical framework. Science, reading, mathematic, financial literacy and collaborative problem solving (july 2017)*. Paris: OECD.
- OECD. (2017d). *PISA 2015 assessment and analytical framework. Science, reading, mathematic, financial literacy and collaborative problem solving (revised edition)*. Paris: OECD.
- OECD. (2017e). *PISA 2015 results: Collaborative problem solving*. Paris: OECD.
- Öllinger, M. & Knoblich, G. (2006). Das Lösen einfacher Probleme. In J. Funke & P. Frensch (Hrsg.), *Handbuch der Allgemeinen Psychologie: Kognition* (S. 431-438). Göttingen: Hogrefe.
- Op 't Eynde, P., De Corte, E. & Verschaffel, L. (2007). Students' emotions: A key component of self-regulated learning? In P. A. Schutz & R. Pekrun (Hrsg.), *Emotion in education* (S. 185-204). Amsterdam: Elsevier.
- Oser, F. & Baeriswyl, F. J. (2001). Choreographies of teaching: Bridging instruction to learning. In V. Richardson (Hrsg.), *Handbook of research on teaching (fourth edition)* (S. 1031-1065). New York: Macmillan.

- Otto, B. (2007). *SELVES – Schüler-, Eltern- und Lehrertrainings zur Vermittlung effektiver Selbstregulation*. Berlin: Logos.
- Otto, B., Perels, F. & Schmitz, B. (2008). Förderung mathematischen Problemlösens anhand eines Selbstregulationstrainings. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22 (3), 221-232.
- Pajares, F. & Miller, M. D. (1994). Role of self-efficacy and self-concept beliefs in mathematical problem solving: A path analysis. *Journal of Educational Psychology*, 86 (2), 193-203.
- Panadero, E. (2017). A review of self-regulated learning: Six models and four directions for research. *Frontiers in Psychology*, 8 (422), 1-28.
- Parke, C. S. (2002). Mathematics performance assessment: Discovering why some items or rubrics don't measure up. *RMLE Online*, 25 (1), 1-25.
- Pauli, C. (2012). Kodierende Beobachtung. In H. de Boer & S. Reh (Hrsg.), *Beobachtung in der Schule – Beobachten lernen. Lehrbuch* (S. 45-63). Wiesbaden: VS.
- Pauli, C. (2014). Ratingverfahren. *Journal für LehrerInnenbildung*, 14 (1), 56-59.
- Pauli, C. & Reusser, K. (2000). Zur Rolle der Lehrperson beim kooperativen Lernen. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften*, 22 (3), 421-442.
- Pauli, C., Reusser, K. & Grob, U. (2010). Reformorientierter Mathematikunterricht in der Deutschschweiz. In K. Reusser, C. Pauli & M. Waldis (Hrsg.), *Unterrichtsgestaltung und Unterrichtsqualität – Ergebnisse einer internationalen und schweizerischen Videostudie zum Mathematikunterricht* (S. 309-339). Münster: Waxmann.
- Pauli, C., Reusser, K. & Stebler, R. (2018). Individuelle Lernunterstützung beim personalisierten Lernen. In K. Rabenstein, K. Kunze, M. Martens, T.-S. Idel, M. Proske & S. Strauss (Hrsg.), *Individualisierung von Unterricht. Transformationen – Wirkungen – Reflexionen* (S. 137-149). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Pauli, C., Reusser, K., Waldis, M. & Grob, U. (2003). „Erweiterte Lehr- und Lernformen“ im Mathematikunterricht der Deutschschweiz. *Unterrichtswissenschaft*, 31 (4), 291-320.
- Pauli, C. & Schmid, M. (2014). Fürs Leben lernen. *universitas*, 2, 22-23.
- Pauli, C., Stebler, R. & Reusser, K. (2017). Personalisiertes Lernen im Unterricht. Ein Konzept mit Chancen für die Begabungsförderung. *news&science. Begabtenförderung und Begabungsforschung* (43), 24-26.
- Pedersen, A. B., Mikkelsen, E. M., Cronin-Fenton, D., Kristensen, N. R., Pham, T. M., Pedersen, L. & Petersen, I. (2017). Missing data and multiple imputation in clinical epidemiological research. *Clinical Epidemiology*, 9, 157-166.
- Pehkonen, E. (2001). Offene Probleme: Eine Methode zur Entwicklung des Mathematikunterrichts. *Der Mathematikunterricht*, 47 (6), 60-72.
- Pekrun, R. & Götz, T. (2006). Emotionsregulation: Vom Umgang mit Prüfungsangst. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 248-258). Göttingen: Hogrefe.
- Perels, F. (2007). Hausaufgaben-Training für Schüler der Sekundarstufe I: Förderung selbstregulierten Lernens in Kombination mit mathematischem Problemlösen bei der Bearbeitung von Textaufgaben. In M. Landmann & B. Schmitz (Hrsg.), *Selbstregulation erfolgreich fördern. Praxisnahe Trainingsprogramme für effektives Lernen* (S. 33-51). Stuttgart: Kohlhammer.
- Perels, F., Gürtler, T. & Schmitz, B. (2005). Training of self-regulatory and problem-solving competence. *Learning and Instruction*, 15 (2), 123-139.
- Perels, F., Schmitz, B. & Bruder, R. (2005). Lernstrategien zur Förderung von mathematischer Problemlösekompetenz. In C. Artelt & B. Moschner (Hrsg.), *Lernstrategien und Metakognition. Implikation für Forschung und Praxis* (S. 155-175). Münster: Waxmann.

- Perleth, C. (2008). Intelligenz und Kreativität. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Pädagogischen Psychologie* (S. 15-27). Göttingen: Hogrefe.
- Petillon, H. & Flor, D. (1997). Empirische Studien zum Modellversuch „Lern- und Spielschule“. *Unterrichtswissenschaft*, 25 (4), 331-349.
- Petko, D. (2006). Kameraskript. In I. Hugener, C. Pauli & K. Reusser (Hrsg.), *Videoanalysen (= Teil 3 der Dokumentation Erhebungs- und Auswertungsinstrumente zur schweizerisch-deutschen Videostudie „Unterrichtsqualität, Lernverhalten und mathematisches Verständnis“)*, hrsg. von E. Klieme, C. Pauli & K. Reusser (S. 15-37). Frankfurt a.M.: HFPF/DIPF.
- Petko, D., Schmid, R., Pauli, C., Stebler, R. & Reusser, K. (2017). Personalisiertes Lernen mit digitalen Medien: Neue Potenziale zur Gestaltung schülerorientierter Lehr- und Lernumgebungen. *journal für schulentwicklung*, 21 (3), 31-39.
- Petko, D., Waldis, M., Pauli, C. & Reusser, K. (2003). Methodologische Überlegungen zur videogestützten Forschung in der Mathematikdidaktik. Ansätze der TIMSS 1999 Video Studie und ihrer schweizerischen Erweiterung. *ZDM*, 35 (6), 265-280.
- Philipp, K. (2012). *Experimentelles Denken. Theoretische und empirische Konkretisierung einer mathematischen Kompetenz*. Wiesbaden: Vieweg.
- Philipp, K. & Herold-Blasius, R. (2016). Schlüssel zum Erfolg. Mit Strategieschlüsseln Problemlösestrategien fördern. *Praxis der Mathematik in der Schule*, 58 (68), 9-14.
- PISA-Konsortium Deutschland. (2006). *PISA 2003. Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Münster: Waxmann.
- Pollard, A. & James, M. (2004). *Personalised learning. A commentary by the teaching and learning research programme*. Swindon: Economic and Social Research Council.
- Polya, G. (1945). *How to solve it*. Princeton: Princeton University Press.
- Polya, G. (1949). *Schule des Denkens. Vom Lösen mathematischer Probleme*. Bern: Francke.
- Polya, G. (1981). *Mathematical discovery. On understanding, learning, and teaching problem solving*. New York: John Wiley & Sons.
- Pounds, W. F. (1969). The process of problem finding. *Industrial Management Review*, 11, 1-19.
- Prain, V., Cox, P., Deed, C., Dorman, J., Edwards, D., Farrelly, C., Keeffe, M., Lovejoy, V., Mow, L., Sellings, P., Waldrip, B. & Yager, Z. (2013). Personalised learning: Lessons to be learnt. *British Educational Research Journal*, 39 (4), 654-676.
- Prenzel, M. (2006). Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres: Die Ergebnisse von PISA-I-Plus im Überblick. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner, M. Neubrand, R. Pekrun, J. Rost & U. Schiefele (Hrsg.), *PISA 2003. Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres* (S. 15-28). Münster: Waxmann.
- Pressley, M., Borkowski, J. G. & Schneider, W. (1989). Good information processing. What it is and how education can promote it. *International Journal of Educational Research*, 13 (8), 857-867.
- Pugalee, D. K. (2001). Writing, mathematics, and metacognition: Looking for connections through students' work in mathematical problem solving. *School Science and Mathematics*, 101 (5), 236-245.
- Raatz, U. (1966). Eine Modifikation des WHITE - Tests bei großen Stichproben. *Biometrical Journal*, 8 (1-2).
- Rabenstein, K. (2016). Das Leitbild des selbstständigen Schülers - revisited. Praktiken der Subjektivierung im individualisierenden Unterricht. In K. Rabenstein & B. Wischer

- (Hrsg.), *Individualisierung schulischen Lernens. Mythos oder Königsweg?* (S. 47-63). Seelze: Klett/Kallmeyer.
- Rakoczy, K., Buff, A. & Lipowsky, F. (2005). *Befragungsinstrumente (= Teil 1 der Dokumentation Erhebungs- und Auswertungsinstrumente zur schweizerisch-deutschen Videostudie „Unterrichtsqualität, Lernverhalten und mathematisches Verständnis“, hrsg. von E. Klieme, C. Pauli & K. Reusser)*. Frankfurt a.M.: GFPP/DIPF.
- Rasch, R. (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*. Hildesheim: Franzbecker.
- Rellensmann, J., Schukajlow, S. & Leopold, C. (2016). Make a drawing. Effects of strategic knowledge, drawing accuracy, and type of drawing on students' mathematical modelling performance. *Educational Studies in Mathematics* (95), 53-78.
- Renkl, A. (2008). Kooperatives Lernen. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Pädagogischen Psychologie* (S. 84-94). Göttingen: Hogrefe.
- Renkl, A. & Nückles, M. (2006). Lernstrategien der externen Visualisierung. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 135-147). Göttingen: Hogrefe.
- Resnick, L. B., Asterhan, C. S. C., Clarke, S. & Schantz, F. (2018). Next generation research in dialogic learning. In G. H. Hall, L. F. Quinn & D. M. Gollnick (Hrsg.), *Handbook of teaching and learning* (S. 323-338). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Reusser, K. (2005). Problemorientiertes Lernen – Tiefenstruktur, Gestaltungsformen, Wirkung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 23 (2), 159-182.
- Reusser, K. (2006). Konstruktivismus – vom epistemologischen Leitbegriff zur Erneuerung der didaktischen Kultur. In M. Baer, M. Fuchs, P. Füglistner, K. Reusser & H. Wyss (Hrsg.), *Didaktik auf psychologischer Grundlage. Von Hans Aebli's kognitionspsychologischer Didaktik zur modernen Lehr- und Lernforschung* (S. 151-168). Bern: hep.
- Reusser, K. (2008). Empirisch fundierte Didaktik – didaktisch fundierte Unterrichtsforschung. Eine Perspektive zur Neuorientierung der Allgemeinen Didaktik. In M. A. Meyer, M. Prenzel & S. Hellekamps (Hrsg.), *Perspektiven der Didaktik (Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Sonderheft 9/2008)* (S. 219-237). Wiesbaden: VS.
- Reusser, K. (2009). Unterricht. In S. Andresen, R. Casale, T. Gabriel, R. Horlacher, S. Larcher Klee & J. Oelkers (Hrsg.), *Handwörterbuch Erziehungswissenschaft* (S. 881-896). Weinheim: Beltz.
- Reusser, K. (2014a). Aufgaben – Träger von Lerngelegenheiten und Lernprozesse im kompetenzorientierten Unterricht. *Seminar*, 4, 77-101.
- Reusser, K. (2014b). Kompetenzorientierung als Leitbegriff der Didaktik. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 32 (3), 325-339.
- Reusser, K. (2016). Jenseits der Beliebtheit. „Konstruktivistische Didaktik“ auf dem Prüfstand der empirischen Unterrichtsforschung. *Journal für LehrerInnenbildung*, 2, 40-48.
- Reusser, K. & Pauli, C. (2010). Unterrichtsgestaltung und Unterrichtsqualität – Ergebnisse einer internationalen und schweizerischen Videostudie zum Mathematikunterricht: Einleitung und Überblick. In K. Reusser, C. Pauli & M. Waldis (Hrsg.), *Unterrichtsgestaltung und Unterrichtsqualität. Ergebnisse einer internationalen und schweizerischen Videostudie zum Mathematikunterricht* (S. 9-32). Münster: Waxmann.
- Reusser, K. & Pauli, C. (2015). Co-constructivism in educational theory and practice. In J. D. Wright (Hrsg.), *International encyclopedia of the social & behavioral sciences* (S. 913-917). Oxford: Elsevier.

- Reusser, K., Pauli, C. & Stebler, R. (2015). Das Entwicklungsforschungsprojekt perLen. Eine Längsschnittstudie mit mehrperspektivischem und multimethodischem Design. In K. Reusser, C. Pauli & R. Stebler (Hrsg.), *Personalisierte Lernkonzepte in heterogenen Lerngruppen (perLen). Zwischenbericht 2015 mit Einblicken in Teilprojekte* (S. 6-11). Zürich/Freiburg: Universität Zürich/Universität Freiburg.
- Reusser, K. & Stebler, R. (1999). Authentizität bei der Beurteilung von Fachleistungen und Lernkompetenzen. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 17 (1), 10-23.
- Reusser, K. & Stebler, R. (2000). Authentisch, selbstgesteuert und interaktiv – Facetten des Mathematikunterrichts auf der Sekundarstufe I. In U. P. Trier (Hrsg.), *Bildungswirksamkeit zwischen Forschung und Politik* (S. 325-331). Chur: Rüegger.
- Rogat, T. K. & Adams-Wiggins, K. R. (2014). Other-regulation in collaborative groups: Implications for regulation quality. *Instructional Science*, 42 (6), 879-904.
- Rojas-Drummond, S., Torreblanca, O., Pedraza, H., Vélez, M. & Guzmán, K. (2013). „Dialogic scaffolding“: Enhancing learning and understanding in collaborative contexts. *Learning, Culture and Social Interaction*, 2, 11-21.
- Rollett, W. (2008). *Strategieinsatz, erzeugte Informationen und Informationsnutzung bei der Exploration und Steuerung komplexer dynamischer Systeme*. Münster: LIT.
- Roschelle, J. & Teasley, S. D. (1995). The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. In C. O'Malley (Hrsg.), *Computer supported collaborative learning* (S. 69-97). Berlin: Springer.
- Rosen, Y. (2015). Computer-based assessment of collaborative problem solving: Exploring the feasibility of human-to-agent approach. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 25 (3), 380-406.
- Rost, J. (2004). *Testtheorie – Testkonstruktion* (2., überarbeitete und erweiterte Auflage). Bern: Huber.
- Roth, H. (1971). *Pädagogische Anthropologie. Band 2: Entwicklung und Erziehung*. Hannover: Schrödel.
- Rott, B. (2014). Mathematische Problembearbeitungsprozesse von Fünftklässlern – Entwicklung eines deskriptiven Phasenmodells. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 35 (2), 251-282.
- Rubin, D. B. (1987). *Multiple imputation for nonresponse in surveys*. New York: John Wiley & Sons.
- Sandmann, A. (2014). Lautes Denken – die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 179-188). Berlin: Springer.
- Schafer, J. L. & Graham, J. W. (2002). Missing data: Our view of the state of the art. *Psychological Methods*, 7 (2), 147-177.
- Scherer, R. & Tiemann, R. (2012). Factors of problem-solving competency in a virtual chemistry environment: The role of metacognitive knowledge about strategies. *Computers and Education*, 59, 1199-1214.
- Schiefele, U. (2008). Lernmotivation und Interesse. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Pädagogischen Psychologie* (S. 38-49). Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U. & Schaffner, E. (2015). Motivation. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (2. Auflage) (S. 153-175). Berlin: Springer.
- Schiefele, U. & Streblow, L. (2006). Motivation aktivieren. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 232-247). Göttingen: Hogrefe.
- Schmid, M. & Dellios, Z. (2017). *Analyse Klassencockpit Mathematik. Unveröffentlichte Auswertungen*. Zürich/Freiburg: Universität Zürich/Universität Freiburg.

- Schmid, M. & Pauli, C. (2017). *Problemlösen – (k)ein Problem? Wie Schülerinnen und Schüler beim Lösen eines Problems vorgehen*. Vortrag am Jahreskongress der Schweizerischen Gesellschaft für Bildungsforschung (SGBF), Universität Freiburg.
- Schmid, M. & Pauli, C. (2018). *Problemlösen in der Kleingruppe: Ergebnisse einer videobasierten Untersuchung*. Vortrag am Jahreskongress der Schweizerischen Gesellschaft für Bildungsforschung (SGBF), Universität Zürich.
- Schmidt, C. (2013). Auswertungstechniken für Leitfadeninterviews. In B. Friebertshäuser, A. Langer & A. Prenzel (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft (4. Auflage)* (S. 473-486). Weinheim: Beltz Juventa.
- Schmitz, B. (2001). Self-Monitoring zur Unterstützung des Transfers einer Schulung in Selbstregulation für Studierende. Eine prozessanalytische Untersuchung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15 (3/4), 181-197.
- Schnell, R., Hill, P. B. & Esser, E. (2013). *Methoden der empirischen Sozialforschung*. München: Oldenbourg.
- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. San Diego: Academic Press.
- Schratz, M. (2009). „Lernseits“ von Unterricht. Alte Muster, neue Lebenswelten – was für Schulen? *Lernende Schule*, 12 (46-47), 16-21.
- Schratz, M., Schwarz, J. F. & Westfall-Greiter, T. (2011). Personale Bildungsprozesse in heterogenen Gruppen. *Zeitschrift für Bildungsforschung*, 1 (1), 25-39.
- Schratz, M. & Westfall-Greiter, T. (2010). Das Dilemma der Individualisierungsdidaktik. Plädoyer für personalisiertes Lernen in der Schule. *Journal für schulentwicklung*, 1, 18-31.
- Schukajlow, S. (2011). *Mathematisches Modellieren. Schwierigkeiten und Strategien von Lernenden als Bausteine einer lernprozessorientierten Didaktik der neuen Aufgabenkultur*. Münster: Waxmann.
- Schwarzkopf, R. (2015). Argumentationsprozesse im Mathematikunterricht der Grundschule: Ein Einblick. In A. Budke, M. Kuckuck, M. Meyer, F. Schäbitz, K. Schlüter & G. Weiss (Hrsg.), *Fachlich argumentieren lernen. Didaktische Forschungen zur Argumentation in den Unterrichtsfächern* (S. 31-45). Münster: Waxmann.
- Schworm, S. & Fischer, F. (2006). Academic Help Seeking. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 282-293). Göttingen: Hogrefe.
- Sebba, J., Brown, N., Steward, M., Galton, M. & James, M. (2007). *An investigation of personalised learning approaches used by schools. Research report*. Nottingham: University of Sussex.
- Seidel, T., Dalehefte, I. M. & Meyer, L. (2003). Aufzeichnen von Physikunterricht. In T. Seidel, M. Prenzel, R. Duit & M. Lehrke (Hrsg.), *Technischer Bericht zur Videostudie „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht“* (S. 47-75). Kiel: IPN.
- Seidel, T., Dalehefte, I. M. & Meyer, L. (2005). Standardized guidelines – How to collect videotapes. In T. Seidel, M. Prenzel & M. Kobarg (Hrsg.), *How to run a video study. Technical report of the IPN video study* (S. 29-53). Münster: Waxmann.
- Seidel, T. & Prenzel, M. (2010). Beobachtungsverfahren: Vom Datenmaterial zur Datenanalyse. In H. Holling & B. Schmitz (Hrsg.), *Handbuch Statistik, Methoden und Evaluation* (S. 139-152). Göttingen: Hogrefe.
- Seifert, A., Zentner, S. & Nagy, F. (2012). *Praxisbuch Service-Learning. „Lernen durch Engagement“ an Schulen*. Weinheim: Beltz.
- Shavelson, R. J., Gao, X. & Baxter, G. P. (1996). On the content validity of performance assessments: Centrality of domain specification. In M. Birenbaum & F. J. R. C. Dochy

- (Hrsg.), *Alternatives in assessment of achievements, learning processes and prior knowledge* (S. 131-141). New York: Springer.
- Skinner, B. F. (1971). *Analyse des Verhaltens*. München: Urban und Schwarzenberg.
- Slade, S. (1991). Case-based reasoning: A research paradigm. *AI Magazine*, 12 (1), 42-55.
- Solano-Flores, G. & Shavelson, R. J. (1997). Development of performance assessments in science: Conceptual, practical, and logistical issues. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 16 (3), 13-22.
- Soter, A. O., Wilkinson, I. A. G., Murphy, P. K., Rudge, L., Reninger, K. & Edwards, M. (2008). What the discourse tells us: Talk and indicators of high-level comprehension. *International Journal of Educational Research*, 47, 372-391.
- Souvignier, E. & Gold, A. (2004). Lernstrategien und Lernerfolg bei einfachen und komplexen Leistungsanforderungen. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 51, 309-318.
- Spering, M., Wagener, D. & Funke, J. (2005). The role of emotions in complex problem-solving. *Cognition and Emotion*, 19 (8), 1252-1261.
- Spörer, N. & Brunstein, J. C. (2006). Erfassung selbstregulierten Lernens mit Selbstberichtsverfahren. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20 (3), 147-160.
- Stacey, K. (1992). Mathematical problem solving in groups: Are two heads better than one? *Journal of Mathematical Behavior*, 11 (3), 261-275.
- Stebler, R. (1999). *Eigenständiges Problemlösen. Zum Umgang mit Schwierigkeiten beim individuellen und paarweisen Lösen mathematischer Problemgeschichten*. Bern: Lang.
- Stebler, R. (2019). *perLen-Studie: Kontext, Fragestellung, Design und Methode. Internes Arbeitspapier*. Zürich: Universität Zürich, Institut für Erziehungswissenschaft.
- Stebler, R., Pauli, C. & Reusser, K. (2017). Personalisiertes Lernen – Chancen und Herausforderungen für Lehrpersonen. *Lehren & Lernen. Zeitschrift für Schule und Innovation aus Baden-Württemberg*, 43 (5), 21-28.
- Stebler, R., Pauli, C. & Reusser, K. (2018). Personalisiertes Lernen – Zur Analyse eines Bildungsschlagwortes und Einblicke in die perLen-Studie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 64 (2), 159-178.
- Stebler, R., Reusser, K. & Ramseier, E. (1997). Spitzenleistungen der Schweizer Siebtklässler im TIMSS-Experimentiertest. *Schweizer Lehrerinnen- und Lehrerzeitung SLZ*, 10, 18-21.
- Steiner, E., Curschellas Widmer, F., Dellios, Z., Godenzi, E. & Reusser, K. (2010). *TRANSITION. Elterliche Unterstützung und motivational-affektive Entwicklung beim Übergang in die Sekundarstufe I. Mikrogenetische Ebene: Manual zur Codierung der Elterninterviews*. Zürich: Universität Zürich, Institut für Erziehungswissenschaft & Pädagogische Hochschule Zürich.
- Stender, P. (2016). *Wirkungsvolle Lehrerinterventionsformen bei komplexen Modellierungsaufgaben*. Wiesbaden: Springer.
- Stern, E. (1992). Die spontane Strategieentdeckung in der Arithmetik. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien. Analyse und Intervention* (S. 101-123). Göttingen: Hogrefe.
- Sternberg, R. J. (2003). Construct validity of the theory of successful intelligence. In R. J. Sternberg, J. Lautrey & T. I. Lubart (Hrsg.), *Models of intelligence* (S. 55-79). Washington, DC: American Psychological Association.
- Stoller, H. & Preisig, M. (2014). Wie wir Lernlandschaften leben. Ein Erfahrungsbericht. *Lernchancen*, 97, 14-19.
- Stebler, R. & Schiefele, U. (2006). Lernstrategien im Studium. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 352-364). Göttingen: Hogrefe.

- Strübing, J. (2015). Kodieren. In R. Diaz-Bone & C. Weischer (Hrsg.), *Methoden-Lexikon für die Sozialwissenschaften* (S. 214). Wiesbaden: Springer.
- Sturm, N. (2018). *Problemhaltige Textaufgaben lösen. Einfluss eines Repräsentationstrainings auf den Lösungsprozess von Drittklässlern*. Wiesbaden: Springer.
- Sturm, N. & Rasch, R. (2015). Forms of representation for solving mathematical word problems – Development of an intervention study. In A. Kauertz, H. Ludwig, A. Müller, J. Pretsch & W. Schnotz (Hrsg.), *Multidisciplinary research on teaching and learning* (S. 201-223). Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Sturm, N., Wahle, C. V., Rasch, R. & Schnotz, W. (2015). Self-generated representations are the key: The importance of external representations in predicting problem-solving success. In K. Beswick, T. Muir & J. Wells (Hrsg.), *Proceedings of the 39th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (S. 209-216). Hobart: PME.
- Tebaartz, P. C. & Lengnink, K. (2015). Was heißt „mathematischer Beweis“? – Realisierungen in Schülerdokumenten. In A. Budke, M. Kuckuck, M. Meyer, F. Schäbitz, K. Schlüter & G. Weiss (Hrsg.), *Fachlich argumentieren lernen. Didaktische Forschungen zur Argumentation in den Unterrichtsfächern* (S. 105-120). Münster: Waxmann.
- Thorndike, E. L. (1922). *Psychologie der Erziehung*. Jena: Gustav Fischer.
- Tietze, U.-P., Klika, M. & Wolpers, H. (1982). *Didaktik des Mathematikunterrichts in der Sekundarstufe II*. Braunschweig: Vieweg.
- TIMSS. (1994a). *Third International Mathematics and Science Study. Main survey. Coding guide for performance assessment populations 1 and 2*. Chestnut Hill: Boston College.
- TIMSS. (1994b). *Third International Mathematics and Science Study. Performance assessment. Administration manual for the main survey*. Chestnut Hill: Boston College.
- TIMSS. (1995). User guides for the TIMSS international database Verfügbar unter: <http://timss.bc.edu/timss1995i/Database.html>
- Tobinski, D. A. (2017). *Kognitive Psychologie. Problemlösen, Komplexität und Gedächtnis*. Berlin: Springer.
- Tschirgi, J. E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, 51, 1-10.
- Ubuz, B. & Ersoy, Y. (1997). The effect of problem-solving method with handout material on achievement in solving max-min word problems. *Journal of Mathematical Behavior*, 16 (1), 75-85.
- Urban, D. & Mayerl, J. (2011). *Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung (4., überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Wiesbaden: Springer.
- Urban, D. & Mayerl, J. (2018). *Angewandte Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Praxis (5., überarbeitete Auflage)*. Wiesbaden: Springer.
- Urban, D., Mayerl, J. & Wahl, A. (2016). *Regressionsanalyse bei fehlenden Variablenwerten (missing values): Imputation oder Nicht-Imputation? Eine Anleitung für die Regressionspraxis mit SPSS (2. korrigierte Auflage)*. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Sozialwissenschaften, Abteilung für Soziologie und empirische Sozialforschung.
- van Blankenstein, F. M., Dolmans, D. H. J. M., van der Vleuten, C. P. M. & Schmidt, H. G. (2011). Which cognitive processes support learning during small-group discussion? The role of providing explanations and listening to others. *Instructional Science*, 39, 189-204.
- Vasarik Staub, K., Stebler, R. & Reusser, K. (2018). „In parents' school experience, the teacher was just lecturing at the front“. School-family partnerships in schools with personalized learning concepts. *International Journal about Parents in Education*, 10 (1), 1-13.

- Verschaffel, L., Luwel, K., Torbeyns, J. & Van Dooren, W. (2009). Conceptualizing, investigating, and enhancing adaptive expertise in elementary mathematics education. *European Journal of Psychology of Education*, 14 (3), 335-359.
- Volet, S., Vauras, M., Khosa, D. & Iiskala, T. (2013). Metacognitive regulation in collaborative learning: Conceptual developments and methodological contextualizations. In S. Volet & M. Vauras (Hrsg.), *Interpersonal regulation of learning and motivation. Methodological advances* (S. 67-101). London: Routledge.
- Waldis, M., Buff, A., Pauli, C. & Reusser, K. (2002). *Skalendokumentation zur Schülerinnen- und Schülerbefragung in der schweizerischen Videostudie zum Mathematikunterricht*. Zürich: Universität Zürich, Pädagogisches Institut.
- Waldrup, B., Cox, P., Deed, C., Dorman, J., Edwards, D., Farrelly, C., Keeffe, M., Lovejoy, V., Mow, L., Prain, V., Sellings, P. & Yager, Z. (2014). Student perceptions of personalised learning: Development and validation of a questionnaire with regional secondary students. *Learning Environments Research*, 17 (3), 355-370.
- Waldrup, B., Jin Yu, J. & Prain, V. (2016). Validation of a model of personalised learning. *Learning Environments Research*, 19, 169-180.
- Wallas, G. (1926). *The art of thought*. London: C.A. Watts & Co.
- Watermann, R. & Baumert, J. (2006). Entwicklung eines Strukturmodells zum Zusammenhang zwischen sozialer Herkunft und fachlichen und überfachlichen Kompetenzen: Befunde national und international vergleichender Analysen. In J. Baumert, P. Stanat & R. Watermann (Hrsg.), *Herkunftsbedingte Disparitäten im Bildungswesen: Differenzielle Bildungsprozesse und Probleme der Verteilungsgerechtigkeit. Vertiefende Analysen im Rahmen von PISA 2000* (S. 61-94). Wiesbaden: VS.
- Webb, N., Franke, M. L., Ing, M., Wong, J., Fernandez, C. H., Shin, N. & Turrou, A. C. (2014). Engaging with others' mathematical ideas: Interrelationships among student participation, teachers' instructional practices, and learning. *International Journal of Educational Research*, 63, 79-93.
- Webb, N. M. (1992). Testing a theoretical model of student interaction and learning in small groups. In R. Hertz-Lazarowitz & N. Miller (Hrsg.), *Interaction in cooperative groups. The theoretical anatomy of group learning* (S. 102-119). Cambridge: Cambridge University Press.
- Webb, N. M. & Farivar, S. H. (1999). Developing productive group interaction in middle school mathematics. In A. M. O'Donnell & A. King (Hrsg.), *Cognitive perspectives on peer learning* (S. 117-149). Hillsdale: Erlbaum.
- Webb, N. M., Farivar, S. H. & Mastergeorge, A. M. (2002). Productive helping in cooperative groups. *Theory Into Practice*, 41 (1), 13-20.
- Webb, N. M., Franke, M. L., Ing, M., Turrou, A. C., Johnson, N. C. & Zimmerman, J. (in press). Teacher practices that promote productive dialogue and learning in mathematics classrooms. *International Journal of Educational Research*.
- Webb, P. & Treagust, D. F. (2006). Using exploratory talk to enhance problem-solving and reasoning skills in grade-7 science classrooms. *Research in Science Education*, 36, 381-401.
- Wecker, C., Hetmanek, A. & Fischer, F. (2016). Zwei Fliegen mit einer Klappe? Fachwissen und fächerübergreifende Kompetenzen gemeinsam fördern. *Unterrichtswissenschaft*, 44 (3), 226-238.
- Wegerif, R., Fujita, T., Doney, J., Perez Linares, J., Richards, A. & van Rhyn, C. (2017). Developing and trialing a measure of group thinking. *Learning and Instruction*, 48, 40-50.

- Wegerif, R. & Mercer, N. (1997). Using computer-based text analysis to integrate qualitative and quantitative methods in research on collaborative learning. *Language and Education*, 11 (4), 271-286.
- Weinert, F. W. (1996). Lerntheorie und Instruktionsmodelle. In F. W. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie Band II: Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 1-48). Göttingen: Hogrefe.
- Weinert, F. W. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. W. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessung in Schulen* (S. 17-31). Weinheim: Beltz.
- Weischer, C. (2015). Kategorie. In R. Diaz-Bone & C. Weischer (Hrsg.), *Methoden-Lexikon für die Sozialwissenschaften* (S. 207). Wiesbaden: Springer.
- Wellenreuther, M. (2011). Kooperativ lernen – aber wie? Teil 2: Wirksamkeit und Grenzen kooperativer Methoden. *SchVwNRW*, 12, 324-327.
- Wertheimer, M. (1964). *Produktives Denken*. Frankfurt: Waldemar Kramer.
- Wespi, C., Luthiger, H. & Wilhelm, W. (2015). Mit Aufgabensets Kompetenzaufbau und Kompetenzförderung ermöglichen. *Haushalt in Bildung und Forschung*, 4 (4), 31-46.
- Wild, E., Hofer, M. & Pekrun, R. (2006). Psychologie des Lernens. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch (5., vollständig überarbeitete Auflage)* (S. 203-267). Weinheim: Beltz.
- Wilson, J. W., Fernandez, M. L. & Hadaway, N. (1993). Mathematical problem solving. In J. W. Wilson (Hrsg.), *Research ideas for the classroom: High school mathematics* (S. 57-77). New York: MacMillan.
- Winne, P. H., Jamieson-Noel, D. H. & Muis, K. R. (2002). Methodological issues and advances in researching tactics, strategies, and self-regulated learning. In P. R. Pintrich & M. L. Maehr (Hrsg.), *Advances in motivation and achievement: New directions in measures and methods* (S. 121-155). Greenwich, CA: JAI Press.
- Winne, P. H. & Perry, R. P. (2000). Measuring self-regulated learning. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 531-566). San Diego: Elsevier.
- Wirtz, M. & Caspar, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität. Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen*. Göttingen: Hogrefe.
- WissGem. (2016). Zur Einführung der Gemeinschaftsschule in Baden-Württemberg: Zusammenfassung, Diskussion und Empfehlungen. In T. Bohl & A. Wacker (Hrsg.), *Die Einführung der Gemeinschaftsschule in Baden-Württemberg. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitforschung (WissGem)* (S. 331-360). Münster: Waxmann.
- Wittrock, M. C. (1990). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, 24 (4), 345-376.
- Wullschleger, A. (2013). *Kameraskript des Projektes spimaf (Spielintegrierte mathematische Frühförderung)*. Unveröffentlichtes Skript. Zürich: Universität Zürich.
- Wüstenberg, S., Greiff, S. & Funke, J. (2012). Complex problem solving – More than reasoning? *Intelligence*, 40, 1-14.
- Wüstenberg, S., Greiff, S., Molnár, G. & Funke, J. (2014). Cross-national gender differences in complex problem solving and their determinants. *Learning and Individual Differences*, 29, 18-29.
- Yimer, A. & Ellerton, N. F. (2010). A five-phase model for mathematical problem solving: Identifying synergies in pre-service-teachers' metacognitive and cognitive actions. *ZDM*, 42, 245-261.

- Zeder, A. (2006). *Das Lernjournal. Ein Instrument zur Förderung metakognitiver und fachlicher Kompetenzen*. Paderborn: Eusl-Verlagsgesellschaft.
- Zehner, F., Weis, M., Vogel, F., Leutner, D. & Reiss, K. (2017). *Kollaboratives Problemlösen in PISA 2015. Befundhöhepunkte rund um Deutschland*. München: Technische Universität München.
- Zierer, K. (2014). Wie sich Effektstärken in der Erziehungswissenschaft interpretieren lassen. In E. Kiel, I. Esslinger-Hinz & K. Reusser (Hrsg.), *Jahrbuch für Allgemeine Didaktik 2014* (S. 115-122). Baltmannsweiler: Schneider-Verlag Hohengehren.
- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 13-39). San Diego: Academic Press.
- Zimmerman, B. J. (2001). Theories of self-regulated learning and academic achievement: An overview and analysis. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Hrsg.), *Self-regulated learning and academic achievement. Theoretical perspectives (second edition)* (S. 1-37). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41 (2), 64-70.
- Zimmerman, B. J. & Labuhn, A. S. (2012). Self-regulation of learning: Process approaches to personal development. In K. R. Harris, S. Graham & T. Urdan (Hrsg.), *Educational psychology handbook* (S. 399-425). Washington: American Psychological Association.
- Zimmerman, B. J. & Martinez-Pons, M. (1988). Construct validation of a strategy model of student self-regulated learning. *Journal of Educational Psychology*, 80 (3), 284-290.
- Zimmermann, B. (1977). *Analyse des Problemlöseverhaltens bei Aufgaben aus der Inzidenzgeometrie – Eine exploratorische Studie mit Schülern und Studenten (Dissertation)*. Paderborn: Universität Paderborn.
- Zimmermann, B. (1991). Offene Probleme für den Mathematikunterricht und ein Ausblick auf Forschungsfragen. *ZDM*, 23 (2), 38-46.
- Zimmermann, B. (2003). Mathematisches Problemlösen und Heuristik in einem Schulbuch. *Der Mathematikunterricht*, 49 (1), 42-57.
- Zoanetti, N. & Griffin, P. (2017). Log-file data as indicators for problem-solving processes. In B. Csapò & J. Funke (Hrsg.), *The nature of problem solving: Using research to inspire 21st century learning* (S. 177-191). Paris: OECD.

Anhang

A Erhebungsinstrumente

A.1 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

Verpackungen – Teil 1



Liebe Schülerin, lieber Schüler

Für die folgende Aufgabe hast du **40 Minuten** Zeit. Lies die Hinweise sorgfältig durch und löse danach die Aufgabe. Falls du zu wenig Platz hast, kannst du deine Antworten auch auf der Rückseite notieren.

Viel Spass beim Lösen der Aufgabe und vielen Dank für deine hilfreiche Mitarbeit am perLen-Projekt!

Material

Für diese Aufgabe brauchst du:

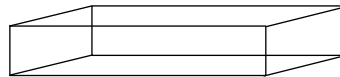
- Vier Tischtennisbälle, die in einer viereckigen Schachtel verpackt sind
- Dickes Papier, um eine Verpackung für die Bälle herzustellen
- Schreibzeug
- Geodreieck
- Lineal
- Zirkel
- Schere
- Klebband
- Taschenrechner
- Büroklammer

Hinweise zur Aufgabe

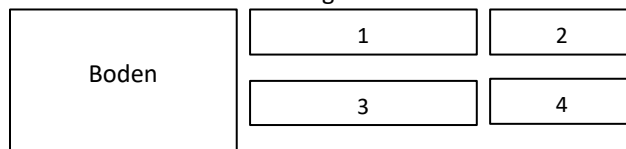
Bevor du die Aufgabe löst, lies Folgendes:

Die folgende Abbildung zeigt, was mit dem Faltplan einer Schachtel gemeint ist.

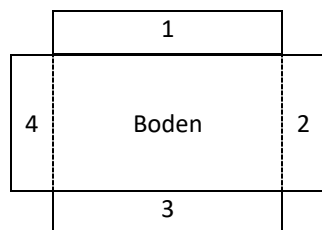
Diese Schachtel hat einen Boden und vier Seiten:



Die Seiten können einzeln herausgeschnitten werden:



Die Seiten können aber auch in einem Stück ausgeschnitten und dann entlang der gestrichelten Linie gefaltet werden (siehe nächste Abbildung):

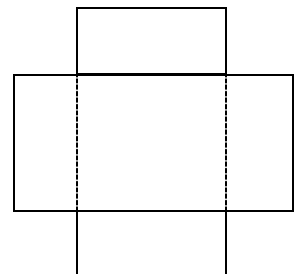
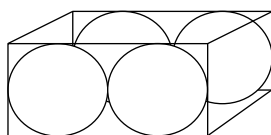


Das ist ein Faltplan.

Dies ist ein Faltplan der Schachtel, welche die vier Bälle enthält. Er wurde nicht maßstabgetreu gezeichnet, aber wenn es so wäre, könntest du die Seiten hochklappen und daraus eine Schachtel herstellen.

Ein Faltplan hat keine Kleberänder.

Du hast eine Schachtel erhalten, in die genau vier Bälle passen.



Es könnten aber auch andere Formen von Schachteln hergestellt werden, in die ebenfalls genau vier Bälle passen.

Aufgaben

1. Verwende die Bälle, um drei andere Schachteln zu erfinden, in die vier Bälle genau hineinpassen. Mache eine Zeichnung von jeder Schachtel mit den vier Bällen darin.

2. Fertige nun für jede Schachtel eine Zeichnung des Faltplans an.

3. Wähle EINE der Schachteln aus, die du gezeichnet hast. Verwende ein Stück dickes Papier, um den Faltpfad dieser Schachtel herzustellen. Stelle den Faltpfad in der richtigen Grösse her. Wenn man die Schachtel falten würde, müssten die vier Tischtennisbälle genau hineinpassen. Beschrifte den Faltpfad mit deinem Vor- und Nachnamen.

4. Berechne nun für alle drei Schachteln in der Originalgrösse
 - a. die Oberfläche und
 - b. das Volumen.Notiere jeweils deinen Lösungsweg!

Allgemeines Vorgehen beim Lösen von Problemen

-
- This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins or other markings on the paper.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Motivation während des Bearbeitens der Aufgabe „Verpackungen“

Wie war deine Motivation während des Bearbeitens der Aufgabe?

	😊😊	😊	😞	😞😞
Zu Beginn der Aufgabe:	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Etwa in der Mitte der Aufgabe:	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Gegen Ende der Aufgabe:	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄

Zufriedenheit mit der Lösung

Wie zufrieden bist du mit deiner Lösung?

😊😊	😊	😞	😞😞
<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄

Überblick über das Vorgehen beim Bearbeiten der

Wie ist es dir beim Lösen der Aufgabe „Verpackungen“ ergangen?
Kreuze bitte an, wie genau jede der folgenden Antworten stimmt!

	Stimmt genau	Stimmt eher	Stimmt eher nicht	Stimmt gar nicht
Vor dem Lösen der Aufgabe habe ich genau gewusst, was ich erreichen möchte.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Ich habe mich während des Lösens der Aufgabe gut konzentrieren können.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Während des Lösens der Aufgabe habe ich immer wieder kontrolliert, ob ich es verstanden habe.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Nach dem Lösen der Aufgabe habe ich mir überlegt, ob ich mir die Zeit richtig eingeteilt habe.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Vor dem Lösen der Aufgabe habe ich mir genau überlegt, wie ich vorgehen will.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Ich habe versucht, alles zu schaffen, was ich mir für das Lösen der Aufgabe vorgenommen hatte.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Während des Lösens der Aufgabe habe ich mir überlegt, ob mein Vorgehen richtig ist.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Nach dem Lösen der Aufgabe habe ich überprüft, ob ich das geschafft habe, was ich mir vorgenommen hatte.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Die Aufgabe „Verpackungen“ könnte von unseren Lehrpersonen stammen.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Diese Aufgabe wollte ich unbedingt lösen.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Nach dem Lösen der Aufgabe habe ich mir überlegt, ob die erhaltenen Resultate stimmen können.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Bei solchen Aufgaben kann man viel lernen.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Ich kenne viele Lernstrategien.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Ich kenne viele Problemlösestrategien.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Vor dem Lösen der Aufgabe habe ich mir überlegt, wie ich beginnen soll.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Diese Aufgabe war spannend.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Wir lösen im Unterricht oft ähnliche Aufgaben wie die Aufgabe „Verpackungen“.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Wie ich die Aufgabe löse, habe ich mir vorher überlegt.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Bei dieser Aufgabe habe ich viel gelernt.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Ich habe sehr konzentriert gearbeitet.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Ich kann gut Probleme lösen.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄
Vor dem Lösen der Aufgabe habe ich mir einen Zeitplan gemacht.	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄

A.3 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

Verpackungen – Teil 3A



Liebe Schülerinnen, liebe Schüler

In den nächsten **20 Minuten** arbeitet ihr in Dreiergruppen: Zuerst arbeitet ihr 10 Minuten an der ersten und dann 10 Minuten an der zweiten Aufgabe. Die zweite Aufgabe teilen wir euch später aus.

Notiert alle eure Lösungen, Ideen und Überlegungen. Falls ihr zu wenig Platz habt, könnt ihr eure Antworten auch auf der Rückseite notieren.

Viel Spass beim Lösen der Aufgaben und vielen Dank für eure hilfreiche Mitarbeit am perLen-Projekt!

Aufgabe

1. Insgesamt gibt es über 15 verschiedene Schachteln für genau vier Tischtennisbälle. Versucht gemeinsam, möglichst viele unterschiedliche Schachteln zu finden. Macht jeweils eine Zeichnung von den Schachteln mit den vier Bällen darin.

Verpackungen – Teil 3B



2. Welches ist in euren Augen die *beste* Verpackung?
Warum ist genau die von euch gewählte Schachtel die *beste* Verpackung? Wie unterscheidet sie sich von den anderen Verpackungen? Begründet eure Wahl ausführlich!

B Auswertungsinstrumente

Auswertungsinstrumente

Zitiervorschlag:

Schmid, M. (2019). *Problemlösen in Schulen mit personalisierten Lernkonzepten: Auswertungsinstrumente*. Unveröffentlichte Dokumentation. Freiburg: Universität Freiburg.

Inhaltsverzeichnis

1	Auswertungen Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)	260
1.1	Allgemeine Hinweise	260
1.2	Aufgabe 1	260
1.2.1	Korrektheit der Aufgabe	260
1.2.2	Kodierung Schachteltyp	262
1.3	Aufgabe 2	264
1.3.1	Korrektheit der Aufgabe	264
1.3.2	Kodierung Faltplantyp	265
1.4	Aufgabe 3	266
1.4.1	Korrektheit der Aufgabe	266
1.4.2	Kodierung Schachteltyp	266
1.5	Aufgabe 4a	267
1.5.1	Korrektheit der Aufgabe	267
1.5.2	Kodierung Lösungsweg Oberfläche	268
1.6	Aufgabe 4b	268
1.6.1	Korrektheit der Aufgabe	268
1.6.2	Kodierung Lösungsweg Volumen	269
2	Auswertungen Reflexionsinstrument	270
2.1	Allgemeine Hinweise	270
2.2	Auswertung Frage 1.1	271
2.3	Auswertung Frage 2.1	278
3	Auswertungen Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)	286
3.1	Allgemeine Hinweise	286
3.2	Auswertungen Aufgaben	286
3.3	Auswertung Gespräche	286
3.3.1	Bestimmung der Sprechzeit	286
3.3.2	Interaktive Qualität der Gespräche	287
3.3.3	Fachliche und inhaltsbezogene Qualität der Gespräche	288
3.3.3.1	Verwendung von Fachbegriffen	288
3.3.3.2	Verstehenselemente (Kodierung)	288
3.3.3.3	Argumentieren und Begründen	289
3.4	Gemeinsame Regulation des Problemlöseprozesses	290
4	Literatur	291

1 Auswertungen Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

1.1 Allgemeine Hinweise

- Aufbau der Codes (Lie, Taylor & Harmon, 1996; TIMSS, 1994): Die Codes sind zwei- oder vierstellig. Die erste Ziffer zeigt jeweils an, ob und wie viele Punkte für die Aufgabe vergeben werden (ein Punkt, zwei Punkte oder drei Punkte). Lösungen, für welche keine Punkte vergeben werden können, beginnen jeweils mit der Ziffer 7 (falsche Antwort) oder der Ziffer 9 (unleserliche, durchgestrichene oder fehlende Antwort). Bei zweistelligen Codes spezifiziert die zweite Ziffer die Antwort und zeigt zum Beispiel das Vorgehen oder die Strategie an. Bei vierstelligen Codes zeigen die zweite und die dritte Ziffer die Grundform an, während sich die letzte Ziffer auf den Schachteltyp bezieht.
- Die Codes werden in SPSS eingegeben.
- Die Inter-Coder-Reliabilität wird in SPSS berechnet.
- Kodiereinheit: Jede Schachtel, jeder Faltpapier bzw jede Berechnung wird einzeln kodiert.
- Pro Schachtel, Faltpapier oder Berechnung kann jeweils nur ein Code vergeben werden.
- Fehlende Lösungen werden mit „Missing“ kodiert.
- Falls beim Kodieren Fragen auftreten, werden diese in einem separaten Dokument vermerkt.

1.2 Aufgabe 1

Verwende die Bälle, um drei andere Schachteln zu erfinden, in die vier Bälle genau hineinpassen. Mache eine Zeichnung von jeder Schachtel mit den vier Bällen darin.

1.2.1 Korrektheit der Aufgabe

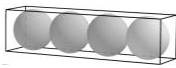


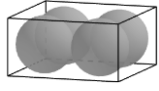
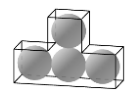

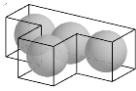
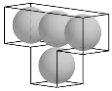
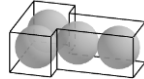
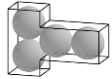


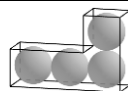

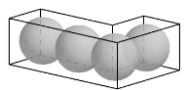
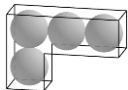

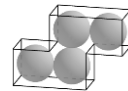

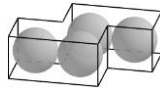
Bei der Kodierung der Verpackungen sind die folgenden drei Hauptkriterien für eine korrekte Antwort entscheidend (Garden, 1997; TIMSS, 1994):

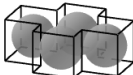

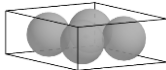
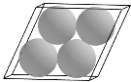



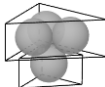



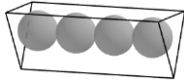



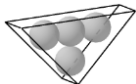

1. Alle vier Bälle werden in der Schachtel gezeichnet.
2. Die Bälle sind eng verpackt.
3. Jede Schachtel darf nur einmal vorkommen. Wiederholungen sind nicht falsch, werden aber nicht gezählt.

Code	Beschreibung	Beispiel
30	Drei oder mehr verschiedene korrekte Verpackungen (perspektivische Skizzen mit eingezeichneten Bällen)	
31	Zu den drei oder mehr korrekten Verpackungen (perspektivische Skizzen mit eingezeichneten Bällen) werden noch weitere falsche oder identische Verpackungen gezeichnet	
32	Drei oder mehr verschiedene korrekte Verpackungen (unabhängig davon, ob noch weitere falsche oder identische Faltpläne vorliegen), jedoch keine perspektivischen Skizzen, sondern Grundrisse mit eingezeichneten Bällen	
33	Drei oder mehr verschiedene korrekte Verpackungen (auch wenn mit weiteren falschen oder identischen Verpackungen), wobei es perspektivische Skizzen und Grundrisse mit eingezeichneten Bällen gibt	
20	Zwei verschiedene korrekte Verpackungen (perspektivische Skizzen mit eingezeichneten Bällen)	
21	Zu den zwei korrekten Verpackungen werden noch weitere falsche oder identische Verpackungen gezeichnet	
22	Zwei verschiedene korrekte Verpackungen (auch wenn mit weiteren falschen oder identischen Verpackungen), jedoch keine perspektivischen Skizzen, sondern Grundrisse mit eingezeichneten Bällen	
23	Zwei verschiedene korrekte Verpackungen (auch wenn mit weiteren falschen oder identischen Verpackungen), wobei es perspektivische Skizzen und Grundrisse mit eingezeichneten Bällen gibt	
10	Eine korrekte Verpackung (perspektivische Skizze mit eingezeichneten Bällen)	
11	Zur korrekten Verpackung werden noch weitere falsche oder identische Verpackungen gezeichnet	
12	Eine korrekte Verpackung (evtl. mit weiteren falschen oder identischen Verpackungen), jedoch keine perspektivische Skizze, sondern Grundriss mit eingezeichneten Bällen	
19	Minimal richtige Lösung	
70	Keine richtige Lösung, weil Bälle nicht eng verpackt sind	
71	Eine korrekte Verpackung, jedoch ohne eingezeichnete Bälle	
72	Zwei verschiedene korrekte Verpackungen, jedoch ohne eingezeichnete Bälle	
73	Drei oder mehr verschiedene korrekte Verpackungen, jedoch ohne eingezeichnete Bälle	
76	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	
79	Andere, inkorrekte Antwort (z.B., wenn Faltpläne gezeichnet wurden)	
90	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar	
99	Leer	
In Anlehnung an Garden (1997); TIMSS (1994)		

1.2.2 Kodierung Schachteltyp

Der Schachteltyp kann nur bestimmt werden, wenn eine perspektivische Zeichnung gezeichnet wurde. Wurde hingegen nur der Grundriss gezeichnet, kann die Lage im Raum nicht bestimmt werden. In diesen Fällen kann der Faltpfad von Aufgabe 2 zu Hilfe genommen werden. Falls dieser nicht vorhanden ist, wird der Code für den Grundtyp vergeben. Beispielsweise hat eine Schülerin oder ein Schüler den Grundriss einer Schachtel in I-Form gezeichnet und bei Aufgabe 2 fehlen die Faltpfade. So wird nun der Code 1010 vergeben, da nicht sicher ist, ob die Schachtel liegt (1011) oder steht (1012).

Schachteltyp	Abbildung des Körpers	Schachteltyp	Abbildung des Körpers
Richtige Lösungen			
Grundform 1: I-Form (1010)			
1011		1012	
Grundform 2: Quader (1020)			
1021		1022 Hinweis: Code nur bei der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit), sonst Code 7600!	
Grundform 3: T-Form 1 (1030)			
1031		1033	
1032		1034	
Grundform 4: T-Form 2 (1040)			
1041		1043	
1042		1044	
Grundform 5: L-Form (1050)			
1051		1054	
1052		1055	
1053			
Grundform 6: S-Form (1060)			
1061		1063	
1062			

Grundform 7: Kreuz (1070)			
1071		1072	
Grundform 8: Rhomboid/Parallelogramm (1080)			
1081		1082	
Grundform 9: Pyramide/Kegel (1090)			
1091			
Grundform 10: Pyramide speziell (1100)			
1101		1103	
1102		1104	
Grundform 11: Zylinder (1110)			
1111		1112	
Grundform 12: „Toblerone“ (1120)			
1121		1122	
Grundform 13: Dreieck (1130)			
1131		1133	
1132			
Falsche Lösungen			
7000	Fehler, aber nicht genauer spezifiziert		
7100	Wird mehrmals der gleiche Schachteltyp gezeichnet, werden die Wiederholungen mit dem Code 7100 versehen		
7600	Beispielverpackung Hinweis: Code nur bei Kodierung der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit), sonst 1022!		
			
Missings			
9000	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar		
9999	Leer		
In Anlehnung an Leibundgut (1996)			


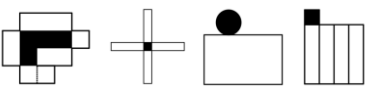
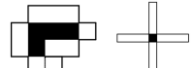
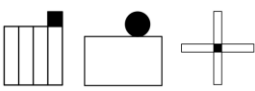

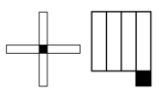
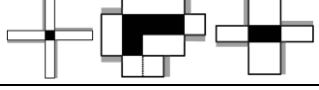



1.3 Aufgabe 2

Fertige nun für jede Schachtel eine Zeichnung des Faltplans an.

1.3.1 Korrektheit der Aufgabe

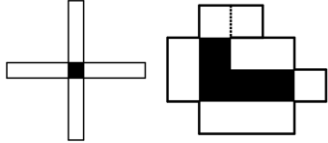
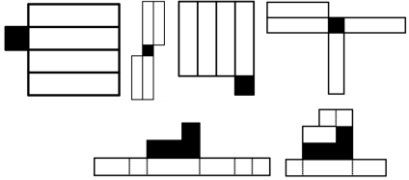

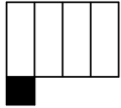
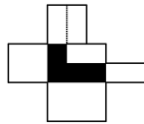
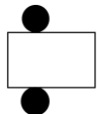
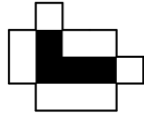
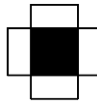
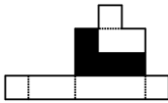
Bei der Kodierung der Faltpläne sind die folgenden drei Hauptkriterien für eine korrekte Antwort entscheidend (Garden, 1997; TIMSS, 1994):

1. Die gezeichneten Faltpläne entsprechen den in Aufgabe 1 entworfenen Schachteln.
2. Die Faltpläne zeigen deutlich die korrekte Grundfläche und die Seitenflächen der Verpackung auf, in welcher die Bälle eng verpackt sind.
3. Die Proportionen der Grundfläche und Seitenflächen stimmen, sie müssen aber nicht in der Originalgrösse sein. Sind die Flächen nicht proportional gezeichnet, aber es werden die korrekten Grössen angegeben, wird dies als richtig bewertet.

Code	Beschreibung	Beispiel
30	Drei oder mehr verschiedene korrekte Faltpläne	
31	Zu den drei oder mehr korrekten Faltplänen werden noch weitere falsche oder identische Faltpläne gezeichnet	
20	Zwei verschiedene korrekte Faltpläne	
21	Zu den zwei korrekten Faltplänen werden noch weitere falsche oder identische Faltpläne gezeichnet	
10	Ein korrekter Faltplan	
11	Zum korrekten Faltplan werden noch weitere falsche oder identische Faltpläne gezeichnet	
12	Drei oder mehr verschiedene korrekte Faltpläne (unabhängig davon, ob noch weitere falsche oder identische Faltpläne vorliegen) mit Kleberändern	
13	Zwei verschiedene korrekte Faltpläne (auch wenn mit weiteren falschen oder identischen Faltplänen) mit Kleberändern	
14	Ein korrekter Faltplan (auch wenn mit weiteren falschen oder identischen Faltplänen) mit Kleberändern	
19	Minimal richtige Lösung (z.B. wenn nur ein Faltplan vorhanden ist, welcher aber aus mehreren Teilstücken zusammengesetzt ist)	
70	Keine richtige Lösung, weil ein Hauptkriterium nicht beachtet wird	
76	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	
79	Andere, inkorrekte Antwort	
90	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar	
99	Leer	

In Anlehnung an Garden (1997); TIMSS (1994)

1.3.2 Kodierung Faltplantyp

Code	Beschreibung	Beispiel
Richtige Lösungen		
11	Faltplan wird ausgehend von der Grundfläche gezeichnet	
12	Faltplan wird nicht ausgehend von der Grundfläche gezeichnet	
13	Grundfläche kann nicht in der Mitte sein (z.B. Zylinder)	
Falsche Lösungen		
71	Faltplan entspricht nicht einer in Aufgabe 1 entworfenen Schachtel	
72	Bälle sind nicht eng verpackt	
73	Proportionen der Grundfläche und der Seitenflächen stimmen nicht	
74	Zu viele Flächen (z.B. inkl. Deckel)	
75	Zu wenige Flächen (z.B. eine Seite wurde vergessen)	
76	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	
77	Flächen sind falsch angeordnet, sodass konkretes Zusammenfallen nicht klappt	
79	Andere, inkorrekte Antwort (auch wenn mehrere Fehler kombiniert)	
Keine Lösungen		
90	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar	
99	Leer	

1.4 Aufgabe 3

Wähle EINE der Schachteln aus, die du gezeichnet hast. Verwende ein Stück dickes Papier, um den Faltpplan dieser Schachtel herzustellen. Stelle den Faltpplan in der richtigen Grösse her. Wenn man die Schachtel falten würde, müssten die vier Tischtennisbälle genau hineinpassen.

1.4.1 Korrektheit der Aufgabe

Bei der Kodierung der massstabgetreuen Faltppläne sind die folgenden vier Hauptkriterien für eine korrekte Antwort entscheidend (Garden, 1997; TIMSS, 1994):

1. Der massstabgetreue Faltpplan entspricht einem in Aufgabe 2 entworfenen Faltpplan.
2. Der Faltpplan besteht aus *einem* Stück Papier und darf nicht aus verschiedenen Teilen zusammengeklebt sein.
3. Der Faltpplan besteht aus einer Grundfläche und allen Seitenflächen.
4. Der Faltpplan ist massstäblich gezeichnet.

Code	Beschreibung
20	Vollständiger und korrekter Faltpplan, alle Masse stimmen (+/- 1mm pro Ball)
29	Andere richtige Lösung (z.B. Faltpplan wurde nicht nur gezeichnet, sondern auch zusammengeklebt)
10	Vollständiger Faltpplan, aber die Masse stimmen nicht vollständig
11	Vollständiger und korrekter Faltpplan, alle Masse stimmen (+/- 1mm pro Ball) mit Kleberändern
12	Vollständiger und korrekter Faltpplan, die Masse stimmen nicht vollständig mit Kleberändern
13	Teilweise richtig, Schachtel wurde zusammengeklebt
17	Teilweise richtig (z.B. angeklebte Flächen)
19	Andere minimal richtige Lösung mit einem Fehler
71	Faltpplan entspricht nicht einer in Aufgabe 1 entworfenen Schachtel
72	Bälle sind nicht eng verpackt
73	Proportionen der Grundfläche und der Seitenflächen stimmen nicht
74	Zu viele Flächen (z.B. inkl. Deckel)
75	Zu wenige Flächen (z.B. eine Seite wurde vergessen)
76	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung
77	Flächen sind falsch angeordnet, sodass konkretes Zusammenfallen nicht klappt
79	Andere, inkorrekte Antwort (auch wenn mehrere Fehler kombiniert)
90	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar
99	Leer
In Anlehnung an Garden (1997); TIMSS (1994)	

1.4.2 Kodierung Schachteltyp

Die Schachteln werden analog zur Kodierung des Schachteltyps in Aufgabe 1 (siehe Kapitel 1.2.2) kodiert.

1.5 Aufgabe 4a

Berechne nun für alle drei Schachteln in der Originalgrösse die Oberfläche.

1.5.1 Korrektheit der Aufgabe

Bei der Kodierung der Oberfläche sind die folgenden drei Hauptkriterien für eine korrekte Antwort entscheidend:

1. Es wird mit den genauen Massen (40mm, +/- 1mm pro Ball) gerechnet.
2. Die Einheiten werden angegeben und stimmen (z.B. cm²).
3. Das Resultat stimmt.

Das Vorhandensein eines Lösungswegs ist kein entscheidendes Kriterium für eine korrekte Antwort.

Code	Beschreibung
30	Drei oder mehr korrekte Berechnungen der Oberfläche
31	Zu den drei oder mehr korrekten Berechnungen der Oberfläche werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Oberfläche gemacht
20	Zwei korrekte Berechnungen der Oberfläche
21	Zu den zwei korrekten Berechnungen der Oberfläche werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Oberfläche gemacht
10	Eine korrekte Berechnung der Oberfläche
11	Zur korrekten Berechnung der Oberfläche werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Oberfläche gemacht
19	Minimal richtige Lösung (z.B. wenn nur Formel aufgeschrieben, aber nicht gelöst)
76	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung
79	Andere, inkorrekte Antwort
90	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar
99	Leer

1.5.2 Kodierung Lösungsweg Oberfläche

Code	Beschreibung	Beispiel
Richtige Lösung		
10	Richtige Lösung inkl. Lösungsweg	(F0203) $0,5 \cdot 4 = 32/32 \cdot 5 = 160/160 : 64 = 224 \text{ cm}^2$
11	Richtige Lösung ohne Lösungsweg	(K0412) $\text{Oberfläche} = 224 \text{ cm}^2$
Falsche Lösung		
71	Messungenauigkeit, d.h. falsche Masse werden verwendet	(A0106) $L \ 15 \text{ cm} \ H \ 3,5 \text{ cm}$ $B \ 3,5 \text{ cm}$
72	Fehler bei Einheit oder Dimension, falsche Umwandlung	(A0206) $Q = 69 \text{ cm}$
73	Fehlende Einheiten	(H0102) $\begin{array}{l} a) \ 1) \ 224 \\ 2) \ 224 \\ 3) \ 224 \end{array}$
74	Falsche Formel oder Fehler in der Formel (z.B. vergessen, dass bei Pyramide geteilt durch 3, oder statt Radius Durchmesser genommen)	(A0210) $O = r^2 \cdot \pi = 60,8 \text{ cm}^2$
75	Rechenfehler/Flüchtigkeitsfehler	Kein Beispiel in den Daten vorhanden.
76	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	(H0114) (hier zusätzlich falsche Einheit, deshalb Code 79) $a) \ 1) + 9 \cdot 1 = 64 + 128 \text{ cm} = 192 \text{ cm}$
77	Fläche zu viel oder zu wenig berechnet	(E0102) $2(4 \cdot 9) + 4(4 \cdot 16) = 288 \text{ cm}^2$
79	Andere, inkorrekte Antwort bzw. Fehlerart wegen fehlenden Lösungswegs nicht ersichtlich (auch wenn mehrere Fehler kombiniert)	
Keine Lösung		
90	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar	
99	Leer	

1.6 Aufgabe 4b

Berechne nun für alle drei Schachteln in der Originalgrösse das Volumen.

1.6.1 Korrektheit der Aufgabe

Bei der Kodierung der Volumen sind die folgenden drei Hauptkriterien für eine korrekte Antwort entscheidend:

1. Es wird mit den genauen Massen (40mm, +/- 1mm pro Ball) gerechnet.
2. Die Einheiten werden angegeben und stimmen (z.B. cm^3).
3. Das Resultat stimmt.

Das Vorhandensein eines Lösungswegs ist kein entscheidendes Kriterium für eine korrekte Antwort.

Code	Beschreibung
30	Drei oder mehr korrekte Berechnungen des Volumens
31	Zu den drei oder mehr korrekten Berechnungen der Volumen werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Volumen gemacht
20	Zwei korrekte Berechnungen des Volumens
21	Zu den zwei korrekten Berechnungen der Volumen werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Volumen gemacht
10	Eine korrekte Berechnung des Volumens
11	Zur korrekten Berechnung des Volumens werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen des Volumens gemacht
19	Minimal richtige Lösung (z.B. wenn nur Formel aufgeschrieben, aber nicht gelöst)
76	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung
79	Andere, inkorrekte Antwort
90	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar
99	Leer

1.6.2 Kodierung Lösungsweg Volumen

Code	Beschreibung	Beispiel
Richtige Lösung		
10	Richtige Lösung inkl. Lösungsweg	(F0203) $a: 16 \cdot 4 = 64 / 64 \cdot 4 = \underline{256 \text{ cm}^3}$
11	Richtige Lösung ohne Lösungsweg	(K0412) $\text{Volumen} = 16 \cdot 4 \cdot 4 = 256 \text{ cm}^3$
Falsche Lösung		
71	Messungenauigkeit, d.h. falsche Masse werden verwendet	(A0106) $L \ 15 \text{ cm} \ H \ 3.5 \text{ cm}$ $B \ 3.5 \text{ cm}$
72	Fehler bei Einheit oder Dimension, falsche Umwandlung	(A0206) $V = 12.8 \text{ cm}^2 = 4 \cdot 4 \cdot 8$ $Q = 63 \text{ cm}$
73	Fehlende Einheiten	(F0205) $b) \text{ Volumen} = 256$ $64 \cdot 4 = 256$
74	Falsche Formel oder Fehler in der Formel (z.B. vergessen, dass bei Pyramide geteilt durch 3, oder statt Radius Durchmesser genommen)	(A0210) $O = r^2 \cdot \pi = 60.8 \text{ cm}^2$ $V =$
75	Rechenfehler/Flüchtigkeitsfehler	(F0217) $16 \cdot 4 \cdot 4 = \underline{255 \text{ cm}^3}$
76	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	(A0112) \dots $b. 8 \cdot 8 \cdot 4 = 256 \text{ cm}^3$
79	Andere, inkorrekte Antwort bzw. Fehlerart wegen fehlenden Lösungswegs nicht ersichtlich (auch wenn mehrere Fehler kombiniert)	
Keine Lösung		
90	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar	
99	Leer	

2 Auswertungen Reflexionsinstrument

2.1 Allgemeine Hinweise

- Aufbau der Codes: Die Codes sind jeweils vierstellig. Die erste Ziffer zeigt die Oberkategorie an (1–7; 9 sind Missings), während sich die zweite Ziffer auf die Unterkategorie bezieht. Die letzten beiden Ziffern geben an, um welche Vorgehensweise es sich innerhalb einer Unterkategorie handelt.
- Die Aussagen der Schülerinnen und Schüler werden in MAXQDA kodiert. Dazu werden die Textstellen mit der Maus per Drag-and-Drop zum Code bzw. wird der Code zur Textstelle gezogen (Kuckartz, 2007).
- Die Inter-Coder-Reliabilität wird in SPSS berechnet.
- Es werden Vorkommencodes vergeben, das heisst, es interessiert nur, ob bestimmte Vorgehensweisen auftreten oder nicht (Faßnacht, 1995; Hugener, 2006; Hugener & Drollinger-Vetter, 2006; Pauli, 2012).
- Kodiereinheit: Sinneinheit, wobei die kleinste Einheit zu wählen ist, zu denen ein Code passt. Satzzeichen müssen in MAXQDA zur Sinneinheit mitmarkiert werden, Konjunktionen gehören jeweils zur nächsten Sinneinheit.
Beispiel Frage 2: „Ich schaue mir die Aufgabe an. (=1202) | analysiere die Infos die es bereits hat. (=1209) | und vergleiche sie dann mit meinem jetzigen Wissen (=2101).“ (E0116)
- Nicht alle Satzteile müssen kodiert werden.
Beispiel Frage 2: „Kommt auf die Aufgabe an. (=kein Code) | Bei jedem Beispiel würde ich es zuerst einmal genau anschauen. (=1204) [...]“ (E0202)
- Pro Aussage einer Schülerin oder eines Schülers muss mindestens ein Code vergeben werden, wobei auch zweimal der gleiche Code vergeben werden kann. Zwei gleich zu kodierende Sinneinheiten direkt nacheinander werden zusammengefasst und nur einmal mit dem Code versehen.
- Missings können nur allein vergeben werden.
- Falls möglich, werden Begründungen für eine Strategie als eine zusätzliche Strategie kodiert.
Beispiel Frage 2: „Zuerst lese ich 2–3 Mal das Problem, (=1203) | um es gut zu verstehen (=1101).“ (B0307)
- Falls beim Kodieren Fragen auftreten, wird die betreffende Textstelle mit einem Memo in MAXQDA versehen.

2.2 Auswertung Frage 1.1

Beschreibe, wie du beim Bearbeiten der Aufgabe „Verpackungen“ vorgegangen bist und welche Gedanken du dir gemacht hast. Versuche dich dabei an alle deine Zwischenschritte zu erinnern und sie möglichst so zu beschreiben, dass andere Personen deinen Bearbeitungsweg nachvollziehen können.

Code	Kategorie	Beschreibung	Ankerbeispiel
1000	Wahrnehmen und Verstehen des Problems		
1100	Wahrnehmen und erstes Verstehen eines Problems		
1101	Wahrnehmen einer Schwierigkeit/ Problem verstehen	Die Schülerinnen und Schüler bemerken eine Schwierigkeit, haben aber zunächst noch eine unscharfe Wahrnehmung des Problems. Sie spüren eine Diskrepanz zwischen Zielen und Mitteln. Sie versuchen zu verstehen, um was es beim Problem geht, indem sie sich z.B. überlegen, was gesucht bzw. gefragt ist. → <i>Möglicherweise in Kombination mit „Fragen stellen“ (1206)</i> In Anlehnung an Aebli (1981a); Aebli (1981b); Dewey (2002); Rakoczy, Buff und Lipowsky (2005); Reusser (2005); Waldis, Buff, Pauli und Reusser (2002)	„Alles anschauen und die kleinen Details verstehen und begreifen.“ (A0202) „Also zuerst habe ich mal die Aufgabe gelesen und verstanden, um was es geht.“ (J0304)
1200	Auseinandersetzung mit dem Problem		
1202	Durchlesen/ Anschauen	Die Schülerinnen und Schüler lesen bzw. schauen die Problemstellung und die Informationen durch. → <i>Allgemeiner als „Mehrmales Durchlesen/Anschauen“ (1203) und „Genaueres Durchlesen und Anschauen“ (1204)</i>	„Ich habe zuerst alles angeschaut und versucht, es zu verstehen.“ (A0202) „Mein erster Schritt war, die Anleitung zu lesen.“ (D0112)
1203	Mehrmales Durchlesen/ Anschauen	Die Schülerinnen und Schüler lesen bzw. schauen die Problemstellung und die Informationen mehrmals durch, um sie zu verstehen. → <i>Präziser als „Durchlesen/Anschauen“ (1202)</i> In Anlehnung an Catrysse et al. (2016); Dunlosky, Rawson, Marsh, Nathan und Willingham (2013); Philipp und Herold-Blasius (2016)	„Als erstes habe ich die Aufgabe zweimal durchgelesen.“ (A0203) „Ich habe die Aufgabe ein paar Mal richtig durchgelesen bis ich es verstanden habe [...]“ (D0102)
1204	Genaueres Durchlesen/ Anschauen	Die Schülerinnen und Schüler lesen bzw. schauen die Problemstellung und die Informationen genau bzw. gut durch, um sie zu verstehen. Nur Anschauen oder Durchlesen allein reicht nicht, es muss ein genaues, ausführliches, vertieftes, ... Durchlesen bzw. Anschauen erfolgen. → <i>Präziser als „Durchlesen/Anschauen“ (1202)</i>	„Als erstes habe ich die Aufgaben und die Informationen auf dem ersten Blatt genau durchgelesen.“ (J0605)
1205	Anschauliches Vorstellen des Problems	Die Schülerinnen und Schüler stellen sich das Problem anschaulich vor. Dies kann auch nur in Gedanken bzw. im Kopf geschehen. → <i>„Sich ein Bild davon machen“ oder ähnliche Aussagen werden nicht mit 1205 kodiert, sondern je nach Kontext z.B. mit „Wahrnehmen einer Schwierigkeit/Problem verstehen“ (1101)</i> In Anlehnung an Bannert und Schnotz (2006); Dunlosky et al. (2013); Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002)	„Mir die Verpackungen im Kopf vorstellt, so konnte ich die Schritte vorbereiten.“ (A0201) „Ich habe immer versucht, mir alles bildlich vorstellen zu können.“ (E0115)
1206	Fragen stellen	Die Schülerinnen und Schüler stellen sich Fragen, um das Problem besser zu verstehen. Dies können Fragen zum Inhalt des Problems sein (Worum geht es?), aber auch Fragen zum Vorgehen, also dass sich die Schülerinnen und Schüler überlegen, wie sie bei der Lösung des Problems vorgehen wollen. → <i>Möglicherweise in Kombination mit „Planung der Lösung“ (2300)</i> In Anlehnung an Askell-Williams, Lawson und Skrzypiec (2012); Catrysse et al. (2016); Polya (1949), Waldis et al. (2002)	„Beim Faltplan schaute ich wiederum auf die erste Seite und beantwortete mir meine persönlichen Fragen.“ (B0304) „Dann habe ich mich gefragt, wieso wir eine Büroklammer brauchen.“ (D0103)
1207	Variation des Problems	Die Schülerinnen und Schüler drücken das Problem anders aus, damit sie dieses besser verstehen. In Anlehnung an Polya (1949); Schoenfeld (1985)	
1209	Analyse/ Überblick verschaffen	Die Schülerinnen und Schüler analysieren das Problem und die gegebenen Informationen. Dazu verschaffen sie sich z.B. einen Überblick über das (ganze) Problem, indem sie z.B. Fakten ordnen oder sich überlegen, was sie bereits wissen und was sie nun noch erarbeiten müssen. In Anlehnung an Aebli (1981a); Käpnick (2014)	„Zuerst habe ich die Beispielverpackung analysiert, um mir ein Bild zu machen, was wir zu tun haben.“ (K0301)

1300 Strukturierung des Problems		
1301	Zerlegen des Problems (Aspekt-betrachtung)	Die Schülerinnen und Schüler teilen das Problem in kleinere, weniger komplexe und somit leichter zu lösende Probleme auf. Sie zerlegen das Problem in Einzelteile und betrachten diese einzeln. Für die Lösung setzen sie die Einzelteile wieder zusammen. Die Schülerinnen und Schüler gehen das Problem Schritt für Schritt durch. In Anlehnung an Anderson (1996); Bransford und Stein (1993); Franke und Ruwisch (2010); Gürtler, Perels, Schmitz und Bruder (2002); Kuzle und Bruder (2016); Leiss und Blum (2010); Otto, Perels und Schmitz (2008); Polya (1949)
1302	Vereinfachen des Problems (Reduktion)	Die Schülerinnen und Schüler vereinfachen das Problem, indem sie z.B. einzelne Bedingungen zunächst weglassen. Dazu müssen die Schülerinnen und Schüler in der Lage sein, wesentliche von unwesentlichen Merkmalen der Aufgabe zu unterscheiden. In Anlehnung an Bransford und Stein (1993); Escher und Messner (2015); Gürtler et al. (2002); Schoenfeld (1985)
1303	Selektion	Die Schülerinnen und Schüler markieren bzw. unterstreichen für das Problem relevante Angaben (physische Aktivität). Sie trennen wichtige von unwichtigen Informationen und finden heraus, welches die wichtigsten Informationen sind. In Anlehnung an Dunlosky et al. (2013), Escher und Messner (2015), Hertel, Hochweber, Mildner, Steinert und Jude (2014), Otto et al. (2008), PISA-Konsortium Deutschland (2006), Rakoczy et al. (2005), Waldis et al. (2002)
1304	Zusammenfassung	Die Schülerinnen und Schüler fassen das Problem zusammen, indem sie wichtige Aussagen erkennen und herauschreiben (physische Aktivität). → <i>Qualitätsvoller als „Notizen machen“ (1305)</i> In Anlehnung an Ballstaedt (2006); Dunlosky et al. (2013); Escher und Messner (2015); Fürstenau und Kneppers (2010); Hertel et al. (2014); Metzger (2015); Waldis et al. (2002)
1305	Notizen machen	Die Schülerinnen und Schüler machen Notizen, z.B. zur Förderung des Wissenserwerbs oder zum Speichern von Informationen. Sie notieren wichtige Dinge (physische Aktivität). „Wichtige Daten wie Durchmesser und Radius habe ich notiert.“ (I0104) „Ich habe alle meine Schritte notiert.“ (J0405) In Anlehnung an Escher und Messner (2015); Metzger (2015); Schworm und Fischer (2006); Waldis et al. (2002)
1400 Grafische Darstellungen		
1401	Nicht spezifizierte grafische Darstellungen	Die Schülerinnen und Schüler stellen das Problem grafisch dar. → <i>Allgemeiner als „Skizzen“ (1402), „Mindmap/Conceptmap“ (1403) und „Weitere grafische Darstellungen“ (1404)</i> In Anlehnung an Abels (2002); Aebli (1981a); De Corte (1995); Dunlosky et al. (2013); Escher und Messner (2015); Leiss und Blum (2010); Philipp und Herold-Blasius (2016)
1402	Skizzen	Die Schülerinnen und Schüler erstellen Skizzen (physische Aktivität). → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte grafische Darstellungen“ (1401)</i> → <i>Haben die Schülerinnen und Schüler Skizzen hergestellt, weil dies der Auftrag verlangte, wird der Code 3904 vergeben.</i> In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Bannert und Schnotz (2006); Bransford und Stein (1993); Otto et al. (2008); Polya (1949); Rakoczy et al. (2005)
1403	Mindmap/Conceptmap	Die Schülerinnen und Schüler erstellen Mindmaps (physische Aktivität). → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte grafische Darstellungen“ (1401)</i> In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Bannert und Schnotz (2006); Escher und Messner (2015); Fürstenau und Kneppers (2010); Polya (1949); Rakoczy et al. (2005); Renkl und Nückles (2006)
1404	Weitere grafische Darstellungen	Die Schülerinnen und Schüler erstellen weitere grafische Darstellungen (z.B. Tabellen, Flussdiagramme, ...) (physische Aktivität). → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte grafische Darstellungen“ (1401)</i> In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Bannert und Schnotz (2006); Kuzle und Bruder (2016); Escher und Messner (2015); Philipp und Herold-Blasius (2016); Polya (1949); Schoenfeld (1985); Stylianou (2002)
1900 Fachspezifisch		
1901	Definition der Unbekannten	Die Schülerinnen und Schüler definieren die Unbekannte (Naturwissenschaften). In Anlehnung an De Corte (1995); Polya (1949)

2000	Ausdenken eines Plans		
2100	Vorwissen und frühere Erfahrungen aktivieren		
2101	Vorwissen aktivieren	Die Schülerinnen und Schüler überlegen sich, was sie bereits wissen, und stellen Verbindungen zu ihrem bereits vorhandenen Wissen her. Mithilfe des Vorwissens lösen sie Probleme.	„Für diese Aufgabe musste ich mich ein bisschen an die Mathestunde zurückerinnern, in der wir solche ähnlichen Dinge gemacht haben.“ (A0208) „Ich habe alles gelesen und das Vorwissen der Mathematik genutzt. Ich versuchte, mein Wissen, was ich in der Schule und im Alltag gelernt habe, umzusetzen.“ (C0208)
		In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Catrysse et al. (2016); Escher und Messner (2015); Krause und Stark (2006); PISA-Konsortium Deutschland (2006); Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002)	
2102	Analoge, verwandte Probleme und Situationen	Die Schülerinnen und Schüler erinnern sich an ähnliche, verwandte Probleme und überlegen sich, wie sie damals selbst (nicht eine andere Person, denn sonst 6200) vorgegangen sind. Oftmals können dann die Methode und/oder das Resultat des verwandten Problems für das vorliegende Problem genutzt werden. Nur allein die Frage, ob ähnliche Probleme bekannt seien, kann bereits Wissen mobilisieren. → <i>Möglicherweise in Kombination mit einer Subkategorie von „Modell“ (6200)</i>	„Auf die Idee gekommen bin ich, glaube ich, wegen Tetris. Dort gibt es diese Form auch.“ (E0117) „Ich habe zuerst alles sorgfältig durchgelesen und versucht, mich daran zu erinnern, ob ich ähnliche Aufgaben wie diese schon mal in der Schule hatte.“ (H0115)
		In Anlehnung an Aebli (1981a); Anderson (1996); Arbing (1997); Assmus und Förster (2015); Assmus und Fritzlar (2014); Bassok (2003); Bransford und Stein (1993); Dörner (1976); De Corte (1995); Escher und Messner (2015); Franke und Ruwisch (2010); Kuzle und Bruder (2016); Leiss und Blum (2010); Novick und Bassok (2005); Polya (1949); Schoenfeld (1985); Schukajlow (2011); Slade (1991); Waldis et al. (2002); Zimmermann (2003)	
2200	Generierung von Lösungsideen		
2201	Lösungsideen/ Lösungswege generieren	Die Schülerinnen und Schüler denken sich einen Plan aus und überlegen sich verschiedene Lösungswege. → <i>Elaborierter als „Lösen“ (3201), „Ausprobieren (trial and error)“ (3203) oder „(Nach-)Denken“ (2501)</i>	„Zuerst bin ich die Möglichkeiten in meinem Kopf durchgegangen. Dann habe ich die relevantesten rausgesucht und eine Skizze davon angefertigt.“ (C0218)
		In Anlehnung an Bransford und Stein (1993)	
2202	Bewusste Auswahl von Lösungsverfahren	Die Schülerinnen und Schüler wählen bewusst einen Lösungsweg oder ein Lösungsverfahren aus. Beispielsweise weil das gewählte Lösungsverfahren effizienter oder einfacher ist. → <i>Elaborierter als „Lösen“ (3201), „Ausprobieren (trial and error)“ (3203) oder „(Nach-)Denken“ (2501)</i>	„Zuerst bin ich die Möglichkeiten in meinem Kopf durchgegangen. Dann habe ich die relevantesten rausgesucht und eine Skizze davon angefertigt.“ (C0218)
2300	Planung der Lösung		
2301	Nicht spezifizierte Planung	Die Schülerinnen und Schüler planen ihr Vorgehen; worauf sich dieses bezieht, ist nicht ersichtlich. → <i>Wenn möglich, genauere Einteilung vornehmen: „Arbeitsplanung“ (2302) und/oder „Strategieplanung“ (2303)</i>	„Danach fing ich an zu überlegen, wie ich weiter machen soll.“ (A0208) „Ich habe mir zuerst mal alles angeschaut. Dann habe ich mir Gedanken gemacht, wie ich anfangen soll.“ (G0120)
		In Anlehnung an Escher und Messner (2015); Fritz, Hussy und Tobinski (2010); Rakoczy et al. (2005)	
2302	Arbeitsplanung	Die Schülerinnen und Schüler machen sich einen Arbeitsplan und überlegen sich für die Lösung des Problems, wie sie vorgehen wollen. Es ist eine Reihenfolge ersichtlich. → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte Planung“ (2301)</i>	
		In Anlehnung an Escher und Messner (2015); Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002)	
2303	Strategieplanung	Die Schülerinnen und Schüler überlegen sich für die Lösung des Problems eine bestimmte Strategie bzw. eine klare Vorgehensweise. → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte Planung“ (2301)</i>	
		In Anlehnung an Escher und Messner (2015); Otto et al. (2008); PISA-Konsortium Deutschland (2006)	
2400	Zieldefinition		
2401	Schluss betrachten/ Rückwärtsarbeiten (Reversibilität)	Die Schülerinnen und Schüler überlegen sich, was das Ziel sein könnte und welchen Zweck das Problem haben könnte. Dadurch werden Mittel und Wege gesucht, um das Ziel zu erreichen. Sie arbeiten sich also vom Ziel der Aufgabe systematisch zum Anfang der Aufgabe durch. → <i>Möglicherweise in Kombination mit „Analoge, verwandte Aufgaben und Situationen“ (2102)</i>	
		In Anlehnung an Abels (2002); Aebli (1981a); Arbing (1997); Bransford und Stein (1993); De Corte (1995); Fritz et al. (2010); Gürtler et al. (2002); Kuzle und Bruder (2016); Leiss und Blum (2010); Philipp und Herold-Blasius (2016); Polya (1949); Schukajlow (2011); Zimmermann (2003)	
2402	Definition von Zielen	Die Schülerinnen und Schüler definieren Ziele bzw. Zwischenziele.	„Ich wollte nur, dass die 4 Tennisbälle in meine Schachtel passen.“ (E0208)
		In Anlehnung an Arbing (1997); De Corte (1995); Escher und Messner (2015); Hussy (1993); Metzger (2015)	

2500	Weitere heuristische Vorgehen zum Ausdenken eines Plans		
2501	(Nach-) Denken	Die Schülerinnen und Schüler denken nach oder denken sich einen Plan aus. → <i>Weniger elaboriert als „Generierung von Lösungsideen“ (2200)</i>	„Ich habe sehr viel überlegt und bin zum Entschluss gekommen, einfache Pläne zu erstellen.“ (A0106) „Dann habe ich alles mal gemessen, <u>und</u> <u>studiert, wie gross z.B. eine Seite ist, wenn man sie verdoppelt.</u> “ (K0413)
2502	Induktion	Die Schülerinnen und Schüler entdecken allgemeine Gesetze durch Beobachtung und Kombination besonderer Fälle. In Anlehnung an Polya (1949)	„Die Figuren sind eigentlich alle gleich. 4 Würfel, welche man beliebig verschieben kann.“ (A0105)
2503	Unterbewusstes Arbeiten/ Inkubation/ Heranreifen	Die Schülerinnen und Schüler unterbrechen das Lösen des Problems, arbeiten aber unbewusst daran weiter, sodass sie später plötzlich doch noch eine gute Idee haben. In Anlehnung an Aebli (2011); Bransford und Stein (1993); Dörner (1976); Käpnick (2014), Polya (1949)	
2504	Einfall/ Geistesblitz	Die Schülerinnen und Schüler haben einen Einfall. In Anlehnung an Dörner (1976); Käpnick (2014); Polya (1949)	„Plötzlich hatte ich den Gedanken, dass ich eine Schachtel mit einer runden Grundfläche machen könnte.“ (A0210)
2505	Einbeziehen aller Daten	Die Schülerinnen und Schüler ziehen zum Lösen des Problems alle Daten, Informationen, Möglichkeiten und Bedingungen bei. In Anlehnung an Aebli (1981a); Polya (1949)	
2506	Vermutungen anstellen	Die Schülerinnen und Schüler stellen Vermutungen an und formulieren Erwartungen. In Anlehnung an Escher und Messner (2015)	„Aber eigentlich sollten alle das gleiche Volumen haben, da bei allen genau [Wort ist doppelt unterstrichen] 4 Ping-Pong-Bälle reinpassen.“ (A0112)
2900	Fachspezifisch		
2901	Überschlag/ Schätzung	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler berechnen zu Beginn einen Referenzwert. In Anlehnung an Otto et al. (2008)	„Danach schätzte ich grob, wie gross ein Tischtennisball ist.“ (A0316) „Beim Berechnen fielen mir die Formeln für Kreise und Kugeln nicht ein, so musste ich das Volumen schätzen.“ (D0112)
2902	Gleichung aufstellen	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler „übersetzen“ Wörter in mathematische Symbole. Dazu müssen die Schülerinnen und Schüler das Problem sehr gut verstehen und mit den Formen des mathematischen Ausdrucks vertraut sein. In Anlehnung an Abels (2002); Kuzle und Bruder (2016); Polya (1949)	
2903	Hilfsaufgabe	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler betrachten ein weiteres Problem in der Hoffnung, dass dieses beim Lösen des eigentlichen Problems helfen wird. Die Hilfsaufgabe ist somit ein Mittel zum Ziel. In Anlehnung an Polya (1949); Schoenfeld (1985)	
2904	Hilfselement	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler fügen Hilfselemente ein, um die Lösungsfindung zu fördern. Hilfselemente können z.B. Hilfslinien (Geometrie), Hilfsunbekannte oder Hilfssätze sein. In Anlehnung an Polya (1949); Schoenfeld (1985)	„Ich habe mir immer vorgestellt, eine Kugel wäre 1.5 cm (nicht massgetreu).“ (A0206)
2905	Hilfssatz/ Lemma	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler verwenden für den Beweis eines (mathematischen) Satzes einen anderen Satz. In Anlehnung an Polya (1949); Schoenfeld (1985)	
3000	Ausführen des Plans und Durcharbeiten des Problems		
3100	Kontrolle und Evaluation des Lösungswegs		
3101	Evaluation und Kontrolle des Lösungsprozesses (Monitoring)	Die Schülerinnen und Schüler kontrollieren während der Ausführung des Plans ihren Lösungsprozess. Es findet ein Abgleich zwischen dem Ist- und dem Soll-Zustand statt. → <i>Im Gegensatz zu „Kontrolle der Lösung“ (4101) erfolgt die Kontrolle des Lösungsprozesses während der Lösung des Problems</i> In Anlehnung an Escher und Messner (2015); Waldis et al. (2002)	„Ich zeichnete drei solche Faltblätter <u>und</u> <u>achtete mich immer darauf, ob wirklich vier Bälle darin Platz haben.</u> Danach zeichnete ich auch noch die Faltblätter bei der nächsten Aufgabe.“ (A0208) „Ich habe immer wieder die Masse <u>angeschrieben, das ich mich überzeugen konnte, dass die Masse passen.</u> “ (G0119)

Anhang

3102	Revision/ Anpassung/ des Plans bzw. der Ziele/ Überarbeiten	Die Schülerinnen und Schüler revidieren <i>während</i> des Durcharbeitens des Problems ihren Plan, da sie Fehler, Schwierigkeiten etc. bemerken. → <i>Möglicherweise danach wieder Strategien aus früheren Stufen</i>	„Dann habe ich zuerst irgendwie versucht zu messen, aber es war ungenau <u>und nach dem zweiten Mal habe ich rausgefunden, wie ich es messen musste.</u> “ (C0203) „ <u>Dann probierte ich es wieder und es sah schon besser aus.</u> “ (K0306)
In Anlehnung an Escher und Messner (2015)			
3103	Kontrolle der Zwischenergebnisse	Die Schülerinnen und Schüler kontrollieren Zwischenergebnisse. Dies erfolgt <i>während</i> des Lösungsprozesses.	„ <u>Vor dem Ausschneiden habe ich die vier Bälle auf meine Skizze gelegt für die Sicherheit, dass die Grösse auch stimmt.</u> “ (A0115)
In Anlehnung an Aebli (2011)			
3200	Heuristische Vorgehen zur Ausführung eines Plans		
3201	Lösen	Die Schülerinnen und Schüler lösen das Problem bzw. führen den Plan aus. Das Ausführen des Plans kann auf verschiedene Arten und Weisen geschehen.	„Auf den verschiedenen Seiten habe ich zuerst die Aufgabe gelesen <u>und dann ausgeführt.</u> “ (J0608) „ <u>Bei Aufgabe 4 habe ich es einfach so gelöst, wie ich es in der Schule gelernt hatte.</u> “ (F0120)
3202	Schrittweises Lösen	Die Schülerinnen und Schüler lösen das Problem bzw. führen den Plan schrittweise aus. Das Problem wird schrittweise durchgearbeitet.	„ <u>Ich ging von Aufgabe zu Aufgabe.</u> “ (E0104) „ <u>Ich habe dann Schritt für Schritt die Aufgabe gelöst.</u> “ (J0204)
3203	Ausprobieren (trial and error)	Die Schülerinnen und Schüler probieren so lange verschiedene Möglichkeiten und Varianten aus, bis sie eine zufriedenstellende Lösung gefunden haben. Das Vorgehen ist unsystematisch. Die Schülerinnen und Schüler lösen ein Problem, ohne vorher nachzudenken. Sie lösen es auf gut Glück. → <i>Viel weniger elaboriert als und nicht durchgedacht bzw. geplant wie „Lösungsideen/Lösungswege generieren“ (2201) oder „Bewusste Auswahl von Lösungsverfahren“ (2202)</i>	„ <u>Am Anfang habe ich nicht gewusst, wie ich vorgehe. Ich habe dann ein bisschen ausprobiert.</u> “ (K0418)
In Anlehnung an Arbinger (1997); Betsch, Funke und Plessner (2011); Escher und Messner (2015); Hussy (1993)			
3204	Systematisches Ausprobieren	Die Schülerinnen und Schüler probieren systematisch verschiedene Möglichkeiten und Varianten aus (z.B. VOTAT). Dazu verwenden sie z.B. eine Tabelle, um zu notieren, welche Möglichkeiten sie bereits ausprobiert haben.	
In Anlehnung an Abels (2002); Arbinger (1997); Greiff, Niepel, Scherer und Martin (2016); Leiss und Blum (2010); Tschirgi (1980); Wüstenberg, Greiff und Funke (2012); Wüstenberg, Greiff, Molnár und Funke (2014)			
3900	Fachspezifisch		
3901	Rechnen	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler rechnen. Dazu verwenden sie z.B. Formeln.	„ <u>Mit Formeln habe ich am Schluss die Oberfläche und das Volumen ausgerechnet.</u> “ (B0308) „ <u>Dann musste ich noch eine Mathematikaufgabe lösen. Ich musste das Volumen und die Oberfläche ausrechnen.</u> “ (H0103)
3902	Indirekter Beweis	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler zeigen auf, dass die entgegengesetzte Behauptung falsch ist.	
In Anlehnung an Polya (1949)			
3903	Messen/ Verwenden von Masseinheiten	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler messen z.B. Längen und beschriften danach die Seiten.	„Danach alles abgemessen und auf's gelbe Blatt übertragen [...]“ (A0202) „ <u>Ich habe auch die Masseinheiten aufgeschrieben.</u> “ (A0306)
3904	Skizzieren/ Zeichnen/ Konstruieren	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler skizzieren, zeichnen oder konstruieren z.B. eine geometrische Figur oder einen Faltplan.	„ <u>Mein nächster Schritt war, den Faltplan der drei Schachteln zu machen.</u> “ (J0601) „ <u>Ich skizzierte den Faltplan für die Verpackung, rechnete die restlichen Masse aus und übertrug sie auf das dickere Papier.</u> “ (K0317)
3905	Modell herstellen	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler stellen ein Modell her (z.B. in Originalgrösse oder massstabgetreu). Dazu zeichnen, falten, schneiden, basteln etc. sie (physische Aktivität).	„[...] <u>musste ich sie nur noch ausschneiden und zusammenkleben.</u> “ (E0210) „Ich hatte die Schachtel ausgewählt und musste es in Originalgrösse auf ein grosses gelbes Blatt aufzeichnen. Als ich fertig mit dem Aufzeichnen war, <u>musste ich es ausschneiden. Dann musste ich es zusammenfalten und zusammenkleben.</u> “ (H0103)

4000	Rückschau und Prüfung der Lösung		
4100	Kontrolle und Evaluation der Lösung/des Zielzustandes		
4101	Kontrolle der Lösung	Die Schülerinnen und Schüler kontrollieren <i>am Schluss</i> ihre Lösung, z.B. durch Probe. Sie versuchen sich am Schluss vorzustellen, ob ihre Lösung stimmen kann. → Im Gegensatz zu „Evaluation und Kontrolle des Lösungsprozesses“ (3101) erfolgt die Kontrolle der Lösung nach dem Lösen des Problems (Retrospektive) → Unter „Fachspezifisch“ (4900) gibt es weitere, fachspezifische Kontrollen der Lösung In Anlehnung an Aebli (2011); Polya (1949); Waldis et al. (2002)	„Danach habe ich probiert, ob die Bälle reinpassen. Die Bälle haben perfekt Platz.“ (J0505)
4102	Bewertung/Evaluation des Lösungsprozesses	Die Schülerinnen und Schüler reflektieren, evaluieren und/oder bewerten <i>am Schluss</i> ihren Lösungsprozess. Sie überlegen sich z.B., was sie beim Lösen der Aufgabe anders (z.B. besser) machen könnten. Dies kann sich z.B. auf die aufgewendete Zeit oder die Genauigkeit beziehen. → Im Gegensatz zu „Evaluation und Kontrolle des Lösungsprozesses“ (3101) erfolgt die Bewertung/Evaluation des Lösungsprozesses nach dem Lösen des Problems (Retrospektive)	„Wegen dem Zeitdruck konnte ich die Verpackung, die ich gebastelt habe, nicht so schön kleben.“ (A0115) „Ich fand es nicht so schwierig. Man muss einfach ein gutes Vorstellungsvermögen haben. Aber manchmal war es ein bisschen schwierig, wenn es z.B. eine Ecke gab und die Seiten aufeinander sind.“ (F0116)
4103	Ableitung der Lösungen	Die Schülerinnen und Schüler leiten das Resultat auf verschiedene Weise ab. In Anlehnung an Polya (1949); Waldis et al. (2002)	
4104	Nachvollziehen der Lösung	Die Schülerinnen und Schüler versuchen im Nachhinein, ihre Lösung nachzuvollziehen und zu verstehen. → Dies gilt nicht, wenn die Lösung abgeschrieben wurde, da diese Lösung nicht selbst erarbeitet wurde In Anlehnung an Abels (2002)	„Mir ist schon klar gewesen, dass alle das selbe Volumen haben müssen. Weil alle 4 Bälle hinein passen müssen.“ (B0306)
4105	Bewusste Auswahl einer Lösung	Die Schülerinnen und Schüler erhalten mehrere Lösungen. Sie wählen eine Lösung bewusst aus.	
4200	Weiterverwendung der Lösung		
4201	Weiterverwendung der Lösung	Die Schülerinnen und Schüler verwenden das Resultat und/oder die Methode für weitere Probleme. Die Lösung bzw. der Lösungsweg wird als Modell für zukünftiges Problemlösen gespeichert. → Möglicherweise in Kombination mit „Analoge, verwandte Probleme und Situationen“ (2102) In Anlehnung an Polya (1949)	„Die nächste Aufgabe habe ich dann mithilfe der 1. Seite gemacht.“ (B0305)
4202	Ergebnisdarstellung	Die Schülerinnen und Schüler stellen das Ergebnis dar.	
4203	Kommunikation der Lösung	Die Schülerinnen und Schüler kommunizieren am Schluss die Lösung. Dies kann anhand eines Vortrages, eines Portfolioeintrages etc. geschehen. In Anlehnung an Reusser (2005)	
4900	Fachspezifisch		
4901	Nachrechnen	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler rechnen am Schluss die Rechnungen noch einmal nach, z.B. um Flüchtigkeitsfehler zu vermeiden. → Genauere Einteilung als „Kontrolle der Lösung“ (4101)	„Als mir am Schluss noch Zeit blieb, habe ich die Rechnung noch mit dem Taschenrechner des Nachbarn überprüft.“ (J0405)
4902	Nachprüfung durch Dimensionsbetrachtung	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler überprüfen geometrische oder physikalische Formeln durch Dimensionsbetrachtung. → Genauere Einteilung als „Kontrolle der Lösung“ (4101) In Anlehnung an Polya (1949)	
4903	Kontrolle der Masseinheiten	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler kontrollieren, ob sie alle Masseinheiten korrekt angegeben haben (z.B. cm, m ² , ...). → Genauere Einteilung als „Kontrolle der Lösung“ (4101)	
5000	Soziale Ressourcen		
5100	Soziale Unterstützung		
5103	Lehrperson/Coach	Die Schülerinnen und Schüler suchen Hilfe bzw. Rat bei der Testleistung. In Anlehnung an Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002); Zimmerman und Martinez-Pons (1988)	„Zuerst habe ich nicht verstanden und danach die Lehrerin hat expliqué [erklärt].“ (I0113)

6000	Hilfsmittel und Modelle		
6200	Modell		
6202	Anweisung/ Beispiel be- folgen	Die Schülerinnen und Schüler befolgen die Anweisungen/Anleitungen/Beschreibungen und orientieren sich an (gegebenen) Beispielen. Bei der Aufgabe „Verpackungen“ können sich die Schülerinnen und Schüler entweder an den genauen Anweisungen (S. 1) oder an der grünen Beispielschachtel orientieren. → <i>Anleitung/Anweisungen (genau/mehrmals) durchlesen bzw. anschauen wird mit 1202, 1203 bzw. 1204 kodiert</i> → <i>Wenn z.B. Tischtennisbälle oder die Verpackung gemessen werden etc., wird der Code „Messen/Verwenden von Masseinheiten“ (3903) verwendet</i>	„Die erste Schachtel entstand beim Ab-schauen der Originalschachtel.“ (A0102) „Als zusätzliche Hilfe habe ich die Tisch-tennisbälle genommen, indem ich diese aufeinander oder nebeneinander platziert habe.“ (D0111)
6203	Abschreiben	Die Schülerinnen und Schüler schreiben von der Lösung oder den Mitschülerinnen und Mitschülern ab.	„Aber einer der Verpackungen ist mir nicht selbst aufgefallen, sondern ich habe sie von einer Sitznachbarin.“ (G0111)
6204	In Expertin/ Experten ver- setzen	Die Schülerinnen und Schüler überlegen sich, wie eine Expertin oder ein Experte (z.B. Lehrperson) beim Lösen des Problems vorgehen würde.	
6205	An Expertin/ Experten er- innern	Die Schülerinnen und Schüler erinnern sich daran, wie eine Expertin oder ein Experte (z.B. Lehrperson) beim Lösen eines ähnlichen Problems vorgegangen ist. → <i>Möglicherweise in Kombination mit „Analoge, verwandte Probleme und Situationen“ (2102)</i> In Anlehnung an Waldis et al. (2002)	
7000	Motivation, Volition, Emotionen, Konzentration, Pausen		
7100	Motivation, Volition, Konzentration, Pausen		
7101	Motivation	Die Schülerinnen und Schüler motivieren sich für die Arbeit indem sie sich z.B. Erfolgserlebnisse verschaffen. In Anlehnung an Metzger (2015); Otto et al. (2008)	
7102	Konzentra- tion/Auf- merksamkeit	Die Schülerinnen und Schüler konzentrieren sich auf die Arbeit. Sie fokussieren ihre Aufmerksamkeit. In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Metzger (2015)	„Ich habe konzentriert gearbeitet.“ (A0217) „Beim Lösen der Aufgaben probiere ich möglichst konzentriert zu bleiben und keine Flüchtigkeitsfehler zu machen.“ (J0605)
7103	Volition/ Dranbleiben/ Ausdauer	Die Schülerinnen und Schüler bleiben an einem Problem. Sie geben nicht auf. Sie haben den Willen, am Problem zu arbeiten.	
7104	Pausen/ Ent- spannen/ Ruhe bewah- ren	Die Schülerinnen und Schüler machen bewusst Pausen, um z.B. kurz durchzuatmen oder zu entspannen. In Anlehnung an De Corte (1995); Wild, Hofer und Pekrun (2006)	
7200	Emotionen		
7201	Positive Emo- tionen	Die Schülerinnen und Schüler beschreiben positive Emotionen (Freude, Zufriedenheit, Lust, Optimismus etc.).	„Ausser, dass sie 5mm zu lange war, war ich sehr zufrieden mit meinem Ergebnis.“ (E0111) „Zum Schluss passten die 4 Bälle rein und ich war froh.“ (H0103)
7202	Negative Emotionen	Die Schülerinnen und Schüler beschreiben negative Emotionen (Panik, Stress, Wut, Angst etc.).	„Ich bin zwar fertig geworden, aber unter enormem Stress.“ (C0219)
9900	Missings Die folgenden Codes können nur allein und nicht mit anderen Codes gemeinsam vergeben werden!		
9966	Nicht-Strate- gie	Die Schülerinnen und Schüler haben zwar bei der Frage etwas notiert, jedoch ist keine Strategie erkennbar. Es ist also keine relevante Aussage vorhanden. → <i>Code wird nur vergeben, wenn in gesamter Antwort keine Strategie erkennbar ist</i>	„Ich habe die Verpackung nicht gemacht.“ (A0109)
9988	Nicht lesbare Antwort	Die Antwort der Schülerinnen und Schüler ist nicht lesbar. → <i>Code wird nur vergeben, wenn gesamte Antwort nicht lesbar ist, bei einzelnen unlesbaren Wörtern wird dieser Code nicht vergeben</i>	„[...]“
9999	Keine Ant- wort	Die Schülerinnen und Schüler haben bei dieser Frage keine Angaben gemacht.	„99“

2.3 Auswertung Frage 2.1

Ganz allgemein, nicht nur in der Mathematik: Wie löst du ein Problem, eine Knobelaufgabe?

Code	Kategorie	Beschreibung	Ankerbeispiel
1000	Wahrnehmen und Verstehen des Problems		
1100	Wahrnehmen und erstes Verstehen eines Problems		
1101	Wahrnehmen einer Schwierigkeit/ Problem verstehen	Die Schülerinnen und Schüler bemerken eine Schwierigkeit, haben aber zunächst noch eine unscharfe Wahrnehmung des Problems. Sie spüren eine Diskrepanz zwischen Zielen und Mitteln. Sie versuchen zu verstehen, worum es beim Problem geht, indem sie sich z.B. überlegen, was gesucht bzw. gefragt ist. → <i>Möglicherweise in Kombination mit „Fragen stellen“ (1206)</i> In Anlehnung an Aebli (1981a); Aebli (1981b); Dewey (2002); Rakoczy et al. (2005); Reusser (2005); Waldis et al. (2002)	„Zuerst lese ich 2–3 Mal das Problem, <u>um es gut zu verstehen.</u> “ (B0307) „Am wichtigsten finde ich, dass man alles gut durchliest und <u>die genaue Frage versteht.</u> “ (D0107)
1200	Auseinandersetzung mit dem Problem		
1201	Begriffe klären	Die Schülerinnen und Schüler überprüfen, ob sie alle Wörter verstehen, und schlagen z.B. Wörter im Wörterbuch nach, informieren sich im Internet oder fragen bei jemandem nach. → <i>Möglicherweise in Kombination mit den Kategorien „Soziale Ressourcen“ (5000) und/oder „Hilfsmittel“ (6100)</i>	„Ich lese die Aufgabe nochmals durch und nochmals und <u>schau</u> e, dass ich jedes Wort <u>verstehe.</u> “ (A0213)
1202	Durchlesen/ Anschauen	Die Schülerinnen und Schüler lesen bzw. schauen die Problemstellung und die Informationen durch. → <i>Allgemeiner als „Mehrmales Durchlesen/Anschauen“ (1203) und „Genau</i> e Durchlesen und Anschauen“ (1204)	„Bei Mathe: <u>Ich lese die Aufgabe</u> und schreibe die wichtigsten Sachen auf.“ (F0118) „ <u>Ich schaue mir das Problem an</u> [...].“ (F0217)
1203	Mehrmales Durchlesen/ Anschauen	Die Schülerinnen und Schüler lesen bzw. schauen die Problemstellung und die Informationen mehrmals durch, um sie zu verstehen. → <i>Präziser als „Durchlesen/Anschauen“ (1202)</i> In Anlehnung an Catrysse et al. (2016); Dunlosky et al. (2013); Philipp und Herold-Blasius (2016)	„ <u>Zuerst lese ich die Aufgabe ein paar Mal durch</u> [...].“ (A0203) „ <u>Ich lese die Beschreibung ganz oft durch</u> [...].“ (A0308)
1204	Genau	Die Schülerinnen und Schüler lesen bzw. schauen die Problemstellung und Informationen genau bzw. gut durch, um sie zu verstehen. Nur Anschauen oder Durchlesen allein reicht nicht, es muss ein genaues, ausführliches, vertieftes, ... Durchlesen bzw. Anschauen erfolgen. → <i>Präziser als „Durchlesen/Anschauen“ (1202)</i>	„ <u>Ich lese mir die Aufgaben genau durch.</u> “ (E0106) „ <u>Ich schaue die Aufgabe zuerst genau an</u> [...].“ (E0416)
1205	Anschauliches Vorstellen des Problems	Die Schülerinnen und Schüler stellen sich das Problem anschaulich vor. Dies kann auch nur in Gedanken bzw. im Kopf geschehen. → <i>„Sich ein Bild davon machen“ oder ähnliche Aussagen werden nicht mit 1205 kodiert, sondern je nach Kontext z.B. mit „Wahrnehmen einer Schwierigkeit/Problem verstehen“ (1101)</i> In Anlehnung an Bannert und Schnotz (2006); Dunlosky et al. (2013); Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002)	„ <u>Ich stelle mir bei jedem Teil vor, wie es aussieht bzw. wie es aussehen könnte.</u> “ (E0115) „ <u>Mein gutes Vorstellungsvermögen hilft mir oft.</u> “ (E0116)
1206	Fragen stellen	Die Schülerinnen und Schüler stellen sich Fragen, um das Problem besser zu verstehen. Dies können Fragen zum Inhalt des Problems sein (Worum geht es?), aber auch Fragen zum Vorgehen, also dass sich die Schülerinnen und Schüler überlegen, wie sie bei der Lösung des Problems vorgehen wollen. → <i>Möglicherweise in Kombination mit „Planung der Lösung“ (2300)</i> In Anlehnung an Askill-Williams et al. (2012); Catrysse et al. (2016); Polya (1949); Waldis et al. (2002)	„ <u>Ich frage mich, um was es geht</u> [...]“ (C0202)
1207	Variation des Problems	Die Schülerinnen und Schüler drücken das Problem anders aus, damit sie dieses besser verstehen. In Anlehnung an Polya (1949); Schoenfeld (1985)	„ <u>Je nach Knobelaufgabe versuche ich es in eine alltäglichere Situation zu verpacken.</u> “ (J0405)
1208	Hinzunahme weiterer Informationen	Die Schülerinnen und Schüler ziehen für das Verstehen des Problems weitere Informationen hinzu. → <i>Möglicherweise in Kombination mit den Kategorien „Soziale Ressourcen“ (5000) und/oder „Hilfsmittel“ (6100)</i> In Anlehnung an PISA-Konsortium Deutschland (2006)	
1209	Analyse/ Überblick verschaffen	Die Schülerinnen und Schüler analysieren das Problem und die gegebenen Informationen. Dazu verschaffen sie sich z.B. einen Überblick über das (ganze) Problem, indem sie z.B. Fakten ordnen oder sich überlegen, was sie bereits wissen und was sie nun noch erarbeiten müssen. In Anlehnung an Aebli (1981a); Käpnick (2014)	„Ich lese die Aufgabe ganz genau durch <u>und betrachte die Situation im Ganzen.</u> “ (F0120) „Ich lese zuerst alles durch und <u>verschaffe mir einen Überblick</u> , dann hole ich mir ein Notizpapier [...].“ (K0304)

1300	Strukturierung des Problems		
1301	Zerlegen des Problems (Aspekt-betrachtung)	Die Schülerinnen und Schüler teilen das Problem in kleinere, weniger komplexe und somit leichter zu lösende Probleme auf. Sie zerlegen das Problem in Einzelteile und betrachten diese einzeln. Für die Lösung setzen sie die Einzelteile wieder zusammen. Die Schülerinnen und Schüler gehen das Problem Schritt für Schritt durch.	„Zuerst nehme ich das Problem auseinander [...].“ (E0210) „Ich stelle mich zuerst kleineren Problem bei der Aufgabe, nicht gleich an das Hauptthema, wo die grosse Arbeit gefragt ist.“ (A0101)
		In Anlehnung an Anderson (1996); Bransford und Stein (1993); Franke und Ruwisch (2010); Gürtler et al. (2002); Kuzle und Bruder (2016); Leiss und Blum (2010); Otto et al. (2008); Polya (1949)	
1302	Vereinfachen des Problems (Reduktion)	Die Schülerinnen und Schüler vereinfachen das Problem, indem sie z.B. einzelne Bedingungen zunächst weglassen. Dazu müssen die Schülerinnen und Schüler in der Lage sein, wesentliche von unwesentlichen Merkmalen der Aufgabe zu unterscheiden.	„Danach versuche ich sie zu vereinfachen.“ (A0316)
		In Anlehnung an Bransford und Stein (1993); Escher und Messner (2015); Gürtler et al. (2002); Schoenfeld (1985)	
1303	Selektion	Die Schülerinnen und Schüler markieren bzw. unterstreichen für das Problem relevante Angaben (physische Aktivität). Sie trennen wichtige von unwichtigen Informationen und finden heraus, welches die wichtigsten Informationen sind.	„Ich markiere mir zuerst die wichtigsten Punkte.“ (E0219) „Ich streiche die wichtigsten Informationen aus dem Text an und schreibe diese auf.“ (B0305)
		In Anlehnung an Dunlosky et al. (2013); Escher und Messner (2015); Hertel et al. (2014); Otto et al. (2008); PISA-Konsortium Deutschland (2006); Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002)	
1304	Zusammenfassung	Die Schülerinnen und Schüler fassen das Problem zusammen, indem sie wichtige Aussagen erkennen und ausschreiben (physische Aktivität). → <i>Qualitätsvoller als „Notizen machen“ (1305)</i>	„[...] dann alles mal zusammenfassen, was ich habe oder auch nicht, so dass ich alles verstehe.“ (A0204)
		In Anlehnung an Ballstaedt (2006); Dunlosky et al. (2013); Escher und Messner (2015); Fürstenau und Kneppers (2010); Hertel et al. (2014); Metzger (2015); Waldis et al. (2002)	
1305	Notizen machen	Die Schülerinnen und Schüler machen Notizen, z.B. zur Förderung des Wissenserwerbs oder zum Speichern von Informationen. Sie notieren sich wichtige Dinge (physische Aktivität).	„Ich mache oft auch Notizen und Skizzen.“ (A0115) „Ich streiche die wichtigsten Informationen aus dem Text an und schreibe diese auf.“ (B0305)
		In Anlehnung an Escher und Messner (2015); Metzger (2015); Schworm und Fischer (2006); Waldis et al. (2002)	
1400	Grafische Darstellungen		
1401	Nicht spezifizierte grafische Darstellungen	Die Schülerinnen und Schüler stellen das Problem grafisch dar. → <i>Allgemeiner als „Skizzen“ (1402), „Mindmap/Conceptmap“ (1403) und „Weitere grafische Darstellungen“ (1404)</i>	„Ich lese die Frage gut durch und versuche sie mir bildlich darzustellen oder Sachen dazu zu notieren.“ (E0203)
		In Anlehnung an Abels (2002); Aebli (1981a); De Corte (1995); Dunlosky et al. (2013); Escher und Messner (2015); Leiss und Blum (2010); Philipp und Herold-Blasius (2016)	
1402	Skizzen	Die Schülerinnen und Schüler erstellen Skizzen (physische Aktivität). → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte grafische Darstellungen“ (1401)</i>	„Manchmal helfen mir auch Skizzen.“ (C0214) „Dann mache ich mir immer Skizzen [...].“ (D0107)
		In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Bannert und Schnotz (2006); Bransford und Stein (1993); Otto et al. (2008); Polya (1949); Rakoczy et al. (2005)	
1403	Mindmap/Conceptmap	Die Schülerinnen und Schüler erstellen Mindmaps (physische Aktivität). → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte grafische Darstellungen“ (1401)</i>	„[...] meistens mache ich mir dazu [...] ein Mindmap.“ (E0210)
		In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Bannert und Schnotz (2006); Escher und Messner (2015); Fürstenau und Kneppers (2010); Polya (1949); Rakoczy et al. (2005); Renkl und Nückles (2006)	
1404	Weitere grafische Darstellungen	Die Schülerinnen und Schüler erstellen weitere grafische Darstellungen (z.B. Tabellen, Flussdiagramme, ...) (physische Aktivität). → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte grafische Darstellungen“ (1401)</i>	„Zuerst versuche ich es einmal einfach so, wenn es dann nicht geht, stelle ich es tabellarisch oder grafisch dar.“ (C0112)
		In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Bannert und Schnotz (2006); Escher und Messner (2015); Kuzle und Bruder (2016); Philipp und Herold-Blasius (2016); Polya (1949); Schoenfeld (1985); Stylianou (2002)	
1900	Fachspezifisch		
1901	Definition der Unbekannten	Die Schülerinnen und Schüler definieren die Unbekannte (Naturwissenschaften).	
		In Anlehnung an De Corte (1995); Polya (1949)	

2000 Ausdenken eines Plans			
2100 Vorwissen und frühere Erfahrungen aktivieren			
2101	Vorwissen aktivieren	Die Schülerinnen und Schüler überlegen sich, was sie bereits wissen, und stellen Verbindungen zu ihrem bereits vorhandenen Wissen her. Mithilfe des Vorwissens lösen sie Probleme.	„Ich schaue mir die Aufgabe an, ich analysiere die Infos, die es bereits hat, <u>und vergleiche sie dann mit meinem jetzigen Wissen.</u> “ (E0116) „Ich versuche mich an Sachen zu erinnern, die ich gelernt hatte. Etwas, dass einen Zusammenhang zur Aufgabe hat.“ (E0119)
		In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Catrysse et al. (2016); Escher und Messner (2015); Krause und Stark (2006); PISA-Konsortium Deutschland (2006); Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002)	
2102	Analoge, verwandte Probleme und Situationen	Die Schülerinnen und Schüler erinnern sich an ähnliche, verwandte Probleme und überlegen sich, wie sie selbst (nicht eine andere Person, denn sonst 6200) dort vorgegangen sind. Oftmals kann dann die Methode und/oder das Resultat des verwandten Problems für das vorliegende Problem genutzt werden. Nur allein die Frage, ob ähnliche Probleme bekannt sind, kann bereits Wissen mobilisieren. → <i>Möglicherweise in Kombination mit einer Subkategorie von „Modell“ (6200)</i>	„Zuerst überlege ich mir, ob ich zuvor <u>schon mal ein ähnliches Problem hatte.</u> Wenn ich realisiere, dass es so ist, wende ich die gleiche Methode wieder an.“ (A0210)
		In Anlehnung an Aebli (1981a); Anderson (1996); Arbing (1997); Assmus und Förster (2015); Assmus und Fritzl (2014); Bassok (2003); Bransford und Stein (1993); De Corte (1995); Dörner (1976); Escher und Messner (2015); Franke und Ruwisch (2010); Kuzle und Bruder (2016); Leiss und Blum (2010); Novick und Bassok (2005); Polya (1949); Schoenfeld (1985); Schukajlow (2011); Slade (1991); Waldis et al. (2002); Zimmermann (2003)	
2200 Generierung von Lösungsideen			
2201	Lösungsideen/ Lösungswege generieren	Die Schülerinnen und Schüler denken sich einen Plan aus und überlegen sich verschiedene Lösungswege. → <i>Elaborierter als „Lösen“ (3201), „Ausprobieren (trial and error)“ (3203) oder „(Nach-)Denken“ (2501)</i>	„Ich lese mir die Aufgaben genau durch <u>und überlege mir, auf welchen Wegen ich die Aufgabe lösen könnte.</u> Ich suche mir den Weg aus der für mich am meisten Sinn ergibt.“ (E0106) „[...] <u>oder versuche eine andere Variante zu finden.</u> “ (E0204) „Dann was genau das Problem ist, <u>dann suche ich verschiedene Lösungen</u> und die beste Lösung nehme ich dann.“ (E0403)
		In Anlehnung an Bransford und Stein (1993)	
2202	Bewusste Auswahl von Lösungsverfahren	Die Schülerinnen und Schüler wählen bewusst einen Lösungsweg, ein Lösungsverfahren aus. Beispielsweise weil das gewählte Lösungsverfahren effizienter oder einfacher ist. → <i>Elaborierter als „Lösen“ (3201), „Ausprobieren (trial and error)“ (3203) oder „(Nach-)Denken“ (2501)</i>	„[...] überlege mir auf welchen Wegen ich die Aufgabe lösen könnte. <u>Ich suche mir den Weg aus der für mich am meisten Sinn ergibt.</u> Dann versuche ich den Weg zu lösen.“ (E0106) „Ich versuche es auf verschiedenen Wegen <u>und schaue, welcher der beste oder leichteste für mich ist.</u> “ (E0111)
2300 Planung der Lösung			
2301	Nicht spezifizierte Planung	Die Schülerinnen und Schüler planen ihr Vorgehen; worauf sich dieses bezieht, ist nicht ersichtlich. → <i>Wenn möglich, genauere Einteilung vornehmen: „Arbeitsplanung“ (2302) und/oder „Strategieplanung“ (2303)</i>	„ <u>Vorgehen planen und alles mitschreiben.</u> “ (E0215)
		In Anlehnung an Escher und Messner (2015); Fritz et al. (2010); Rakoczy et al. (2005)	
2302	Arbeitsplanung	Die Schülerinnen und Schüler machen sich einen Arbeitsplan und überlegen sich für die Lösung des Problems, wie sie vorgehen wollen. Es ist eine Reihenfolge ersichtlich. → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte Planung“ (2301)</i>	„Danach überlege ich mir, wie ich <u>vorgehen soll. Ich plane, was ich zuerst mache.</u> Danach beginne ich mit der Arbeit.“ (E0204)
		In Anlehnung an Escher und Messner (2015); Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002)	
2303	Strategieplanung	Die Schülerinnen und Schüler überlegen sich für die Lösung des Problems eine bestimmte Strategie bzw. eine klare Vorgehensweise. → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte Planung“ (2301)</i>	„[...] <u>und überlege mir eine klare Strategie, die Knobelaufgabe zu lösen.</u> “ (C0107)
		In Anlehnung an Escher und Messner (2015); Otto et al. (2008); PISA-Konsortium Deutschland (2006)	

2400 Zieldefinition			
2401	Schluss betrachten/ Rückwärtsarbeiten (Reversibilität)	Die Schülerinnen und Schüler überlegen sich, was das Ziel sein könnte und welchen Zweck das Problem haben könnte. Dadurch werden Mittel und Wege gesucht, um das Ziel zu erreichen. Sie arbeiten sich also vom Ziel der Aufgabe systematisch zum Anfang der Aufgabe durch. → <i>Möglicherweise in Kombination mit „Analoge, verwandte Aufgaben und Situationen“ (2102)</i>	„Ich lese sie rückwärts z.B. Lena hat jetzt 5 Äpfel, am Anfang waren es 12. So dann mache ich das hier: Am Anfang waren es 12 Äpfel und am Schluss hatte Lena 5.“ (J0202) „Ich setze mich hin und überlege, was für eine Lösung es geben könnte und wie ich schnellst möglich dahin komme.“ (D0103)
2402	Definition von Zielen	Die Schülerinnen und Schüler definieren Ziele bzw. Zwischenziele. In Anlehnung an Arbinger (1997); De Corte (1995); Escher und Messner (2015); Hussy (1993); Metzger (2015)	
2500 Weitere heuristische Vorgehen zum Ausdenken eines Plans			
2501	(Nach-) Denken	Die Schülerinnen und Schüler denken nach oder denken sich einen Plan aus. → <i>Weniger elaboriert als „Generierung von Lösungsideen“ (2200)</i>	„Ich lese zuerst, nachher denke ich nach und fange dann an zu lösen.“ (D0102)
2502	Induktion	Die Schülerinnen und Schüler entdecken allgemeine Gesetze durch Beobachtung und Kombination besonderer Fälle. In Anlehnung an Polya (1949)	
2503	Unterbewusstes Arbeiten/ Inkubation/ Heranreifen	Die Schülerinnen und Schüler unterbrechen das Lösen des Problems, arbeiten aber unbewusst daran weiter, sodass sie später plötzlich doch noch eine gute Idee haben. In Anlehnung an Aebli (2011); Bransford und Stein (1993); Dörner (1976); Käpnick (2014); Polya (1949)	
2504	Einfall/ Geistesblitz	Die Schülerinnen und Schüler haben einen Einfall. In Anlehnung an Dörner (1976); Käpnick (2014); Polya (1949)	„Meistens fällt mir dann etwas ein [...]“ (E0108)
2505	Einbeziehen aller Daten	Die Schülerinnen und Schüler ziehen zum Lösen des Problems alle Daten, Informationen, Möglichkeiten und Bedingungen bei. In Anlehnung an Aebli (1981a); Polya (1949)	„Man muss auch alle Möglichkeiten nutzen, die im Weg stehen.“ (A0106)
2506	Vermutungen anstellen	Die Schülerinnen und Schüler stellen Vermutungen an und formulieren Erwartungen. In Anlehnung an Escher und Messner (2015)	
2900 Fachspezifisch			
2901	Überschlag/ Schätzung	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler berechnen zu Beginn einen Referenzwert. In Anlehnung an Otto et al. (2008)	„Also ich würde schätzen oder einfach diese Aufgabe lösen.“ (A0313)
2902	Gleichung aufstellen	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler „übersetzen“ Wörter in mathematische Symbole. Dazu müssen die Schülerinnen und Schüler das Problem sehr gut verstehen und mit den Formen des mathematischen Ausdrucks vertraut sein. In Anlehnung an Abels (2002); Kuzle und Bruder (2016); Polya (1949)	„Danach versuche ich vielleicht eine Gleichung oder etwas, was mir dabei helfen könnte, diese Aufgabe zu lösen, zu erstellen.“ (F0216)
2903	Hilfsaufgabe	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler betrachten ein weiteres Problem in der Hoffnung, dass dieses beim Lösen des eigentlichen Problems helfen wird. Die Hilfsaufgabe ist somit ein Mittel zum Ziel. In Anlehnung an Polya (1949); Schoenfeld (1985)	
2904	Hilfselement	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler fügen Hilfselemente ein, um die Lösungsfindung zu fördern. Hilfselemente können z.B. Hilfslinien (Geometrie), Hilfsunbekannte oder Hilfssätze sein. In Anlehnung an Polya (1949); Schoenfeld (1985)	
2905	Hilfssatz/ Lemma	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler verwenden für den Beweis eines (mathematischen) Satzes einen anderen Satz. In Anlehnung an Polya (1949); Schoenfeld (1985)	
3000 Ausführen des Plans und Durcharbeiten des Problems			
3100 Kontrolle und Evaluation des Lösungswegs			
3101	Evaluation und Kontrolle des Lösungsprozesses (Monitoring)	Die Schülerinnen und Schüler kontrollieren während der Ausführung des Plans ihren Lösungsprozess. Es findet ein Abgleich zwischen dem Ist- und dem Soll-Zustand statt. → <i>Im Gegensatz zu „Kontrolle der Lösung“ (4101) erfolgt die Kontrolle des Lösungsprozesses während der Lösung des Problems</i> In Anlehnung an Escher und Messner (2015); Waldis et al. (2002)	„Dann versuche ich den Weg zu lösen. Dabei lese ich immer wieder die Aufgabe, um sicher zu gehen, dass ich nichts falsch mache.“ (E0106)

3102	Revision/ Anpassung/ des Plans bzw. der Ziele/ Überarbeiten	Die Schülerinnen und Schüler revidieren während des Durcharbeitens des Problems ihren Plan, da sie Fehler, Schwierigkeiten etc. bemerken. → <i>Möglicherweise danach wieder Strategien aus früheren Stufen</i>	„Danach beginne ich mit der Arbeit. <u>Wenn weitere Probleme auftauchen überlege ich mir, wie ich das Problem lösen sollte.</u> “ (E0204) „Ich probiere verschiedene Wege. Wenn einer funktioniert, dann hatte ich Glück. Wenn aber keiner geht, muss ich ganz genau nachdenken.“ (E0112)
In Anlehnung an Escher und Messner (2015)			
3103	Kontrolle der Zwischenergebnisse	Die Schülerinnen und Schüler kontrollieren Zwischenergebnisse. Dies erfolgt während des Lösungsprozesses. In Anlehnung an Aebli (2011)	
3200	Heuristische Vorgehen zur Ausführung eines Plans		
3201	Lösen	Die Schülerinnen und Schüler lösen das Problem bzw. führen den Plan aus. Das Ausführen des Plans kann auf verschiedene Arten und Weisen geschehen.	„Ich lese zuerst, nachher denke ich nach und <u>fange dann an zu lösen.</u> “ (D0102) „Wenn ich es lösen kann, löse ich es.“ (E0204)
3202	Schrittweises Lösen	Die Schülerinnen und Schüler lösen das Problem bzw. führen den Plan schrittweise aus. Das Problem wird schrittweise durchgearbeitet.	„Ich schaue die Aufgabe zuerst genau an, <u>dann versuche ich, sie in einzelnen Schritten zu lösen.</u> “ (E0416)
3203	Ausprobieren (trial and error)	Die Schülerinnen und Schüler probieren so lange verschiedene Möglichkeiten und Varianten aus, bis sie eine zufriedenstellende Lösung gefunden haben. Das Vorgehen ist unsystematisch. Die Schülerinnen und Schüler lösen ein Problem, ohne vorher nachzudenken. Sie lösen es auf gut Glück. → <i>Viel weniger elaboriert und nicht durchgedacht bzw. geplant wie „Lösungsideen/Lösungswege generieren“ (2201) oder „Bewusste Auswahl von Lösungsverfahren“ (2202)</i>	„Indem ich <u>alle Möglichkeiten probiere.</u> “ (C0210) „Ich <u>versuche verschiedene Wege aus.</u> “ (C0203) „Ich <u>probiere verschiedene Wege. Wenn einer funktioniert, dann hatte ich Glück.</u> “ (E0112)
In Anlehnung an Arbinger (1997); Betsch et al. (2011); Escher und Messner (2015); Hussy (1993)			
3204	Systematisches Ausprobieren	Die Schülerinnen und Schüler probieren systematisch verschiedene Möglichkeiten und Varianten aus (z.B. VOTAT). Dazu verwenden sie z.B. eine Tabelle, um zu notieren, welche Möglichkeiten sie bereits ausprobiert haben. In Anlehnung an Abels (2002); Arbinger (1997); Greiff et al. (2016); Leiss und Blum (2010); Tschirgi (1980); Wüstenberg et al. (2012); Wüstenberg et al. (2014)	
3900	Fachspezifisch		
3901	Rechnen	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler rechnen.	„ <u>Einzelne Rechnung ausrechnen.</u> “ (E0120)
3902	Indirekter Beweis	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler zeigen auf, dass die entgegengesetzte Behauptung falsch ist. In Anlehnung an Polya (1949)	
4000	Rückschau und Prüfung der Lösung		
4100	Kontrolle und Evaluation der Lösung/des Zielzustandes		
4101	Kontrolle der Lösung	Die Schülerinnen und Schüler kontrollieren am Schluss ihre Lösung, z.B. durch Probe. Sie versuchen sich am Schluss vorzustellen, ob ihre Lösung stimmen kann. → <i>Im Gegensatz zu „Evaluation und Kontrolle des Lösungsprozesses“ (3101) erfolgt die Kontrolle der Lösung nach dem Lösen des Problems (Retrospektive)</i> → <i>Unter „Fachspezifisch“ (4900) gibt es weitere, fachspezifische Kontrollen der Lösung</i>	„Wenn ich die Aufgabe dann <u>gelöst habe, versuche ich sie nachzuvollziehen, also zu kontrollieren.</u> “ (A0206)
In Anlehnung an Aebli (2011); Polya (1949); Waldis et al. (2002)			
4102	Bewertung/ Evaluation des Lösungsprozesses	Die Schülerinnen und Schüler reflektieren, evaluieren und/oder bewerten am Schluss ihren Lösungsprozess. Sie überlegen sich z.B., was sie beim Lösen der Aufgabe anders (z.B. besser) machen könnten. Dies kann sich z.B. auf die aufgewendete Zeit oder die Genauigkeit beziehen. → <i>Im Gegensatz zu „Evaluation und Kontrolle des Lösungsprozesses“ (3101) erfolgt die Bewertung/Evaluation des Lösungsprozesses nach dem Lösen des Problems (Retrospektive)</i>	„Ich <u>überlege mir auch, was ich falsch gemacht habe oder was falsch ist/ gelaufen ist.</u> “ (A0115)
4103	Ableitung der Lösungen	Die Schülerinnen und Schüler leiten das Resultat auf verschiedene Weise ab. In Anlehnung an Polya (1949); Waldis et al. (2002)	
4104	Nachvollziehen der Lösung	Die Schülerinnen und Schüler versuchen im Nachhinein, ihre Lösung nachzuvollziehen und zu verstehen. → <i>Dies gilt nicht, wenn die Lösung abgeschrieben wurde, da diese Lösung nicht selbst erarbeitet wurde</i>	„Alle möglichen Antworten einsetzen, um dann auf die richtige Lösung zu kommen. Und wenn ich die richtige Antwort habe, <u>versuche ich es zu verstehen und suche den Sinn dahinter.</u> “ (G0105)
In Anlehnung an Abels (2002)			

4105	Bewusste Auswahl einer Lösung	Die Schülerinnen und Schüler erhalten mehrere Lösungen. Sie wählen eine Lösung bewusst aus.	„[...] dann suche ich verschiedene Lösungen und die beste Lösung nehme ich dann.“ (E0403) „Komme ich auf eine Lösung, die man in Betracht ziehen könnte, suche ich noch nach einer zweiten Lösung (wenn vorhanden) und vergleiche dann beide Lösungen miteinander. Die Lösung, welche mir am logischsten erscheint, wähle ich dann als definitive Lösung.“ (F0120)
4200	Weiterverwendung der Lösung		
4201	Weiterverwendung der Lösung	Die Schülerinnen und Schüler verwenden das Resultat und/oder die Methode für weitere Probleme. Die Lösung bzw. der Lösungsweg wird als Modell für zukünftiges Problemlösen gespeichert. → <i>Möglicherweise in Kombination mit „Analoge, verwandte Probleme und Situationen“ (2102)</i> In Anlehnung an Polya (1949)	„Ich notiere mir die Schritte, die ich mache, damit ich sie beim nächsten Mal nicht falsch mache (im Schlagzeug).“ (G0119)
4202	Ergebnisdarstellung	Die Schülerinnen und Schüler stellen das Ergebnis dar.	
4203	Kommunikation der Lösung	Die Schülerinnen und Schüler kommunizieren am Schluss die Lösung. Dies kann anhand eines Vortrages, eines Portfolioeintrages etc. geschehen. In Anlehnung an Reusser (2005)	
4900	Fachspezifisch		
4901	Nachrechnen	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler rechnen am Schluss die Rechnungen noch einmal nach, z.B. um Flüchtigkeitsfehler zu vermeiden. → <i>Genauere Einteilung als „Kontrolle der Lösung“ (4101)</i>	
4902	Nachprüfung durch Dimensionsbetrachtung	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler überprüfen geometrische oder physikalische Formeln durch Dimensionsbetrachtung. → <i>Genauere Einteilung als „Kontrolle der Lösung“ (4101)</i> In Anlehnung an Polya (1949)	
4903	Kontrolle der Masseinheiten	Naturwissenschaften: Die Schülerinnen und Schüler kontrollieren, ob sie alle Masseinheiten korrekt angegeben haben (z.B. cm, m ² , ...). → <i>Genauere Einteilung als „Kontrolle der Lösung“ (4101)</i>	
4904	Rechtschreibkontrolle	Sprachen: Die Schülerinnen und Schüler kontrollieren ihren Text am Schluss anhand von Wörterbuch, Internet etc. → <i>Genauere Einteilung als „Kontrolle der Lösung“ (4101)</i>	
5000	Soziale Ressourcen		
5100	Soziale Unterstützung		
5101	Nicht spezifizierte soziale Unterstützung	Die Schülerinnen und Schüler suchen Hilfe bzw. Rat, bei wem wird aber nicht näher ausgeführt. → <i>Wenn möglich, genauere Einteilung vornehmen: „Peers“ (5102), „Lehrperson/Coach“ (5103), „Familie“ (5104) und/oder „Weitere Personen“ (5105)</i> In Anlehnung an Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002); Zimmerman und Martinez-Pons (1988)	„Wenn ich gar nichts verstehe, wende ich mich an eine Person.“ (B0305) „Wenn mir nichts einfällt, frage ich meinen Banknachbarn oder sonst jemanden. Meistens meine Freunde.“ (A0303)
5102	Peers	Die Schülerinnen und Schüler suchen Hilfe bzw. Rat bei Gleichaltrigen (Mitschülerinnen, Mitschülern, Pultnachbarinnen, Pultnachbarn, Freundinnen, Freunden, Kolleginnen, Kollegen etc.). In Anlehnung an Käpnick (2014); Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002); Zimmerman und Martinez-Pons (1988)	„Ich frage Kollegen um Hilfe [...]“. (A0301)
5103	Lehrperson/Coach	Die Schülerinnen und Schüler suchen Hilfe bzw. Rat bei Lehrpersonen oder (Lern-)Coachs. In Anlehnung an Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002); Zimmerman und Martinez-Pons (1988)	„[...] wenn das nicht geht, frage ich den Lehrer.“ (A0304)
5104	Familie	Die Schülerinnen und Schüler suchen Hilfe bzw. Rat bei Eltern, Geschwistern oder Verwandten. In Anlehnung an Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002); Zimmerman und Martinez-Pons (1988)	„[...] gehe ich zu meinem älteren Bruder, Vater oder Mutter.“ (E0104)
5105	Weitere Personen	Die Schülerinnen und Schüler suchen Hilfe bzw. Rat bei einer weiteren Person (z.B. Berufsberaterin, Berufsberater, Sozialarbeiterin, Sozialarbeiter, Nachhilfelehrperson etc.). In Anlehnung an Rakoczy et al. (2005); Waldis et al. (2002); Zimmerman und Martinez-Pons (1988)	„In Mathe die Lehrerin oder meinen Vater, im Französisch kann ich meine Nachbarn fragen, weil sie Französisch sprechen.“ (I0103)

5200	Kommunikation		
5201	Darüber sprechen	Die Schülerinnen und Schüler sprechen/diskutieren mit anderen Personen über das Problem, z.B. um es besser zu verstehen. → <i>Achtung, nicht mit „Anderer Kontext“ (9977) verwechseln</i> In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Hertel et al. (2014)	„Oder auch mit jemanden diskutieren über eine Knobelaufgabe.“ (E0118)
6000	Hilfsmittel und Modelle		
6100	Hilfsmittel		
6101	Nicht spezifizierte Hilfsmittel	Die Schülerinnen und Schüler verwenden Hilfsmittel. Diese Hilfsmittel werden nicht näher ausgeführt. → <i>Wenn möglich, genauere Einteilung vornehmen: „Bücher“ (6102) und/oder „ICT“ (6103)</i> In Anlehnung an Escher und Messner (2015); Käpnick (2014); Philipp und Herold-Blasius (2016)	„[...] Hilfsmittel? [...]“ (A0109) „Ich probiere es lange allein oder hole mir Hilfe am Computer, [im] Duden etc.“ (A0213)
6102	Bücher	Die Schülerinnen und Schüler verwenden Bücher (z.B. Wörterbuch, Lexikon, Duden, ...). → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte Hilfsmittel“ (6101)</i> In Anlehnung an Escher und Messner (2015)	„[...] hole mir Hilfe [...] [im] Duden [...]“ (A0213) „Ich informiere mich selbst. [...] in Büchern.“ (E0104)
6103	ICT	Die Schülerinnen und Schüler verwenden technische Geräte inkl. Internet. → <i>Präziser als „Nicht spezifizierte Hilfsmittel“ (6101)</i> In Anlehnung an Escher und Messner (2015)	„Ich würde zuerst mit dem Taschenrechner versuchen.“ (A0302) „Schau ich im Internet nach.“ (E0213)
6104	Weitere Hilfsmittel	Die Schülerinnen und Schüler verwenden weitere, „physische“ Hilfsmittel. → <i>Lösungsordner etc. unter „Modell“ (6200)</i>	„Manchmal gehe ich auch in den Zwischenraum an die Wandtafel und mache es dort an der Wandtafel und probiere bis ich es gelöst habe.“ (A0215)
6200	Modell		
6201	Vergleich mit Lösung	Die Schülerinnen und Schüler schauen sich eine Musterlösung an und versuchen anhand dieser, das Problem nachzuvollziehen und zu lösen.	„Oder bei z.B. Mathe-Aufgaben gehe ich zum Lösungsordner und sehe, wie sie es gemacht haben. Oder ich schaue mir die Lösung an und probiere so weiter zu machen.“ (A0316)
6202	Anweisung/Beispiel befolgen	Die Schülerinnen und Schüler befolgen die Anweisungen/Anleitungen/Beschreibungen und orientieren sich an (gegebenen) Beispielen.	„Also, falls es eine Anleitung gibt mache ich es genau so, wie es in der Anleitung steht.“ (A0304)
6203	Abschreiben	Die Schülerinnen und Schüler schreiben von der Lösung oder den Mitschülerinnen und Mitschülern ab.	„Manchmal schreibe ich ab, aber ich versuche nachher das zu lernen, was ich abgeschrieben habe.“ (A0301)
6204	In Expertin/Experten versetzen	Die Schülerinnen und Schüler überlegen sich, wie eine Expertin oder ein Experte (z.B. Lehrperson) beim Lösen des Problems vorgehen würde.	
6205	An Expertin/Experten erinnern	Die Schülerinnen und Schüler erinnern sich, wie eine Expertin oder ein Experte (z.B. Lehrperson) beim Lösen eines ähnlichen Problems vorgegangen ist. → <i>Möglicherweise in Kombination mit „Analoge, verwandte Probleme und Situationen“ (2102)</i> In Anlehnung an Waldis et al. (2002)	
7000	Motivation, Volition, Emotionen, Konzentration, Pausen		
7100	Motivation, Volition, Konzentration, Pausen		
7101	Motivation	Die Schülerinnen und Schüler motivieren sich für die Arbeit, indem sie sich z.B. Erfolgserlebnisse verschaffen. In Anlehnung an Metzger (2015); Otto et al. (2008)	
7102	Konzentration/ Aufmerksamkeit	Die Schülerinnen und Schüler konzentrieren sich auf die Arbeit. Sie fokussieren ihre Aufmerksamkeit. In Anlehnung an Askell-Williams et al. (2012); Metzger (2015)	„[...] ich versuche so konzentriert wie möglich zu bleiben.“ (A0101) „Ich probiere möglichst konzentriert zu sein und langsam an die Aufgabe/das Problem heran zu gehen.“ (A0211)
7103	Volition/ Dranbleiben/ Ausdauer	Die Schülerinnen und Schüler bleiben an einem Problem. Sie geben nicht auf. Sie haben den Willen, am Problem zu arbeiten.	„[...] und gebe nicht auf bis ich eine Aufgabe gelöst habe [...]“ (E0113) „Ich versuche auch genug lange an der Aufgabe zu bleiben und nicht gerade aufzugeben.“ (E0208)
7104	Pausen/ Entspannen/ Ruhe bewahren	Die Schülerinnen und Schüler machen bewusst Pausen, um z.B. kurz durchzuatmen oder zu entspannen. In Anlehnung an De Corte (1995); Wild et al. (2006)	„Wenn ich merke, dass ich nicht mehr weiterkomme, mache ich eine kurze Pause, ca. 2 Minuten, lockere meine Hände und probiere es nochmals.“ (B0306)

7200	Emotionen		
7201	Positive Emotionen	Die Schülerinnen und Schüler beschreiben positive Emotionen (Freude, Zufriedenheit, Lust, Optimismus etc.).	„[...] und wenn ich es geschafft habe, bin ich froh.“ (A0306)
7202	Negative Emotionen	Die Schülerinnen und Schüler beschreiben negative Emotionen (Panik, Stress, Wut, Angst etc.).	„Ich komme aber in den Stress, wenn jemand mir sagt, wie viel Zeit noch übrig ist.“ (E0107)
9900	Missings	Die folgenden Codes können nur allein und nicht mit anderen Codes gemeinsam vergeben werden!	
9966	Nicht-Strategie	Die Schülerinnen und Schüler haben zwar bei der Frage etwas notiert, jedoch ist keine Strategie erkennbar. Es ist also keine relevante Aussage vorhanden. → Code wird nur vergeben, wenn in gesamter Antwort keine Strategie erkennbar ist	„Ich müsste zuerst eine Aufgabe haben.“ (A0107)
9977	Anderer Kontext	Die Antwort der Schülerinnen und Schüler bezieht sich offensichtlich nicht auf ein Problem im Sinne von Problemlöseaufgaben/Knobelaufgaben, sondern auf persönliche Probleme (Streit mit Freunden, Familie etc.). → Achtung, nicht mit „Darüber sprechen“ (5201) verwechseln	„Wenn es ein Problem mit meiner Familie oder mit meinen Freunden gibt, versuche ich immer, Streit zu vermeiden und mit Worten dieses Problem zu klären.“ (A0113) „Indem ich mir darüber Gedanken mache. Mit den Leuten, die es betrifft darüber sprechen. Vielleicht auch Hilfe holen z.B. eine Idee finden, die gut wäre.“ (A0317)
9988	Nicht lesbare Antwort	Die Antwort der Schülerinnen und Schüler ist nicht lesbar. → Code wird nur vergeben, wenn gesamte Antwort nicht lesbar ist, bei einzelnen unlesbaren Wörtern wird dieser Code nicht vergeben	„[...]“
9999	Keine Antwort	Die Schülerinnen und Schüler haben bei dieser Frage keine Angaben gemacht.	„99“

3 Auswertungen Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

3.1 Allgemeine Hinweise

- Die Sprechzeit wird im Videoannotationstool SWITCHcast Annotate! kodiert.
- Die Codes und Ratingscores werden in SPSS eingegeben.
- Die Inter-Coder-Reliabilität und die Inter-Rater-Reliabilität werden in SPSS berechnet.
- Kodiereinheiten: Die interaktive Qualität, die fachliche und inhaltsbezogene Qualität sowie die regulative Qualität werden pro Aufgabe einmal kodiert, d.h. für jede Gruppe gibt es jeweils zwei Werte.
- Falls beim Kodieren oder Raten Fragen auftreten, werden diese in einem separaten Dokument vermerkt.

3.2 Auswertungen Aufgaben

Die Schachteltypen der Aufgaben 1 und 2 werden mit einer Anpassung mit dem gleichen Kategoriensystem kodiert wie die Schachteln in Kapitel 1.2.2: Bei der Einzelarbeit wurde die Beispielverpackung nicht als korrekt kodiert (Code 7600), hier wird diese jedoch als korrekt kodiert (Code 1022), da sie zu den über 15 möglichen Schachteln zählt.

3.3 Auswertung Gespräche

3.3.1 Bestimmung der Sprechzeit

- Die Aussagen werden ab der Aufgabenausgabe bestimmt.
- Alle Aussagen werden einer Person zugeteilt, auch einzelne Wörter (z.B. „Okay“, „So?“).
- Laute, die allein vorkommen, werden nicht kodiert (z.B. „Mmmmm“).

Talk-on-Task

Die Schülerin bzw. der Schüler spricht über die Aufgabe inkl. Regulierung der Aufgabe.

Beispiele:

- „Wer von euch will die Aufgaben lesen?“ (A0304, ONY, 00:12)
- „Aber jetzt müssen ja genau vier hineinpassen.“ (A0304, ONY, 03:05)

Beschreibung	Code
Schüler/-in Grün (ONG)	11
Schüler/-in Rot (ONR)	21
Schüler/-in Gelb (ONY)	31

Talk-off-Task

Die Schülerin bzw. der Schüler spricht nicht über die Aufgabe (anderes Thema, unpassende, nicht aufgabenbezogene Kommentare, Sticheleien, Fluchen etc.).

Beispiele:

- „Weisst du, wir Frauen verstehen uns untereinander.“ (A0313, OFG, 02:55)
- „Wehe, du schreibst meinen Namen falsch!“ (A0316, OFR, 09:06)

Beschreibung	Code
Schüler/-in Grün (OFG)	19
Schüler/-in Rot (OFR)	29
Schüler/-in Gelb (OFY)	39

In Anlehnung an Kuger (2016); Lipowsky (2015)

3.3.2 Interaktive Qualität der Gespräche

□₁ Disputational Talk

- Nicht produktiv
- Viele Meinungsverschiedenheiten
- Lernende fällen selbst Entscheide und setzen diese durch
- Wenige Versuche, Ressourcen zu bündeln
- Kaum konstruktive Kritik
- Viele Behauptungen („Ja, so ist es!“, „Nein, es ist nicht so!“) und Gegenbehauptungen
- Kompetitive statt ko-konstruktive Stimmung

□₂ Cumulative Talk

- Produktiv
- Aufbau gemeinsamen Wissens durch Akkumulation
- Oft Wiederholungen, unkritische Bestätigungen und Darstellungen
- Kaum Bewertung der Ideen anderer

□₃ Exploratory Talk

- Produktiv
- Kritischer, aber konstruktiver Umgang mit Ideen anderer
- Aktives Zuhören
- Verständnisfragen, welche Erklärungen und Begründungen hervorrufen
- Wichtige Informationen werden miteinander geteilt
- Beiträge bauen aufeinander auf
- Aussagen werden (mit Begründung) infrage gestellt
- Alle werden ermutigt, mitzumachen
- Mit Ideen und Meinungen wird respektvoll umgegangen
- Vertrauensvolle Atmosphäre
- Gruppe sucht nach Übereinstimmung und gemeinsamer Entscheidung

Schlüsselwörter Exploratory Talk (Auswahl)

- Wenn („if“)
- Also, so („so“)
- Weil, da („because“)
- Ich denke, dass ... („I think“)
- Würde ... („would“)
- Möglicherweise, vielleicht („maybe“)
- Wieso („why“)

In Anlehnung an Mercer (1995)

3.3.3 Fachliche und inhaltsbezogene Qualität der Gespräche

3.3.3.1 Verwendung von Fachbegriffen

Fachliche Auseinandersetzung: Verwendung von Fachbegriffen

Jede Disziplin verfügt über eine Fachsprache und einen eigenen Fachwortschatz (Ehret, 2017). Die mathematische Fachsprache zeichnet sich durch eine bestimmte syntaktische Struktur aus: So haben z.B. Konjunktionen in der mathematischen Fachsprache eine spezifische Bedeutung und werden nicht gleich wie in der Alltagssprache verwendet. Zudem unterscheidet sich die mathematische Fachsprache von anderen Fachsprachen und der Alltagssprache dadurch, dass sie eine grosse Anzahl an Symbolen beinhaltet (z.B. für Konstanten und Variablen).

Bei der vorliegenden Problemlöseaufgabe ist weder eine bestimmte syntaktische Struktur (Konjunktionen etc.) noch Symbolsprache nötig. Die Schülerinnen und Schüler sollen aber zum Lösen der Problemlöseaufgabe Fachbegriffe korrekt verwenden und diese adäquat einsetzen (Brunner, 2013; Linneweber-Lammerskitten, 2014).

Beispiele:

- Fachbegriffe: z.B. Zylinder, Kegel, Pyramide, Kreis, Mantel
- Alltagsbegriffe: z.B. Röhre, Rundumeli [kreisförmige Umrandung], lange Schachtel, hohe Verpackung

<input type="checkbox"/> ₀ Vorwiegend Alltagsbegriffe	<input type="checkbox"/> ₁ Alltagsbegriffe und Fachbegriffe (z.B. wenn nur eine Schülerin/ein Schüler Fachbegriffe verwendet)	<input type="checkbox"/> ₂ Vorwiegend Fachbegriffe (mehr als eine Schülerin/ein Schüler verwendet Fachbegriffe)
--	--	--

In Anlehnung an Brunner (2013); Ehret (2017); Meyer und Prediger (2012)

3.3.3.2 Verstehenselemente (Kodierung)

Fachliche Auseinandersetzung: Verstehenselemente

Drollinger-Vetter (2011) definiert Verstehenselemente als Teilelemente, welche miteinander verknüpft z.B. einen Begriff oder ein Konzept im kognitionspsychologischen Sinne des Begriffsaufbaus ausmachen. Die verschiedenen Verstehenselemente müssen verstanden werden, um das Konzept als Ganzes zu verstehen. Drollinger-Vetter (2011) hat Verstehenselemente im Kontext des Satzes des Pythagoras untersucht. Verstehenselemente sind hier beispielsweise, dass ein rechtwinkliges Dreieck die zentrale Figur ist oder dass es zwei Typen von Seiten (Hypotenuse und Kathete) gibt.

Bei der vorliegenden Aufgabe müssen verschiedene grundlegende Elemente (in Anlehnung an die Verstehenselemente) verstanden und beim Lösen explizit berücksichtigt werden. Die Schülerinnen und Schüler identifizieren diese zentralen Elemente und setzen sich mit diesen auseinander. Es genügt nicht, wenn die Schülerinnen und Schüler ein Verstehenselement kurz ansprechen.

	Kommt nicht vor	Kommt vor
Schachtel hat eine Öffnung/Deckel	<input type="checkbox"/> ₀	<input type="checkbox"/> ₁
Lage im Raum spielt eine Rolle	<input type="checkbox"/> ₀	<input type="checkbox"/> ₁
Bälle müssen eng verpackt sein, Platz für genau vier Bälle bzw. nicht mehr als vier Bälle	<input type="checkbox"/> ₀	<input type="checkbox"/> ₁
Anzahl Lösungen ist offen (<i>mindestens</i> 15 und nicht <i>genau</i> 15 Verpackungen)	<input type="checkbox"/> ₀	<input type="checkbox"/> ₁

In Anlehnung an Drollinger-Vetter (2011); Garden (1997); TIMSS (1994)

3.3.3.3 Argumentieren und Begründen

Fachliche und inhaltliche Auseinandersetzung: Argumentieren und Begründen

Beim Argumentieren sind auch Begründungen zulässig, die nicht völlig gesichert sind und beispielsweise noch Ausnahmen zulassen (Linnemann & Bruder, 2016). Somit ist Argumentieren eine Vorform des strengen mathematischen Beweisens (Schwarzkopf, 2015). Gemäss Schwarzkopf (2015) entsteht eine Argumentation dann, wenn „für eine Aussage ein Begründungsbedarf angezeigt wird“ (S. 39). So dienen Argumente dazu, „andere Menschen von der Gültigkeit einer Aussage oder von deren Angemessenheit zu überzeugen“ (Tebaartz & Lengnink, 2015, S. 105).

Die Schülerinnen und Schüler müssen in der vorliegenden Problemlöseaufgabe nichts beweisen, jedoch müssen sie sachbezogen argumentieren und ihre Aussagen fachlich korrekt begründen.

Aspekte:

- Verschiedene Behauptungen werden formuliert und es werden damit verbunden mögliche Argumente/Begründungen vorgebracht
- Argumente/Begründungen werden gerechtfertigt/verteidigt (Indikatoren: weil, da, ...)
- Argumente/Begründungen sind fachlich nachvollziehbar und korrekt
- Verschiedene Perspektiven werden in Betracht gezogen
- Alternativen werden vorgeschlagen
- Zwischen den Argumenten/Begründungen werden logische Verknüpfungen hergestellt
- Verschiedene Perspektiven bzw. Standpunkte werden verglichen
- Lernende fordern sich gegenseitig heraus (Indikatoren: wieso, weshalb, ...)
- Lernende setzen sich mit den Kriterien für die Aufgabenlösung auseinander
- Verbindungen zur Aufgabenstellung werden hergestellt (z.B. bei Aufgabe 1, dass es mind. 15 verschiedene Verpackungen gibt)
- Lernende stellen Verbindungen her zwischen dem, was sie gelernt haben, und weiteren Kontexten (z.B. ausserschulisch)
- Inhaltlicher Auseinandersetzung wird nicht aus dem Weg gegangen (nicht: „Ist doch egal, wie es gemeint ist“ oder „Wir sagen einfach, dass wir es nicht verstanden haben“)

Hinweis: Die Argumentation/Begründung kann auch handelnd erfolgen (z.B. mithilfe der Tischtennisbälle etwas erklären/zeigen).

<input type="checkbox"/> ₀ Kaum inhaltliche Auseinandersetzung beobachtbar	<input type="checkbox"/> ₁ Mittlere inhaltliche Auseinandersetzung beobachtbar	<input type="checkbox"/> ₂ Hohe inhaltliche Auseinandersetzung beobachtbar (nicht nur handelnd)
---	---	--

In Anlehnung an Alexander (2008); Brunner (2013); Linnemann und Bruder (2016); Michaels, O'Connor, Hall und Resnick (2010); OECD (2017); Rojas-Drummond, Torreblanca, Pedraza, Vélez und Guzmán (2013); Schwarzkopf (2015); Soter et al. (2008); Tebaartz und Lengnink (2015)

3.4 Gemeinsame Regulation des Problemlöseprozesses

Gemeinsame Regulation des Problemlöseprozesses

Die Schülerinnen und Schüler regulieren gemeinsam den Problemlöseprozess. Versuche zur Regulation und zum Monitoring werden aufgegriffen und nicht ignoriert.

Aspekte:

Planung, Monitoring, Kontrolle, Bewertung und Evaluierung sowie Reflexion des Problemlöseprozesses/der Problemlösung:

- Überblick über die Aufgabe verschaffen (z.B. lesen, wieder lesen, Aufgabe durchblättern)
- Sicherstellen, dass alle die Aufgabe gelesen und verstanden haben
Beispiel: „Habt ihr es gelesen?“ (Gruppe F, 00:30)
- Vorgehen wird explizit besprochen
Beispiel: „Jeder hat doch drei gemacht, oder? Gut. Wenn jeder ähm mal zuerst seine also am Anfang und nachher jeder macht seine drei und wenn es eines schon hat, dann eben zwei. Dann haben wir schon.“ (Gruppe H, 01:08)
- Organisation der Zusammenarbeit (z.B. besprechen, wer schreibt)
Beispiel: „Wer von euch will die Aufgabe lesen?“ (Gruppe A, 00:11); „Überlegt euch schon mal eine andere Schachtel!“ (Gruppe I, 01:51)
- Zeitplanung (z.B. innerhalb der gegebenen Zeit die Aufgabe befriedigend lösen vs. Zeitmangel)
Beispiel: „Sollen wir zur nächsten Frage gehen?“ – „Nein, nein, erst nach 10 Minuten!“ (Gruppe F, 07:18)
- Ziele und Teilziele werden bestimmt
- Zurückkommen auf das Ziel, z.B. während der Bearbeitung Bezug auf Problemlöseaufgabe nehmen (z.B. Aufgabe 1: mind. 15 verschiedene Lösungen sind möglich)
- Verhalten dem Zeitbudget anpassen (z.B. Skizze statt Zeichnung oder Konstruktion)
- Kontrolle, ob die gefundenen Lösungen den Kriterien der Aufgabe entsprechen
- Lösungen überprüfen, nachvollziehen
- Lösungen, Argumente bewerten
Beispiel: „Ich finde das eigentlich eine gute Lösung.“ (Gruppe F, 07:03); „Das ist nicht so, so ein guter Grund.“ (Gruppe F, 15:13)
- Nummerierung der gefundenen Lösungen
Beispiel: „Warte mal. Wie viele haben wir denn schon gefunden? 1, 2, 3, 4. Ja, immerhin schon die Hälfte!“ (Gruppe F, 07:28)
- Aussagen über Arbeitsweise
Beispiel: „So macht es Spaß!“ (Gruppe A, 09:32); „Ich bin diejenige, die nichts gemacht hat.“ (Gruppe A, 08:46)
- Regulation mit Fokus auf das Verstehen, Disziplin (z.B. Einhaltung der Schulregeln) oder Koordination der Gruppeninteraktionen
- Nächste Schritte identifizieren
- Konzentration, Motivation, Volition
Beispiel: „Nein, [Name], jetzt müssen wir aber aufpassen. Wir müssen uns besser auf die Aufgabe konzentrieren!“ (Gruppe F, 14:45)
- ...

☐₀ Regulation kaum beobachtbar

☐₁ Regulation teilweise beobachtbar (verschiedene regulative Aspekte beobachtbar)

☐₂ Regulation oft beobachtbar (viele verschiedene regulative Aspekte beobachtbar, diese sind zweckmässig und sinnvoll)

In Anlehnung an Artzt und Armour-Thomas (1992, 1997); Goos (2002); Hadwin und Oshige (2011); Miller und Hadwin (2015); Rogat und Adams-Wiggins (2014); Volet, Vauras, Khosa und Iiskala (2013)

4 Literatur

- Abels, L. (2002). Ich hab's – Tipps, Tricks und Übungen zum Problemlösen. *mathematik lehren*, 115, 23-46.
- Aebli, H. (1981a). *Denken, das Ordnen des Tuns (2. Band)*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aebli, H. (1981b). *Grundformen des Lehrens: Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aebli, H. (2011). *Zwölf Grundformen des Lehrens (14. Auflage)*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Alexander, R. (2008). *Towards dialogic teaching: Rethinking classroom talk (fourth edition)*. York: Dialogos.
- Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Arbinger, R. (1997). *Psychologie des Problemlösens. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Darmstadt: Primus.
- Artzt, A. F. & Armour-Thomas, E. (1992). Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small groups. *Cognition and Instruction*, 9 (2), 137-175.
- Artzt, A. F. & Armour-Thomas, E. (1997). Mathematical problem solving in small groups: Exploring the interplay of students' metacognitive behaviors, perceptions, and ability levels. *Journal of Mathematical Behavior*, 16 (1), 63-74.
- Askill-Williams, H., Lawson, M. & Skrzypiec, G. (2012). Scaffolding cognitive and metacognitive strategy instruction in regular class lessons. *Instructional Science*, 40 (2), 413-443.
- Assmus, D. & Förster, F. (2015). ViStAD – Analoges Denken beim Problemlösen – Förderliche und hinderliche Bedingungen bei Analogieerkennung und Analogienutzung. In A. Kuzle & B. Rott (Hrsg.), *Problemlösen gestalten und beforschen. Tagungsband der Herbsttagung des GDM-Arbeitskreises Problemlösen in Münster 2014* (S. 1-31). Münster: WTM.
- Assmus, D. & Fritzlär, T. (2014). Analogieerkennung im Problemlöseprozess – ein Verlaufsmodell. In J. Roth & J. Ames (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2014* (S. 113-116). Münster: WTM.
- Ballstaedt, S.-P. (2006). Zusammenfassen von Textinformationen. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 117-126). Hogrefe: Göttingen.
- Bannert, M. & Schnotz, W. (2006). Vorstellungsbilder und Imagery-Strategien. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 72-88). Hogrefe: Göttingen.
- Bassok, M. (2003). Analogical transfer in problem solving. In J. E. Davidson & R. Sternberg (Hrsg.), *The psychology of problem solving* (S. 343-370). Cambridge: Cambridge University Press.
- Betsch, T., Funke, J. & Plessner, H. (2011). *Denken – Urteilen, Entscheiden, Problemlösen*. Berlin: Springer.
- Bransford, J. D. & Stein, B. S. (1993). *The ideal problem solver. A guide for improving thinking, learning, and creativity (second edition)*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Brunner, E. (2013). *Innermathematisches Beweisen und Argumentieren in der Sekundarstufe I. Mögliche Erklärungen für systematische Bearbeitungsunterschiede und leistungsförderliche Aspekte*. Münster: Waxmann.
- Catrysse, L., Gijbels, D., Donche, V., De Maeyer, S., Van den Bosschen, P. & Gommers, L. (2016). Mapping processing strategies in learning from expository text: An exploratory eye tracking study followed by a cued recall. *Frontline Learning Research*, 4 (1), 1-16.
- De Corte, E. (1995). Fostering cognitive growth: A perspective from research on mathematics learning and instruction. *Educational Psychologist*, 30 (1), 37-56.

- Dewey, J. (2002). *Wie wir denken. Mit einem Nachwort neu herausgegeben von Rebekka Horlacher und Jürgen Oelkers*. Zürich: Pestalozzianum.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Drollinger-Vetter, B. (2011). *Verstehenselemente und strukturelle Klarheit. Fachdidaktische Qualität der Anleitung von mathematischen Verstehensprozessen im Unterricht*. Münster: Waxmann.
- Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J. & Willingham, D. T. (2013). Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, 14 (1), 4-58.
- Ehret, C. (2017). *Mathematisches Schreiben. Modellierung einer fachbezogenen Prozesskompetenz*. Wiesbaden: Springer Spectrum.
- Escher, D. & Messner, H. (2015). *Lernen in der Schule. Ein Studienbuch (2., überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Bern: hep.
- Faßnacht, G. (1995). *Systematische Verhaltensbeobachtung. Eine Einführung in die Methodologie und Praxis (2. Auflage)*. München: Ernst Reinhardt.
- Franke, M. & Ruwisch, S. (2010). *Didaktik des Sachrechnens in der Grundschule (2. Auflage)*. Heidelberg: Spektrum.
- Fritz, A., Hussy, W. & Tobinski, D. (2010). *Pädagogische Psychologie*. München: Ernst Reinhardt.
- Fürstenau, B. & Kneppers, L. (2010). Concept mapping as learning tool in problem-oriented learning. In J. Sanchez, A. J. Canas & J. D. Novak (Hrsg.), *Concept maps: Making learning meaningful. Proceedings of the fourth international conference on concept mapping* (S. 137-145). Santiago de Chile: Lom Ediciones S.A.
- Garden, R. A. (1997). *Performance assessment in the Third International Mathematics and Science Study: New Zealand results*. Wellington: Ministry of Education.
- Goos, M. (2002). Understanding metacognitive failure. *Journal of Mathematical Behavior*, 21 (3), 283-302.
- Greiff, S., Niepel, C., Scherer, R. & Martin, R. (2016). Understanding students' performance in a computer-based assessment of complex problem solving: An analysis of behavioral data from computer-generated log files. *Computers in Human Behavior*, 61, 36-46.
- Gürtler, T., Perels, F., Schmitz, B. & Bruder, R. (2002). Training zur Förderung selbstregulativer Fähigkeiten in Kombination mit Problemlösen in Mathematik. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen* (S. 222-239). Weinheim: Beltz.
- Hadwin, A. & Oshige, M. (2011). Self-regulation, coregulation, and socially shared regulation: Exploring perspectives of social in self-regulated learning theory. *Teachers College Record*, 113 (2), 240-264.
- Hertel, S., Hochweber, J., Mildner, D., Steinert, B. & Jude, N. (2014). *Pisa 2009. Skalenhandbuch*. Münster: Waxmann.
- Hugener, I. (2006). Überblick über die Beobachtungsinstrumente. In I. Hugener, C. Pauli & K. Reusser (Hrsg.), *Videoanalysen (= Teil 3 der Dokumentation Erhebungs- und Auswertungsinstrumente zur schweizerisch-deutschen Videostudie „Unterrichtsqualität, Lernverhalten und mathematisches Verständnis“, hrsg. von E. Klieme, C. Pauli & K. Reusser)* (S. 45-54). Frankfurt a.M.: HFPF/DIPF.
- Hugener, I. & Drollinger-Vetter, B. (2006). Inhaltsbezogene Aktivitäten. In I. Hugener, C. Pauli & K. Reusser (Hrsg.), *Videoanalysen (= Teil 3 der Dokumentation Erhebungs- und*

- Auswertungsinstrumente zur schweizerisch-deutschen Videostudie „Unterrichtsqualität, Lernverhalten und mathematisches Verständnis“, hrsg. von E. Klieme, C. Pauli & K. Reusser* (S. 62-88). Frankfurt a.M.: HFPF/DIPF.
- Hussy, W. (1993). *Denken und Problemlösen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Käpnick, F. (2014). *Mathematiklernen in der Grundschule*. Heidelberg: Springer.
- Krause, U.-M. & Stark, R. (2006). Vorwissen aktivieren. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 38-49). Hogrefe: Göttingen.
- Kuckartz, U. (2007). *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten (2., aktualisierte und erweiterte Auflage)*. Wiesbaden: VS.
- Kuger, S. (2016). Curriculum and learning time in international school achievement studies. In S. Kuger, E. Klieme, N. Jude & D. Kaplan (Hrsg.), *Assessing contexts of learning. An international perspective* (S. 395-422). Cham: Springer.
- Kuzle, A. & Bruder, R. (2016). Probleme lösen lernen im Themenfeld Geometrie. *mathematik lehren*, 196, 2-8.
- Leibundgut, S. (1996). „Verpackungen“. *Analyse einer Performance-Test Aufgabe zur Erhebung des räumlichen Vorstellungsvermögens bei Schüler/innen der 7. Klasse. Eine Untersuchung im Rahmen des TIMSS Projektes*. Unveröffentlichte Seminararbeit. Zürich: Universität Zürich.
- Leiss, D. & Blum, W. (2010). Beschreibung zentraler mathematischer Kompetenzen. In W. Blum, C. Drücke-Noe, R. Hartung & O. Köller (Hrsg.), *Bildungsstandards Mathematik: konkret. Sekundarstufe I: Aufgabenbeispiele, Unterrichts Anregungen, Fortbildungsideen* (S. 33-50). Berlin: Cornelsen.
- Lie, S., Taylor, A. & Harmon, M. (1996). Scoring techniques and criteria. In M. O. Martin & D. L. Kelly (Hrsg.), *Third International Mathematics and Science Study (TIMSS) technical report, volume I: Design and development* (S. 7.1-7.16). Chestnut Hill: Boston College.
- Linnemann, T. & Bruder, R. (2016). Kompetenzentwicklung im Fach Mathematik. Das Beispiel Argumentieren. In S. Keller & C. Reintjes (Hrsg.), *Aufgaben als Schlüssel zur Kompetenz. Didaktische Herausforderungen, wissenschaftliche Zugänge und empirische Befunde* (S. 357-369). Münster: Waxmann.
- Linneweber-Lammerskitten, H. (2014). Darstellen und Kommunizieren, Argumentieren und Begründen, Interpretieren und Reflektieren von Resultaten. In H. Linneweber-Lammerskitten (Hrsg.), *Fachdidaktik Mathematik. Grundbildung und Kompetenzaufbau im Unterricht der Sek. I und II* (S. 179-200). Seelze: Kallmeyer.
- Lipowsky, F. (2015). Unterricht. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie (2. Auflage)* (S. 69-105). Berlin: Springer.
- Mercer, N. (1995). *The guided construction of knowledge. Talk amongst teachers and learners*. Clevedon: Multilingual Matters.
- Metzger, C. (2015). *Lern- und Arbeitsstrategien. Ein Fachbuch für Studierende (11. Auflage)*. Berlin: Cornelsen.
- Meyer, M. & Prediger, S. (2012). Sprachenvielfalt im Mathematikunterricht – Herausforderungen, Chancen und Förderansätze. *Praxis der Mathematik in der Schule*, 54 (45), 2-9.
- Michaels, S., O'Connor, M. C., Hall, M. W. & Resnick, L. (2010). *Accountable Talk® sourcebook: For classroom conversation that works*. Pittsburgh: University of Pittsburgh, Institute for Learning.
- Miller, M. & Hadwin, A. (2015). Scripting and awareness tools for regulating collaborative learning: Changing the landscape of support in CSCL. *Computers in Human Behavior*, 52, 573-588.

- Novick, L. R. & Bassok, M. (2005). Problem solving. In K. J. Holyoak & R. G. Morrison (Hrsg.), *The cambridge handbook of thinking and reasoning* (S. 321-349). Cambridge: Cambridge University Press.
- OECD. (2017). *PISA 2015 assessment and analytical framework. Science, reading, mathematics, financial literacy and collaborative problem solving (revised edition)*. Paris: OECD.
- Otto, B., Perels, F. & Schmitz, B. (2008). Förderung mathematischen Problemlösens anhand eines Selbstregulationstrainings. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22 (3), 221-232.
- Pauli, C. (2012). Kodierende Beobachtung. In H. de Boer & S. Reh (Hrsg.), *Beobachtung in der Schule – Beobachten lernen. Lehrbuch* (S. 45-63). Wiesbaden: VS.
- Philipp, K. & Herold-Blasius, R. (2016). Schlüssel zum Erfolg. Mit Strategieschlüsseln Problemlösestrategien fördern. *Praxis der Mathematik in der Schule*, 58 (68), 9-14.
- PISA-Konsortium Deutschland. (2006). *PISA 2003. Dokumentation der Erhebungsinstrumente*. Münster: Waxmann.
- Polya, G. (1949). *Schule des Denkens. Vom Lösen mathematischer Probleme*. Bern: Francke.
- Rakoczy, K., Buff, A. & Lipowsky, F. (2005). *Befragungsinstrumente (= Teil 1 der Dokumentation Erhebungs- und Auswertungsinstrumente zur schweizerisch-deutschen Videostudie „Unterrichtsqualität, Lernverhalten und mathematisches Verständnis“, hrsg. von E. Klieme, C. Pauli & K. Reusser)*. Frankfurt a.M.: GFPP/DIPF.
- Renkl, A. & Nückles, M. (2006). Lernstrategien der externen Visualisierung. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 135-147). Göttingen: Hogrefe.
- Reusser, K. (2005). Problemorientiertes Lernen – Tiefenstruktur, Gestaltungsformen, Wirkung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 23 (2), 159-182.
- Rogat, T. K. & Adams-Wiggins, K. R. (2014). Other-regulation in collaborative groups: Implications for regulation quality. *Instructional Science*, 42 (6), 879-904.
- Rojas-Drummond, S., Torreblanca, O., Pedraza, H., Vélez, M. & Guzmán, K. (2013). „Dialogic scaffolding“: Enhancing learning and understanding in collaborative contexts. *Learning, Culture and Social Interaction*, 2, 11-21.
- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. San Diego: Academic Press.
- Schukajlow, S. (2011). *Mathematisches Modellieren. Schwierigkeiten und Strategien von Lernenden als Bausteine einer lernprozessorientierten Didaktik der neuen Aufgabenkultur*. Münster: Waxmann.
- Schwarzkopf, R. (2015). Argumentationsprozesse im Mathematikunterricht der Grundschule: Ein Einblick. In A. Budke, M. Kuckuck, M. Meyer, F. Schäbitz, K. Schlüter & G. Weiss (Hrsg.), *Fachlich argumentieren lernen. Didaktische Forschungen zur Argumentation in den Unterrichtsfächern* (S. 31-45). Münster: Waxmann.
- Schworm, S. & Fischer, F. (2006). Academic Help Seeking. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 282-293). Göttingen: Hogrefe.
- Slade, S. (1991). Case-based reasoning: A research paradigm. *AI Magazine*, 12 (1), 42-55.
- Soter, A. O., Wilkinson, I. A. G., Murphy, P. K., Rudge, L., Reninger, K. & Edwards, M. (2008). What the discourse tells us: Talk and indicators of high-level comprehension. *International Journal of Educational Research*, 47, 372-391.
- Stylianou, D. A. (2002). On the interaction of visualization and analysis: The negotiation of a visual representation in expert problem solving. *Journal of Mathematical Behavior*, 21, 303-317.
- Tebaartz, P. C. & Lengnink, K. (2015). Was heißt „mathematischer Beweis“? – Realisierungen in Schülerdokumenten. In A. Budke, M. Kuckuck, M. Meyer, F. Schäbitz, K. Schlüter &

- G. Weiss (Hrsg.), *Fachlich argumentieren lernen. Didaktische Forschungen zur Argumentation in den Unterrichtsfächern* (S. 105-120). Münster: Waxmann.
- TIMSS. (1994). *Third International Mathematics and Science Study. Main survey. Coding guide for performance assessment populations 1 and 2*. Chestnut Hill: Boston College.
- Tschirgi, J. E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, 51, 1-10.
- Volet, S., Vauras, M., Khosa, D. & Iiskala, T. (2013). Metacognitive regulation in collaborative learning: Conceptual developments and methodological contextualizations. In S. Volet & M. Vauras (Hrsg.), *Interpersonal regulation of learning and motivation. Methodological advances* (S. 67-101). London: Routledge.
- Waldis, M., Buff, A., Pauli, C. & Reusser, K. (2002). *Skalendokumentation zur Schülerinnen- und Schülerbefragung in der schweizerischen Videostudie zum Mathematikunterricht*. Zürich: Universität Zürich, Pädagogisches Institut.
- Wild, E., Hofer, M. & Pekrun, R. (2006). Psychologie des Lernens. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch (5., vollständig überarbeitete Auflage)* (S. 203-267). Weinheim: Beltz.
- Wüstenberg, S., Greiff, S. & Funke, J. (2012). Complex problem solving – More than reasoning? *Intelligence*, 40, 1-14.
- Wüstenberg, S., Greiff, S., Molnár, G. & Funke, J. (2014). Cross-national gender differences in complex problem solving and their determinants. *Learning and Individual Differences*, 29, 18-29.
- Zimmerman, B. J. & Martinez-Pons, M. (1988). Construct validation of a strategy model of student self-regulated learning. *Journal of Educational Psychology*, 80 (3), 284-290.
- Zimmermann, B. (2003). Mathematisches Problemlösen und Heuristik in einem Schulbuch. *Der Mathematikunterricht*, 49 (1), 42-57.

C Ausführliche Ergebnisse

C.1 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

Tab. C.1-1: Ergebnisse Kodierung Verpackungen

Punkte	Beschreibung	Code	n	%
3	Drei oder mehr verschiedene korrekte Verpackungen (perspektivische Skizzen mit eingezeichneten Bällen)	30	45	18.0
	Zu den drei oder mehr korrekten Verpackungen (perspektivische Skizzen mit eingezeichneten Bällen) werden noch weitere falsche oder identische Verpackungen gezeichnet	31	2	0.8
	Drei oder mehr verschiedene korrekte Verpackungen (unabhängig davon, ob noch weitere falsche oder identische Faltpläne vorliegen), jedoch keine perspektivischen Skizzen, sondern Grundrisse mit eingezeichneten Bällen	32	41	16.4
	Drei oder mehr verschiedene korrekte Verpackungen (auch wenn mit weiteren falschen oder identischen Verpackungen), wobei es perspektivische Skizzen und Grundrisse mit eingezeichneten Bällen gibt	33	25	10.0
2	Zwei verschiedene korrekte Verpackungen (perspektivische Skizzen mit eingezeichneten Bällen)	20	3	1.2
	Zu den zwei korrekten Verpackungen werden noch weitere falsche oder identische Verpackungen gezeichnet	21	25	10.0
	Zwei verschiedene korrekte Verpackungen (auch wenn mit weiteren falschen oder identischen Verpackungen), jedoch keine perspektivischen Skizzen, sondern Grundrisse mit eingezeichneten Bällen	22	21	8.4
	Zwei verschiedene korrekte Verpackungen (auch wenn mit weiteren falschen oder identischen Verpackungen), wobei es perspektivische Skizzen und Grundrisse mit eingezeichneten Bällen gibt	23	8	3.2
1	Eine korrekte Verpackung (perspektivische Skizze mit eingezeichneten Bällen)	10	2	0.8
	Zur korrekten Verpackung werden noch weitere falsche oder identische Verpackungen gezeichnet	11	15	6.0
	Eine korrekte Verpackung (evtl. mit weiteren falschen oder identischen Verpackungen), jedoch keine perspektivische Skizze, sondern Grundriss mit eingezeichneten Bällen	12	12	4.8
	Minimal richtige Lösung	19	0	0.0
0	Keine richtige Lösung, weil Bälle nicht eng verpackt sind	70	0	0.0
	Eine korrekte Verpackung, jedoch ohne eingezeichnete Bälle	71	1	0.4
	Zwei verschiedene korrekte Verpackungen, jedoch ohne eingezeichnete Bälle	72	2	0.8
	Drei oder mehr verschiedene korrekte Verpackungen, jedoch ohne eingezeichnete Bälle	73	6	2.4
	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	76	2	0.8
	Andere, inkorrekte Antwort (z.B., wenn Faltpläne gezeichnet wurden)	79	39	15.6
	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar	90	0	0.0
	Leer	99	1	0.4
Total			250	100

Tab. C.1-2: Ergebnisse Kodierung Schachteltypen

Beschreibung	Code	n	%
I-Form	1010	5	0.7
	1011	159	21.8
	1012	56	7.7
Quader	1020	2	0.3
	1021	51	7.0
T-Form 1	1030	2	0.3
	1031	4	0.5
	1032	33	4.5
T-Form 2	1033	1	0.1
	1040	1	0.1
	1044	1	0.1
L-Form	1050	5	0.7
	1051	2	0.3
	1052	49	6.7
S-Form	1053	1	0.1
	1060	3	0.4
	1061	1	0.1
Kreuz	1062	23	3.2
	1071	3	0.4
	1072	2	0.3
Rhomboid/Parallelogramm	1080	2	0.3
	1081	20	2.7
	1082	1	0.1
Pyramide/Kegel	1090	1	0.1
Zylinder	1110	8	1.1
	1112	22	3.0
Dreieck	1130	4	0.5
	1131	25	3.4
Fehler	7000	107	14.7
	7011	34	4.7
	7012	4	0.5
	7021	9	1.2
	7030	1	0.1
	7031	2	0.3
	7032	4	0.5
	7041	1	0.1
	7050	1	0.1
	7051	1	0.1
	7052	6	0.8
	7053	1	0.1
	7060	1	0.1
	7062	3	0.4
	7081	4	0.5
	7111	1	0.1
	7112	3	0.4
	7131	6	0.8
	7600	54	7.4
Total		730	100

Anmerkung. Angegeben werden nur Codes, die in den Daten tatsächlich vorgekommen sind.

Tab. C.1-3: Ergebnisse Kodierung Faltpläne

Punkte	Beschreibung	Code	n	%
3	Drei oder mehr verschiedene korrekte Faltpläne	30	34	13.6
	Zu den drei oder mehr korrekten Faltplänen werden noch weitere falsche oder identische Faltpläne gezeichnet	31	1	0.4
2	Zwei verschiedene korrekte Faltpläne	20	4	1.6
	Zu den zwei korrekten Faltplänen werden noch weitere falsche oder identische Faltpläne gezeichnet	21	42	16.8
1	Ein korrekter Faltpplan	10	8	3.2
	Zum korrekten Faltpplan werden noch weitere falsche oder identische Faltpläne gezeichnet	11	93	37.2
	Drei oder mehr verschiedene korrekte Faltpläne (unabhängig davon, ob noch weitere falsche oder identische Faltpläne vorliegen) mit Kleberändern	12	2	0.8
	Zwei verschiedene korrekte Faltpläne (auch wenn mit weiteren falschen oder identischen Faltplänen) mit Kleberändern	13	1	0.4
	Ein korrekter Faltpplan (auch wenn mit weiteren falschen oder identischen Faltplänen) mit Kleberändern	14	3	1.2
	Minimal richtige Lösung (z.B. wenn nur ein Faltpplan vorhanden ist, welcher aber aus mehreren Teilstücken zusammengesetzt ist)	19	1	0.4
	Keine richtige Lösung, weil ein Hauptkriterium nicht beachtet wird	70	1	0.4
0	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	76	0	0.0
	Andere, inkorrekte Antwort	79	50	20.0
	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar	90	0	0.0
	Leer	99	10	4.0
Total			250	100

Tab. C.1-4: Ergebnisse Kodierung Faltpplantypen

Beschreibung		Code	n	%
Richtige Lösungen	Faltplan wird ausgehend von der Grundfläche gezeichnet	11	274	40.5
	Faltplan wird nicht ausgehend von der Grundfläche gezeichnet	12	28	4.1
	Grundfläche kann nicht in der Mitte sein	13	6	0.9
Falsche Lösungen	Faltplan entspricht nicht einer in Aufgabe 1 entworfenen Schachtel	71	4	0.6
	Bälle sind nicht eng verpackt	72	1	0.1
	Proportionen der Grund- und Seitenflächen stimmen nicht	73	0	0.0
	Zu viele Flächen (z.B. inkl. Deckel)	74	18	2.7
	Zu wenige Flächen (z.B. eine Seite wurde vergessen)	75	43	6.4
	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	76	30	4.4
	Flächen sind falsch angeordnet, sodass konkretes Zusammenfallen nicht klappt	77	0	0.0
	Andere, inkorrekte Antwort (auch wenn mehrere Fehler kombiniert)	79	273	40.3
Total			677	100

Tab. C.1-5: Ergebnisse Kodierung Schachteltyp

Punkte	Beschreibung	Code	n	%
3	Vollständiger und korrekter Faltpplan, alle Masse stimmen (+/- 1mm pro Ball)	20	26	10.4
	Andere richtige Lösung (z.B. Faltpplan wurde nicht nur gezeichnet, sondern auch zusammengeklebt)	29	78	31.2
1.5	Vollständiger Faltpplan, aber die Masse stimmen nicht vollständig	10	6	2.4
	Vollständiger und korrekter Faltpplan, alle Masse stimmen (+/- 1mm pro Ball) mit Kleberändern	11	7	2.8
	Vollständiger und korrekter Faltpplan, die Masse stimmen nicht vollständig mit Kleberändern	12	7	2.8
	Teilweise richtig, Schachtel wurde zusammengeklebt	13	36	14.4
	Teilweise richtig (z.B. angeklebte Flächen)	17	9	3.6
	Andere minimal richtige Lösung mit einem Fehler	19	0	0.0
	Faltpplan entspricht nicht einer in Aufgabe 1 entworfenen Schachtel	71	4	1.6
0	Bälle sind nicht eng verpackt	72	0	0.0
	Proportionen der Grund- und Seitenflächen stimmen nicht	73	5	2.0
	Zu viele Flächen (z.B. inkl. Deckel)	74	2	0.8
	Zu wenige Flächen (z.B. eine Seite wurde vergessen)	75	0	0.0
	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	76	7	2.8
	Flächen sind falsch angeordnet, sodass konkretes Zusammenfallen nicht klappt	77	0	0.0
	Andere, inkorrekte Antwort (auch wenn mehrere Fehler kombiniert)	79	59	23.6
	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar	90	0	0.0
	Leer	99	4	1.6
Total			250	100

Tab. C.1-6: Ergebnisse Kodierung massstabgetreuer Schachteltyp

Beschreibung	Code	n	%
I-Form	1011	123	50.0
	1012	13	5.3
Quader	1021	17	6.9
T-Form 1	1032	4	1.6
T-Form 2	1044	1	0.4
L-Form	1052	3	1.2
S-Form	1062	2	0.8
Kreuz	1072	1	0.4
Pyramide	1091	1	0.4
Zylinder	1111	1	0.4
Dreieck	1131	3	1.2
Fehler	7000	22	8.9
	7011	20	8.1
	7012	5	2.0
	7021	1	0.4
	7032	1	0.4
	7052	3	1.2
	7062	2	0.8
	7111	2	0.8
	7112	1	0.4
	7131	3	1.2
	7142	1	0.4
	7600	16	6.5
Total		246	100

Anmerkung. Angegeben werden nur Codes, die in den Daten tatsächlich vorgekommen sind.

Tab. C.1-7: Ergebnisse Kodierung Oberflächenberechnungen

Punkte	Beschreibung	Code	n	%
3	Drei oder mehr korrekte Berechnungen der Oberfläche	30	9	3.6
	Zu den drei oder mehr korrekten Berechnungen der Oberfläche werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Oberfläche gemacht	31	0	0.0
2	Zwei korrekte Berechnungen der Oberfläche	20	0	0.0
	Zu den zwei korrekten Berechnungen der Oberfläche werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Oberfläche gemacht	21	4	1.6
1	Eine korrekte Berechnung der Oberfläche	10	13	5.2
	Zur korrekten Berechnung der Oberfläche werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Oberfläche gemacht	11	10	4.0
	Minimal richtige Lösung (z.B. wenn nur Formel aufgeschrieben, aber nicht gelöst)	19	0	0.0
0	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	76	0	0.0
	Andere, inkorrekte Antwort	79	93	37.2
	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar	90	1	0.4
	Leer	99	120	48.0
Total			250	100

Tab. C.1-8: Ergebnisse Kodierung Lösungsweg Oberflächenberechnungen

Beschreibung	Code	n	%
Richtige Lösungen			
Mit Lösungsweg	11	51	20
Ohne Lösungsweg	12	7	2.7
Falsche Lösungen			
Messungenauigkeit, d.h. falsche Masse werden verwendet	71	1	0.4
Fehler bei Einheit oder Dimension, falsche Umwandlung	72	4	1.6
Fehlende Einheiten	73	10	3.9
Falsche Formel oder Fehler in der Formel (z.B. vergessen, dass bei Pyramide geteilt durch 3, oder statt Radius Durchmesser genommen)	74	2	0.8
Rechenfehler/Flüchtigkeitsfehler	75	0	0.0
Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	76	0	0.0
Fläche zu viel oder zu wenig berechnet	77	8	3.1
Andere, inkorrekte Antwort (auch wenn mehrere Fehler kombiniert)	79	172	67.5
Total		255	100

Tab. C.1-9: Ergebnisse Kodierung Volumenberechnungen

Punkte	Beschreibung	Code	n	%
3	Drei oder mehr korrekte Berechnungen des Volumens	30	23	9.2
	Zu den drei oder mehr korrekten Berechnungen der Volumen werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Volumen gemacht	31	0	0.0
2	Zwei korrekte Berechnungen des Volumens	20	4	1.6
	Zu den zwei korrekten Berechnungen der Volumen werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen der Volumen gemacht	21	8	3.2
1	Eine korrekte Berechnung des Volumens	10	17	6.8
	Zur korrekten Berechnung des Volumens werden noch weitere falsche oder identische Berechnungen des Volumens gemacht	11	8	3.2
	Minimal richtige Lösung (z.B. wenn nur Formel aufgeschrieben, aber nicht gelöst)	19	0	0.0
0	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	76	1	0.4
	Andere, inkorrekte Antwort	79	61	24.4
	Durchgestrichen (auch wenn Lösung korrekt), nicht lesbar oder nicht interpretierbar	90	0	0.0
	Leer	99	128	51.2
Total			250	100

Tab. C.1-10: Ergebnisse Kodierung Lösungsweg Volumenberechnungen

Beschreibung		Code	n	%
Richtige Lösungen	Mit Lösungsweg	10	98	41.0
	Ohne Lösungsweg	11	20	8.4
Falsche Lösungen	Messungenauigkeit, d.h. falsche Masse werden verwendet	71	6	2.5
	Fehler bei Einheit oder Dimension, falsche Umwandlung	72	3	1.3
	Fehlende Einheiten	73	7	2.9
	Falsche Formel oder Fehler in der Formel (z.B. vergessen, dass bei Pyramide geteilt durch 3, oder statt Radius Durchmesser genommen)	74	1	0.4
	Rechenfehler/Flüchtigkeitsfehler	75	1	0.4
	Wiederholung des Beispiels aus der Fragestellung	76	7	2.9
	Fläche zu viel oder zu wenig berechnet	77	0	0.0
	Andere, inkorrekte Antwort (auch wenn mehrere Fehler kombiniert)	79	96	40.2
Total			239	100

C.2 Reflexionsinstrument

Tab. C.2-1: Ergebnisse selbstberichtete Vorgehensweisen beim Lösen der Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Einzelarbeit)

Code	Kategorie	n	%
1000	Wahrnehmen und Verstehen des Problems		
1100	Wahrnehmen und erstes Verstehen eines Problems		
1101	Wahrnehmen einer Schwierigkeit/Problem verstehen	12	1.08
1102	Auseinandersetzung mit dem Problem		
1202	Durchlesen/Anschaun	52	4.66
1203	Mehrmaliges Durchlesen/Anschaun	13	1.16
1204	Genaues Durchlesen/Anschaun	9	0.81
1205	Anschauliches Vorstellen des Problems	16	1.43
1206	Fragen stellen	2	0.18
1207	Variation des Problems	0	0.00
1209	Analyse/Überblick verschaffen	1	0.09
1300	Strukturierung des Problems		
1301	Zerlegen des Problems (Aspektbetrachtung)	0	0.00
1302	Vereinfachen des Problems (Reduktion)	0	0.00
1303	Selektion	0	0.00
1304	Zusammenfassung	0	0.00
1305	Notizen machen	2	0.18
1400	Grafische Darstellungen		
1401	Nicht spezifizierte grafische Darstellungen	0	0.00
1402	Skizzen	2	0.18
1403	Mindmap/Conceptmap	0	0.00
1404	Weitere grafische Darstellungen	0	0.00
1900	Fachspezifisch		
1901	Definition der Unbekannten	0	0.00
2000	Ausdenken eines Plans		
2100	Vorwissen und frühere Erfahrungen aktivieren		
2101	Vorwissen aktivieren	12	1.08
2102	Analoge, verwandte Probleme und Situationen	10	0.90
2200	Generierung von Lösungsideen		
2201	Lösungsideen/Lösungswege generieren	145	12.99
2202	Bewusste Auswahl von Lösungsverfahren	83	7.44
2300	Planung der Lösung		
2301	Nicht spezifizierte Planung	10	0.90
2302	Arbeitsplanung	0	0.00
2303	Strategieplanung	0	0.00
2400	Zieldefinition		
2401	Schluss betrachten/Rückwärts arbeiten (Reversibilität)	0	0.00
2402	Definition von Zielen	1	0.09
2500	Weitere heuristische Vorgehen zum Ausdenken eines Plans		
2501	(Nach-)Denken	26	2.33
2502	Induktion	1	0.09
2503	Unterbewusstes Arbeiten/Inkubation/Heranreifen	0	0.00
2504	Einfall/Geistesblitz	1	0.09
2505	Einbeziehen aller Daten	0	0.00
2506	Vermutungen anstellen	1	0.09
2900	Fachspezifisch		
2901	Überschlag/Schätzung	5	0.45
2902	Gleichung aufstellen	0	0.00
2903	Hilfsaufgabe	0	0.00
2904	Hilfselement	1	0.09
2905	Hilfssatz/Lemma	0	0.00
3000	Ausführen des Plans und Durcharbeiten des Problems		
3100	Kontrolle und Evaluation des Lösungswegs		
3101	Evaluation und Kontrolle des Lösungsprozesses (Monitoring)	12	1.08
3102	Revision/Anpassung des Plans bzw. der Ziele/Überarbeiten	12	1.08
3103	Kontrolle der Zwischenergebnisse	1	0.09
3200	Weitere heuristische Vorgehen zur Ausführung eines Plans		
3201	Lösen	48	4.30
3202	Schrittweises Lösen	11	0.99
3203	Ausprobieren (trial and error)	9	0.81
3204	Systematisches Ausprobieren	0	0.00

Anhang

3900	Fachspezifisch		
3901	Rechnen	65	5.82
3902	Indirekter Beweis	0	0.00
3903	Messen/Verwenden von Masseinheiten	86	7.71
3904	Skizzieren/Zeichnen/Konstruieren	171	15.32
3905	Modell herstellen	101	9.05
4000	Rückschau und Prüfung der Lösung		
4100	Kontrolle und Evaluation der Lösung/des Zielzustandes		
4101	Kontrolle der Lösung	23	2.06
4102	Bewertung/Evaluation des Lösungsprozesses	116	10.39
4103	Ableitung der Lösungen	0	0.00
4104	Nachvollziehen der Lösung	1	0.09
4105	Bewusste Auswahl einer Lösung	0	0.00
4200	Weiterverwendung der Lösung		
4201	Weiterverwendung der Lösung	1	0.09
4202	Ergebnisdarstellung	0	0.00
4203	Kommunikation der Lösung	0	0.00
4900	Fachspezifisch		
4901	Nachrechnen	0	0.00
4902	Nachprüfung durch Dimensionsbetrachtung	0	0.00
4903	Kontrolle der Masseinheiten	2	0.18
5000	Soziale Ressourcen		
5100	Soziale Unterstützung		
5103	Lehrperson/Coach	2	0.18
6000	Hilfsmittel und Modelle		
6200	Modell		
6202	Anweisung/Beispiel befolgen	31	2.78
6203	Abschreiben	1	0.09
6204	In Expertin/Experten versetzen	0	0.00
6205	An Expertin/Experten erinnern	0	0.00
7000	Motivation, Volition, Emotionen, Konzentration, Pausen		
7100	Motivation, Volition, Konzentration, Pausen		
7101	Motivation	0	0.00
7102	Konzentration/Aufmerksamkeit	5	0.45
7103	Volition/Dranbleiben/Ausdauer	0	0.00
7104	Pausen/Entspannen/Ruhe bewahren	0	0.00
7200	Emotionen		
7201	Positive Emotionen	7	0.63
7202	Negative Emotionen	6	0.54
Total (ohne Missings)		1116	100
9900	Missings		
9966	Nicht-Strategie	3	
9988	Nicht lesbare Antwort	0	
9999	Keine Antwort	0	

Tab. C.2-2: Ergebnisse selbstberichtete Vorgehensweisen beim Lösen von allgemeinen Problemen

Code	Kategorie	n	%
1000	Wahrnehmen und Verstehen des Problems		
1100	Wahrnehmen und erstes Verstehen eines Problems		
1101	Wahrnehmen einer Schwierigkeit/Problem verstehen	37	4.45
1200	Auseinandersetzung mit dem Problem		
1201	Begriffe klären	2	0.24
1202	Durchlesen/Anschauen	25	3.00
1203	Mehrmaliges Durchlesen/Anschauen	34	4.09
1204	Genaueres Durchlesen/Anschauen	29	3.49
1205	Anschauliches Vorstellen des Problems	18	2.16
1206	Fragen stellen	2	0.24
1207	Variation des Problems	1	0.12
1208	Hinzunahme weiterer Informationen	0	0.00
1209	Analyse/Überblick verschaffen	20	2.40
1300	Strukturierung des Problems		
1301	Zerlegen des Problems (Aspektbetrachtung)	6	0.72
1302	Vereinfachen des Problems (Reduktion)	2	0.24
1303	Selektion	12	1.44
1304	Zusammenfassung	1	0.12
1305	Notizen machen	35	4.21
1400	Grafische Darstellungen		
1401	Nicht spezifizierte grafische Darstellungen	5	0.60
1402	Skizzen	23	2.76
1403	Mindmap/Conceptmap	2	0.24
1404	Weitere grafische Darstellungen	5	0.60
1900	Fachspezifisch		
1901	Definition der Unbekannten	0	0.00
2000	Ausdenken eines Plans		
2100	Vorwissen und frühere Erfahrungen aktivieren		
2101	Vorwissen aktivieren	11	1.32
2102	Analoge, verwandte Probleme und Situationen	8	0.96
2200	Generierung von Lösungsideen		
2201	Lösungsideen/Lösungswege generieren	43	5.17
2202	Bewusste Auswahl von Lösungsverfahren	16	1.92
2300	Planung der Lösung		
2301	Nicht spezifizierte Planung	2	0.24
2302	Arbeitsplanung	2	0.24
2303	Strategieplanung	3	0.36
2400	Zieldefinition		
2401	Schluss betrachten/Rückwärts arbeiten (Reversibilität)	3	0.36
2402	Definition von Zielen	0	0.00
2500	Weitere heuristische Vorgehen zum Ausdenken eines Plans		
2501	(Nach-)Denken	59	7.09
2502	Induktion	0	0.00
2503	Unterbewusstes Arbeiten/Inkubation/Heranreifen	0	0.00
2504	Einfall/Geistesblitz	5	0.60
2505	Einbeziehen aller Daten	1	0.12
2506	Vermutungen anstellen	0	0.00
2900	Fachspezifisch		
2901	Überschlag/Schätzung	3	0.36
2902	Gleichung aufstellen	1	0.12
2903	Hilfsaufgabe	0	0.00
2904	Hilfselement	0	0.00
2905	Hilfssatz/Lemma	0	0.00
3000	Ausführen des Plans und Durcharbeiten des Problems		
3100	Kontrolle und Evaluation des Lösungsweges		
3101	Evaluation und Kontrolle des Lösungsprozesses (Monitoring)	4	0.48
3102	Revision/Anpassung des Plans bzw. der Ziele/Überarbeiten	10	1.20
3103	Kontrolle der Zwischenergebnisse	0	0.00
3200	Heuristische Vorgehen zur Ausführung eines Plans		
3201	Lösen	86	10.34
3202	Schrittweises Lösen	18	2.16
3203	Ausprobieren (trial and error)	41	4.93
3204	Systematisches Ausprobieren	0	0.00
3900	Fachspezifisch		
3901	Rechnen	8	0.96
3902	Indirekter Beweis	0	0.00

Anhang

4000	Rückschau und Prüfung der Lösung		
4100	Kontrolle und Evaluation der Lösung/des Zielzustandes		
4101	Kontrolle der Lösung	12	1.44
4102	Bewertung/Evaluation des Lösungsprozesses	3	0.36
4103	Ableitung der Lösungen	0	0.00
4104	Nachvollziehen der Lösung	3	0.36
4105	Bewusste Auswahl einer Lösung	2	0.24
4200	Weiterverwendung der Lösung		
4201	Weiterverwendung der Lösung	1	0.12
4202	Ergebnisdarstellung	0	0.00
4203	Kommunikation der Lösung	0	0.00
4900	Fachspezifisch		
4901	Nachrechnen	0	0.00
4902	Nachprüfung durch Dimensionsbetrachtung	0	0.00
4903	Kontrolle der Masseinheiten	0	0.00
4904	Rechtschreibkontrolle	0	0.00
5000	Soziale Ressourcen		
5100	Soziale Unterstützung		
5101	Nicht spezifizierte soziale Unterstützung	53	6.37
5102	Peers	37	4.45
5103	Lehrperson/Coach	55	6.61
5104	Familie	8	0.96
5105	Weitere Personen	2	0.24
5200	Kommunikation		
5201	Darüber sprechen	5	0.60
6000	Hilfsmittel und Modelle		
6100	Hilfsmittel		
6101	Nicht spezifizierte Hilfsmittel	3	0.36
6102	Bücher	4	0.48
6103	ICT	15	1.80
6104	Weitere Hilfsmittel	4	0.48
6200	Modell		
6201	Vergleich mit Lösung	5	0.60
6202	Anweisung/Beispiel befolgen	4	0.48
6203	Abschreiben	5	0.60
6204	In Expertin/Experten versetzen	0	0.00
6205	An Expertin/Experten erinnern	0	0.00
7000	Motivation, Volition, Emotionen, Konzentration, Pausen,		
7100	Motivation, Volition, Konzentration, Pausen		
7101	Motivation	0	0.00
7102	Konzentration/Aufmerksamkeit	10	1.20
7103	Volition/Dranbleiben/Ausdauer	10	1.20
7104	Pausen/Entspannen/Ruhe bewahren	4	0.48
7200	Emotionen		
7201	Positive Emotionen	2	0.24
7202	Negative Emotionen	2	0.24
Total (ohne Missings)		832	100
9900	Missings		
9966	Nicht-Strategie	5	
9977	Anderer Kontext	6	
9988	Nicht lesbare Antwort	0	
9999	Keine Antwort	2	

C.3 Problemlöseaufgabe „Verpackungen“ (Gruppenarbeit)

Tab. C.3-1: Ergebnisse Sprechzeit Aufgabe 1

Gruppe ^a	S1 ^b Talk-on-Task [s]	S1 Talk-off-Task [s]	S2 Talk-on-Task [s]	S2 Talk-off-Task [s]	S3 Talk-on-Task [s]	S3 Talk-off-Task [s]	Kein Gespräch [s]	Total [s]
C	160	0	158	0	123	0	159	600
K	170	0	132	0	122	0	176	600
A	194	18	99	8	62	18	201	600
D	113	4	109	5	108	5	256	600
F	197	3	84	2	41	0	273	600
I	140	21	90	0	71	5	273	600
G	108	9	105	12	75	1	290	600
E	148	0	90	0	35	0	327	600
B	111	0	110	0	37	0	342	600
J	151	0	54	0	48	0	347	600
H	88	2	33	0	24	0	453	600

Anmerkungen. ^a Gruppen sind nach der insgesamt höchsten Sprechzeit in Sekunden geordnet. ^b Schüler/-in 1 ist diejenige Person mit dem höchsten Sprechanteil, gefolgt von S2 und S3.

Tab. C.3-2: Ergebnisse Sprechzeit Aufgabe 2

Gruppe ^a	S1 ^b Talk-on-Task [s]	S1 Talk-off-Task [s]	S2 Talk-on-Task [s]	S2 Talk-off-Task [s]	S3 Talk-on-Task [s]	S3 Talk-off-Task [s]	Kein Gespräch [s]	Nicht genutzte Zeit [s]	Total [s]
I	90	41	106	10	42	16	295	0	600
H	120	0	21	0	30	0	429	0	600
K	109	4	52	1	80	0	191	163	600
F	160	2	79	2	61	2	90	204	600
D	65	2	69	16	94	11	115	228	600
J	115	0	22	2	22	0	156	283	600
A	125	9	40	4	28	8	58	328	600
E	66	5	41	0	17	0	113	358	600
B	17	0	36	17	3	0	164	363	600
C	48	8	24	0	42	4	102	372	600
G	25	4	33	2	32	0	79	425	600

Anmerkungen. ^a Gruppen sind nach der insgesamt höchsten Sprechzeit in Sekunden geordnet. ^b Schüler/-in 1 ist diejenige Person mit dem höchsten Sprechanteil in Aufgabe 1, gefolgt von S2 und S3.