



PRIVATE PÄDAGOGISCHE HOCHSCHULE DER DIÖZESE LINZ
ZENTRUM FÜR WEITERBILDUNG

MASTERTHESE

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science, MSc.

Hochschullehrgang mit Masterabschluss

Neurowissenschaften und Bildung

Sprache und Mathematik.

***Die Relevanz des verbal-numerischen Kompetenzerwerbs in der
Grundschule.***

vorgelegt von

Anika Martin, BEd.

Betreuung

Dr. Christoph Krick

Dr. Emmerich Boxhofer

Matrikelnummer: 09811128

Wortanzahl: 18683

Graz, 27.09.2021

Abstract

Sprache hat im Mathematikunterricht der Grundschule meist nur die Funktion der Vermittlerin. Jedoch ist Sprache viel mehr. Sie ist einerseits Grundvoraussetzung und andererseits Mittel zur aktiven Auseinandersetzung und dient somit dem (mathematischen) Erkenntnisgewinn. Auf- und Ausbau der Fachsprache Mathematik sind Voraussetzung für das Kommunizieren über mathematische Sachverhalte, aber kann Sprache auch die allgemeine mathematische Kompetenz fördern?

Die vorliegende Arbeit geht der Frage nach, inwiefern sprachliche und mathematische Kompetenz und deren Erwerb zusammenhängen. Hierfür wird die Annahme getroffen, dass eine verbal-strategische Förderung einen positiven Effekt auf mathematische Leistungen hat. Um diese Annahme zu belegen, werden die Leistungen nach der verbal-strategischen Intervention in Kontrastierung zu einer Kontrollgruppe und einer räumlich-numerischen Interventionsgruppe erhoben. Die dabei erkennbaren Effekte zeigen neben einem eindeutigen Einfluss der räumlich-numerischer Förderung auf mathematische Leistungen auch einen signifikanten Leistungszuwachs bei der sprachlich orientierten Versuchsgruppe. Die Relevanz einer verbal-strategischen Förderung in der Grundschule wird in der durchgeführten Studie belegt und es werden Aussagen zu Teilkompetenzen getätigt, welche den größten Fördereffekt verzeichnen.

In primary school mathematics lessons, language usually only has the function of a mediator. However, language is much more. On the one hand, it is a basic prerequisite and, on the other hand, a means for active discussion and thus serves to gain (mathematical) knowledge. Developing and expanding mathematical language is a prerequisite for communicating about mathematical issues, but can language also promote general mathematical competence?

This study investigates the extent to which linguistic and mathematical competence and their acquisition are interrelated. For this purpose, the

assumption is made that verbal-strategic support has a positive effect on mathematical achievement. In order to prove this assumption, the performance after the verbal-strategic intervention is surveyed in contrast to a control group and a spatial-numerical intervention group. The discernible effects show, in addition to a clear influence of spatial-numerical support on mathematical performance, a significant increase in performance in the linguistically oriented experimental group. The relevance of verbal-strategic support in primary school is proven in the study carried out and statements are made about partial competences that show the greatest support effect.

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung.....	10
1 Lernen: Neurobiologie, Psychologie und Pädagogik.....	14
1.1 Neurobiologische Grundlagen des Lernens	14
1.1.1 Langzeitgedächtnis	16
1.1.2 Arbeitsgedächtnis	17
1.1.3 Sensorisches Gedächtnis	20
1.1.4 Gedächtnis und schulische Leistungen.....	20
1.2 Lernen aus entwicklungspsychologischer und pädagogischer Sicht..	21
1.2.1 Lerntheorien.....	21
1.2.1.1 Nicht assoziatives Lernen	22
1.2.1.2 Assoziatives Lernen	23
1.2.1.3 Kognitives Lernen	31
1.2.1.4 Soziale Lerntheorien	34
1.2.2 Lernstrategien	38
1.2.2.1 Kognitive Lernstrategien.....	39
1.2.2.2 Metakognitive Lernstrategien	40
1.2.2.3 Motivations- und Emotionsstrategien	41
1.2.3 Kooperatives Lernen.....	42
1.2.3.1 Dimensionen des kooperativen Lernens	42
1.2.3.2 Kooperative Unterrichtsmethoden.....	46
1.2.3.3 Zusammenfassung.....	50
2 Sprache: Erwerb und Verarbeitung	52
2.1 Neurobiologische Aspekte des Spracherwerbs.....	52
2.1.1 Sprachzentren.....	53

2.1.2	Hemisphärendominanz	54
2.1.3	Funktion des verbalen Arbeitsgedächtnis beim Spracherwerb ...	54
2.1.4	Sprache und Kognition.....	55
2.2	Erklärungsmodelle zum Spracherwerb	55
2.2.1	Angeborene Universalgrammatik.....	56
2.2.2	Soziale Interaktion	56
2.2.3	Repräsentationsfunktion	57
2.2.4	Zusammenspiel von Biologie, Kognition und Interaktion.....	58
2.3	Kindlicher Erstspracherwerb	59
2.3.1	Vorsprachliche Phase	59
2.3.2	Phonetisch-phonologische Ebene.....	61
2.3.3	Semantisch-lexikalische Ebene	61
2.3.4	Morphosyntaktische Ebene.....	64
2.3.5	Kommunikation und Pragmatik	66
3	Mathematik.....	67
3.1	Assimilation und Akkomodation – Konstruktivismus	67
3.2	Zahlwortgebrauch – Skill-Integration-Modell	68
3.3	Mengen- und Zahlenwissen – Entwicklungsmodell der Zahl-Größen- Verknüpfung	69
3.4	Relationaler Zahlbegriff – Modell der mathematischen Kompetenzentwicklung.....	71
3.5	Numerische Kognition – Triple-Code-Modell.....	72
3.6	Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen – Vier-Stufen-Modell 75	
3.7	Wie das kindliche Gehirn rechnet.....	76
4	Sprache und Mathematik	78
4.1	Sprachkompetenz	79

4.2	Phonologische Bewusstheit	81
4.3	Verbaler Speicher	82
4.4	Mathematik und Sprachentwicklungsstörungen	83
4.5	Zusammenhang zwischen mathematischen und sprachlichen Fähigkeiten	84
4.6	Alltags-, Bildungs- und Fachsprache und mathematisches Lernen....	86
4.6.1	Begriffsklärung	86
4.6.2	Fachsprache Mathematik.....	87
5	Empirische Forschung.....	89
5.1	Forschungsfragen und Hypothesen	89
5.2	Methode	91
5.2.1	Beschreibung der Stichprobe.....	91
5.2.2	Forschungsdesign und Durchführungsmodalitäten.....	92
5.2.3	Interventionsmaßnahmen	93
5.2.3.1	Verbal-strategisches-Rechenttraining (VT)	93
5.2.3.2	Räumlich-numerisches Training (RT).....	96
5.2.4	Deskription der Messinstrumente.....	97
5.2.4.1	GraWo – Grazer Wortschatztest	97
5.2.4.2	KompTe – Kompetenzorientierter Test mathematischer Fähigkeiten	99
5.3	Auswertung der Daten	102
5.3.1	GraWo.....	102
5.3.1.1	Ergebnisse KG	102
5.3.1.2	Ergebnisse RTG.....	103
5.3.1.3	Ergebnisse VTG.....	104
5.3.2	KompTe A und KompTe B	104

5.3.3	Gesamtergebnisse.....	106
5.3.3.1	Kontrollgruppe.....	109
5.3.3.2	Räumlich-numerische Trainingsgruppe.....	110
5.3.4	Verbal-strategischen Trainingsgruppe	110
5.3.5	Teilergebnisse.....	111
5.3.5.1	Räumlich-numerische Trainingsgruppe.....	112
5.3.5.2	Verbal-strategischen Trainingsgruppe	113
5.3.5.3	Räumlich-numerische versus verbal-strategische Trainingsgruppe.....	115
5.3.6	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	120
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	131
	ANHANGSVERZEICHNIS.....	134

Einleitung

Sprache dient dem Nachdenken über komplexe Sachverhalte, Gedanken zu strukturieren und (zu-)ordnen zu können, dies gilt auch für mathematische Sachverhalte.

Im Themenheft Mathematik zum allgemeinen Kompetenzbereich „Kommunizieren“ des Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation & Entwicklung (2010) wird als Bildungsstandard die Kompetenz zum Verbalisieren und Begründen mathematischer Sachverhalte beschrieben. Darunter ist zu verstehen, dass die Schülerinnen und Schüler in der Lage sein sollen, mathematische Begriffe sachgerecht anzuwenden, Lösungswege zu verbalisieren, mathematische Sachverhalte in Worte zu fassen und ihre Aussagen und Handlungsweisen argumentativ begründen zu können.

Die Funktionen der Sprache, kognitive und kommunikative Funktion, dienen dem mathematischen Erkenntnisgewinn. Der mathematische Fachwortschatz wird zum interaktiven Austausch benötigt, aber auch um mathematisch-konventionalisierte Bedeutungen zu erfassen. Der kommunikative Aspekt ermöglicht eigene Ideen anderen darzulegen, Feedback zu erhalten und über die eigenen Ansätze, Lösungswege und Strategien zu reflektieren beziehungsweise sie zu revidieren.

Das Dehaene (1999) formulierte „Modell der drei Repräsentationsformen (Triple-Code-Modell)“ wurde bereits durch zahlreiche neuropsychologische Untersuchungen bestätigt. Hierbei wird neben der visuell-arabischen und der analogen Größen-Repräsentation die auditiv verbale Repräsentation beschrieben.

Ausgehend von diesem Dehaenes Modell haben von Aster & Lorenz (2005) ihr Entwicklungsmodell der Zahlenverarbeitung beschrieben. Die Entwicklung verläuft dabei vierstufig, die zweite Stufe repräsentiert hier die phonologisch-alphabetische Phase, welche im Kleinkind- beziehungsweise Vorschulalter durchlaufen wird und an die basisnumerischen Fähigkeiten von Babys zur Unterscheidung konkreter Mengen anschließt. Im Grundschulalter werden die visuell-arabischen Zahlensymbole erlernt und damit einhergehend das

Regelwissen um die Zahlenschreibweise, die von der Zahlensprechweise erheblich abweicht. Der Erwerb der verbalen und visuellen Repräsentationen, Zahlwort und Ziffernform, ermöglichen gemäß Schneider, Küspert & Krajewski (2013), die Ausbildung einer abstrakten Zahlenraumvorstellung.

Dehaene und Cohen (1995) gehen auch davon aus, dass die visuellen Repräsentationen, die arabischen Zahlen, in ein sprachliches Format umkodiert werden und mathematisches Wissen im Langzeitgedächtnis sprachlich gespeichert wird. Somit sehen sie die verbalen Repräsentationen als Unterstützung bei der mentalen Zahlenverarbeitung.

Es gibt bereits zahlreiche Studien, die Dehaenes und von Asters Modelle der Zahlenverarbeitung und der damit verbundenen Annahme über die mentale Repräsentation numerischer Größen belegen. Zur Fragestellung wie diese räumlich-numerische und die auditiv verbale Repräsentation jeweils auf das Erlernen mathematischer Strategien auswirkt und welche Rolle sprachliche Förderung dabei spielt, gibt es hingegen nur wenige Studien.

Mayer (2016) gibt in der Projektbeschreibung zum Thema „Zusammenhänge zwischen sprachlichen Fähigkeiten und mathematischen Kompetenzen“ eine Längsschnittstudie von Fazio (1999) an, bei welcher Kinder mit Sprachförderbedarf bereits im Vorschulalter eine defizitäre verbale Zählkompetenz zeigten.

Lorenz (2005) sieht die Erklärung hierfür unter anderem in einer mangelhaften Sprachperzeption, einem eingeschränkten Symbolverständnis und Problemen in der auditiven Wahrnehmungsverarbeitung. Auch Röhm (2020) führt signifikante Zusammenhänge zwischen Sprachkompetenzen und mathematischen Basiskompetenzen bei Kindern im Vorschulalter an.

Grissemann und Weber (2000) gehen davon aus, dass Defizite auf der lexikalischen und der syntaktischen Sprachebene zu Problemen beim mathematischen Lernen führen können. Hohe (fach-)sprachliche Anforderungen auf Satzebene enthalten nach Weis (2013) häufig Nominalisierungen, welche in der Alltagssprache sehr selten vorkommen oder Passivsatzstrukturen, die erst zum Ende der Grundschulzeit vollständig erworben werden.

Maier und Schweiger (1999) sehen in der Sprache ein, das Modell ergänzendes, modifizierendes und korrigierendes Mittel und betonen die Bedeutung für die mathematische Begriffsbildung.

Prediger und Fröhlich (2008) nennen den Aufbau fachsprachlicher Kompetenz, als auch den sprachlichen Austausch über mathematische Ansätze und Lösungswege, als notwendige Bestandteile eines kommunikationsanregenden Mathematikunterrichts.

Nolte (2007) sieht Sprache als Möglichkeit Wissen zu ordnen und als notwendiges Mittel um das Verstehen überprüfen zu können.

In der vorliegenden Arbeit wird der Frage nachgegangen, welchen Stellenwert die Vermittlung verbal-strategischer Kompetenzen im Mathematikunterricht einnehmen sollte. Die dafür angewendeten Interventionen dienen der Steigerung der verbal-strategisch beziehungsweise der räumlich-numerisch Kompetenz und sollen so eine differenzierte Auswertung der unterschiedlichen Effekte auf die mathematische Problemlösefähigkeit ermöglichen.

Der Stellenwert der verbal-numerischen Kompetenz wird somit durch Kontrastierung mit der räumlich-numerischen Kompetenz erhoben.

Die Auswertung des gewählten Messwiederholungs-Designs erfolgt über eine Varianzanalyse (ANOVA), um so die Intensität des Trainingseffekts zu messen.

Die erwarteten Ergebnisse sollen den Effekt des verbal-strategischen Trainings auf die mathematische Problemlösekompetenz belegen.

Die Arbeit beschäftigt sich im ersten, theoretischen Teil mit den Grundlagen des Lernens und den Aspekten der sprachlichen und mathematischen Entwicklung. Das erste Kapitel beleuchtet dabei zuerst die neurobiologischen Grundlagen des Lernens, danach folgt die Auseinandersetzung mit entwicklungspsychologischen und pädagogischen Lerntheorien.

Im zweiten Kapitel wird neben der Beschreibung des kindlichen Spracherwerbs und der Sprachverarbeitung, Erklärungsmodelle zum Spracherwerb diskutiert.

Das anschließende Kapitel beschäftigt sich mit mathematischen Kompetenzerwerbmodellen und den neurowissenschaftlichen Grundlagen des Rechnens.

Das vierte Kapitel führt die vorangegangenen Themen Sprache und Mathematik zusammen und zeigt deren Zusammenhänge auf.

Der zweite Teil der Arbeit umfasst den empirischen Teil und beinhaltet die Beschreibung, Durchführung und Auswertung des Forschungsvorhabens. Die gewählten Methoden und Messinstrumente, sowie das Design werden beschrieben, die gesetzten Interventionen ausgeführt und die erhobenen Daten anhand von Schaubildern verdeutlicht. Den Abschluss bildet die Diskussion der Auswertung der erhobenen Daten und die Zusammenfassung der Ergebnisse.

1 Lernen: Neurobiologie, Psychologie und Pädagogik

1.1 Neurobiologische Grundlagen des Lernens

Um erfolgreich Lernen zu können, bedarf es bestimmter kognitiver Voraussetzungen, wobei individuelle Unterschiede die Möglichkeiten zeitlich und auch inhaltlich mitbestimmen.



Abbildung 1: INVO-Modell: INdividuelle VOraussetzungen erfolgreichen Lernens, Hasselhorn & Gold, 2009, S. 68

Hasselhorn (2011) sieht in diesem Modell die selektive Aufmerksamkeit im Vorschulalter von bedeutender Rolle. Dabei soll einerseits über die Diskriminationsfähigkeit gefiltert werden, welche Information vorrangig oder bedeutend ist und andererseits muss eine Zuteilung bezüglich der zu Verfügung stehenden Kapazität erfolgen.

Für das schulische Lernen ist es das Arbeitsgedächtnis, welches Informationen zeitlich begrenzt gespeichert zur Verfügung stellt und einen Vergleich beziehungsweise die Ver- und Bearbeitung der Inhalte ermöglicht. Die 3 Teilkomponenten des Arbeitsgedächtnisses, Phonologische Schleife, visuell-räumlicher Notizblock und zentrale Exekutive entwickeln ihre volle Funktionsweise teilweise erst im Schulalter. So ist zum Beispiel der Prozess des inneren Nachsprechens als Teil der Behalteleistung des phonologischen Speichers erst im Alter von 5 Jahren feststellbar.

Vorwissen ist nach Sodian (2002) im frühen Kindesalter vornehmlich handlungsbasiert später an Bilder gekoppelt vorhanden. Die *enaktiven* und *bildhaften* Repräsentationen werden zunehmend von *sprachlich-symbolischen* abgelöst oder sind zeitgleich in mehreren Formen vorhanden.

Für das Abspeichern von Wissen ist nicht ein bestimmtes Hirnareal lokalisierbar, sondern ein neuronales, interaktives Netzwerk zuständig. Einzelnen Bereichen des Gehirns können jedoch bereits bestimmte Aufgaben in diesem Netzwerk zugeschrieben werden, zum Beispiel dient der laterale Temporallappen der Speicherung, während der mediotemporale Anteil des Hippocampus der Aufnahme, der sogenannten Enkodierung, neuer Informationen dient.

Heidler (2013) beschreibt die, von der Hirnphysiologie unabhängige, Einteilung in *Kurzzeitgedächtnis*, *Langzeitgedächtnis* und *sensorisches Gedächtnis*, welche auf einer zeitlichen beziehungsweise inhaltlichen Dimension, sowie auf der Verarbeitung der Informationen beruht.

Je nach Dauer der Speicherleistung, der Haltezeit, wird unterschieden zwischen:

- Ultrakurzzeitgedächtnis,
- Kurzzeitgedächtnis,
- Arbeitsgedächtnis und
- Langzeitgedächtnis.



Abbildung 2: Zeitliche Dimension der Gedächtnisleistung, Gruber, 2011, S. 9

Hinsichtlich der Form der Verarbeitung wird zwischen Aufnahme, Einspeicherung, Festigung und Abruf unterschieden.

Die inhaltsabhängige Unterscheidung beschreibt

- das episodische Gedächtnis, welches autobiographische Inhalte speichert,
- das semantische Gedächtnis, zur Speicherung von Bedeutungen,
- das explizite Gedächtnis, für bewusste, intentionale Speicherinhalte bzw. deklaratives Wissen,
- das implizite Gedächtnis, für das Handlungswissen, das sogenannte prozedurale Wissen.

1.1.1 Langzeitgedächtnis

Buchner (2006) unterscheidet bei der inhaltsabhängigen Unterteilung der Leistungen des Langzeitgedächtnisses zwischen *explizitem* und *implizitem* Gedächtnis.

Das explizite Gedächtnis, auch als *deklaratives System* bezeichnet, speichert autobiographisches Wissen im *episodischen Speicher* ab. Persönliche Erinnerungen und Erlebnisse, sowie ihre zeitliche und räumliche Einbettung sind hier Inhalt.

Im semantischen Speicher werden Faktenwissen und das mentale Lexikon gespeichert.

Markowitsch (2006) führt an, dass Aktivierungen von Hirnarealen bei Abruf episodischer Gedächtnisinhalte im rechtem Temporalpol und inferolateralem präfrontalem Kortex abbildbar sind, Informationen aus dem semantischen Gedächtnis sind linkshemisphärisch in den gleichen Arealen lokalisiert.

Einigkeit über dieser Einteilung in episodisches und semantisches Gedächtnis besteht im wissenschaftlichen Diskurs jedoch nicht.

Der größte Teil gespeicherter Inhalte sind Erinnerung und Erfahrungen, über die man nicht berichten kann, die nichtdeklarativ sind. Dieses prozedurale Wissen beeinflusst nach Buchner (2006) unser Verhalten und Handeln, zum Beispiel dient es der Ausführung von Automatismen und Routinen.

Heidler (2013) führt als Aufgabe des Langzeitgedächtnisses die Enkodierung, die langfristige Einspeicherung, und Konsolidierung, die Festigung, von Inhalten und deren Bereitstellung an.

1.1.2 Arbeitsgedächtnis

Kognitive Leistungen erfordern meistens den Einsatz des Arbeitsgedächtnisses. Damit ist jener Gedächtnisprozess gemeint, bei dem Informationen aus dem Kurzzeit-, aber auch Langzeitgedächtnis für die Dauer einer Aufgabe aufrecht und abrufbar erhalten werden.

Ausgehend vom Mehrspeichermodell mit sensorischem, Kurzzeit- und Langzeitspeicher von Atkinson & Shiffrin aus dem Jahr 1968, entwickelten Baddeley & Hitch 1974 ihr *Arbeitsgedächtnismodell*.

Das Arbeitsgedächtnis verarbeitet dabei Informationen unter der Leitung der zentralen Exekutive mittels zweier Hilfssysteme.

Sprachlich-akustische Informationen werden laut Hasselhorn, Mähler, Grube, Büttner & Gold (2010) über die *phonologische Schleife* temporär behalten, bearbeitet und wiederholt. Der *visuell-räumliche Notizblock* speichert visuell und räumlich aufgenommene Informationen. Später wurde noch ein weiteres Hilfssystem ergänzt, der episodische Puffer, welcher multimodale Inhalte zu zusammenhängenden Episoden zusammenfügt und somit die Informationen der anderen Subsysteme zusammenführt.

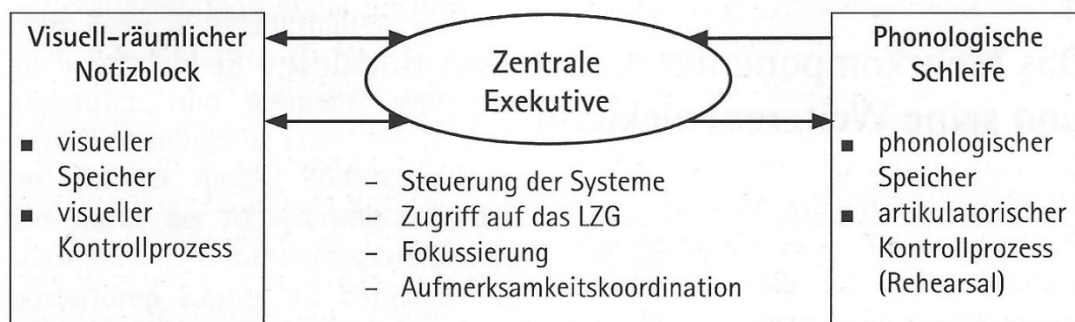


Abbildung 3: 3-Komponentenmodell nach Baddeley & Hitch, Heidler, 2013, S. 30

Das Modell bleibt gemäß Gruber (2011) jedoch die Erklärung schuldig, inwiefern Informationsinhalte aus dem Langzeitgedächtnis auf das Arbeitsgedächtnis Einfluss nehmen.

Neuroanatomisch sind die Systeme des Arbeitsgedächtnis in unterschiedlichen Arealen des Gehirns lokalisiert, welche Heidler (2013) wie folgt beschreibt:

- Zentral exekutive Leistungen sind vor allem im präfrontalen Kortex angezeigt.
- Das verbale Gedächtnis, die phonologische Schleife, hat seinen Sitz links parietal, Aktivierung bei phonologischer Speicherung, und temporo-frontal, im Broca-Areal. Hier ermöglicht das innere Wiederholen durch einen artikulatorischen Kontrollprozess, das sogenannte *Rehearsal*, die Verlängerung der Zugriffsdauer.

- Das visuo-spatiale Gedächtnis, der visuell-räumliche Notizblock, wird rechtshemisphärisch, annähernd analog zur phonologischen Schleife, aktiv und zusätzlich dazu anteriore Anteile des Okzipitallappens, welche mit visuellen Verarbeitungsleistungen assoziiert sind.

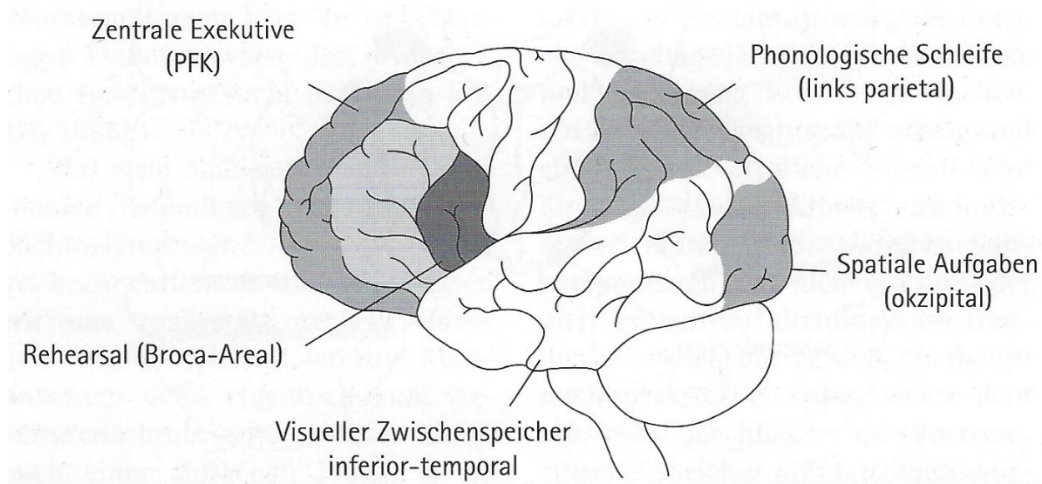


Abbildung 4: Neuronale Implementierung der Komponenten des Arbeitsgedächtnismodells nach Baddeley & Hitch, Heidler, 2013, S. 14

Dem modularen Modell von Baddeley & Hitch stellte Cowan im Jahr 1999 sein *Modell der eingebetteten Prozesse* gegenüber. Heidler (2013) führt hierzu an, dass das Arbeitsgedächtnis als temporär aktiver Teil des Langzeitgedächtnisses, mit Fokus auf die Aufmerksamkeitssteuerung, gesehen werden kann.

Der Aufmerksamkeitsfokus kann dabei nach innen oder außen gerichtet werden und über den Prozess der Orientierungsaktion entsprechende Speicherinhalte aus dem Langzeitgedächtnis aktivieren.

Die Zentrale Exekutive ist auch bei diesem Modell zuständig für die Kontrolle und Koordination, wobei die Aufmerksamkeitssteuerung nicht präfrontal, sondern parietal lokalisiert ist.

Nach Gruber (2011) ist an diesem Modell kritisch zu betrachten, dass es keine modalitätsspezifischen Aspekte der Verarbeitung enthält und der Begriff der Aktivierung nicht näher spezifiziert ist.

1.1.3 Sensorisches Gedächtnis

Die temporäre Speicherung von Reizinformationen und damit Schnittstelle zwischen Perzeption und mnestischer Funktion übernimmt gemäß Buchner (2006) das sensorische Gedächtnis. Die Speicherung der durch die Sinnesorgane aufgenommen sensorischen Information erfolgt jedoch nur für eine Zeitspanne von etwa 500 ms, weswegen auch von einem Ultrakurzzeitgedächtnis die Rede ist.

1.1.4 Gedächtnis und schulische Leistungen

Schulisches Lernen erfordert nach Schrader & Helmke (2010) auch immer Abruf von Faktenwissen, also von deklarativen Speicherinhalten. Ebenso spielt das Langzeitgedächtnis eine wichtige Rolle beim Informationsabruf zu automatisierten Fertigkeiten, wie dem Schreiben.

In Bezug auf das Arbeitsgedächtnis, scheint für die Lernfähigkeit die Kapazität des Speichers ausschlaggebend zu sein. Das Aufrechterhalten von Informationen ist für die korrekte Lösung von Aufgaben unumgänglich, so zum Beispiel beim Kopfrechen, beim Abschreiben oder Schreiben eines Satzes bei einer Ansage.

Eine bei Heidler (2013) zitierte Studie an Vorschulkindern von Alloway et al. aus dem Jahr 2005 ergab einen hohen prädiktiven Wert für schulische Leistungen durch verschiedene Arbeitsgedächtnisleistungen im Alter von vier bis fünf Jahren.

So steht der verbale Speicher in Verbindung mit den sprachlichen und auditiven Fähigkeiten. Für das Schreiben und Lesen lernen zeigt sich die phonologische Bewusstheit und die Kapazität entscheidend und mathematische Leistungen

stehen in engem Zusammenhang mit dem episodischen und phonologischen Speicher und dem visuo-spatialen Arbeitsgedächtnis.

Somit kann zusammengefasst werden, dass arbeitsgedächtnisspezifische Leistungen stets eine wichtige Rolle bei allen Lernprozessen spielen.

1.2 Lernen aus entwicklungspsychologischer und pädagogischer Sicht

Der Mensch ist sein ganzes Leben lang lernfähig und lernt auch jeden Tag etwas Neues hinzu.

Lern- und Bildungsprozesse sind Gegenstand entwicklungspsychologischer Forschung, wobei laut Keller, Trösch & Grob (2013) die Voraussetzungen und Veränderungen von Verhalten, Einstellungen, Fertigkeiten, Gefühlen und sozialer Interaktion Untersuchungsgegenstand sind.

1.2.1 Lerntheorien

Lerntheorien beschreiben und erklären hypothesengeleitet und modellhaft die komplexen Vorgänge beim Lernen. Pädagogik und Psychologie setzen sich dabei mit Verhaltensänderungen und kognitiven Reifungsprozessen auseinander, welche nicht auf angeborene Reflexe zurückzuführen sind.

Nach Petermann & Petermann (2018) werden 4 verschiedene Lernprozesse unterschieden, das nicht-assoziative, das assoziative, das kognitive und das soziale Lernen.

1.2.1.1 Nicht assoziatives Lernen

Beim nicht assoziativen Lernen finden Lernvorgänge auf sensorischer Ebene statt, es kommt zu keinerlei Verknüpfungen mit anderen Reizen.

Zu dieser sehr ursprünglichen Art des Lernens zählen Habituation und Sensitivierung. Unter Habituation wird gemäß Petermann & Petermann (2018, S. 70) das „Nachlassen einer (Orientierungs-)Reaktion auf wiederholt dargebotene Reize“ bezeichnet.

Bodenmann, Perrez & Schär (2016) führen an, dass das Nachlassen der Intensität dieser Reaktion auftritt, wenn dem Reiz keine neuen Informationen mehr entnommen werden können.

Dabei wird nicht die allgemeine Reizreaktion abgeschwächt, sondern die Veränderung der Reaktionsbereitschaft auf einen bestimmten, wiederkehrenden Reiz, welche nicht die Reaktion auf neue Reize beeinträchtigt. Die Habituation ist neben der Häufigkeit eines Reizangebotes auch von der Spontanerholung, welche nach längeren Abständen zwischen gleichen Reizangeboten erfolgt, und den zeitlichen Abständen zwischen den Wiederholungen der Reize abhängig.

Entsprechend kognitiven Erklärungsmodellen führen die wiederholten Reize zur Ausbildung mentaler Repräsentationen, welche einen Abgleich mit späteren Reizen ermöglicht und zu einer Blockade der Orientierungsreaktion führen, wenn dazu bereits Gedächtniseinträge vorhanden sind.

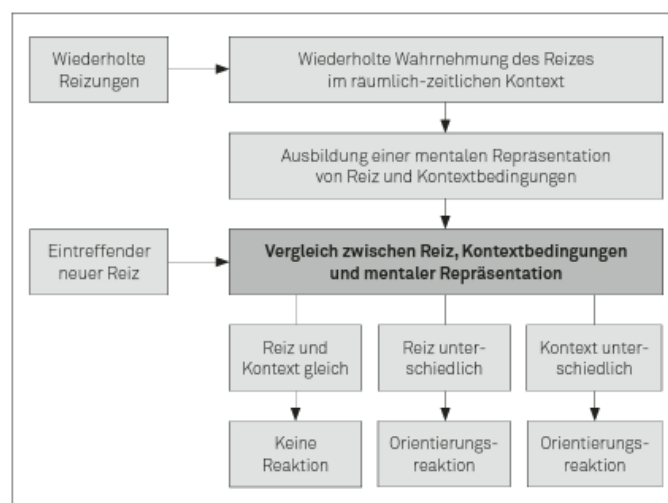


Abbildung 5: Kognitiver Erklärungsansatz der Habituation, Petermann & Petermann, 2018, S. 75

Studien zur Habituation bei Säuglingen und Kindern geben Hinweise auf frühkindliche Kompetenzen zu höheren kognitiven Prozessen der Informationsverarbeitung, zum Beispiel zum Prozess der Kategorisierung, wenn zwischen bekannten und unbekanntem Reizen unterschieden wird bzw. die Reaktionen der Säuglinge unterschiedlich ausfallen.

Groves und Thompssens (1979) Modell der Dualen-Prozess-Theorie sieht zwei unabhängige Reaktionen auf Reizwiederholungen vorliegen, neben der Habituation kommt es hier noch zur Sensitivierung.

Die Definition für Sensitivierung ist gemäß der Petermann & Petermann (2018, S. 72) „die Zunahme einer Reaktion auf einen Reiz als Folge der wiederholten Präsentation“. Somit kann es statt einer Abschwächung auch eine Intensivierung der Reizreaktion zeigen, wenn zum Beispiel ein Zustand hoher physiologischer Aktivierung vorliegt. Die Intensität des dargebotenen Reizes bestimmt dabei, wie stark die Sensitivierung ausfällt und wie verzögert die Habituation eintritt.

1.2.1.2 Assoziatives Lernen

Beim assoziativen Lernen kommt es zum Erwerb von Zusammenhängen zwischen Reizen oder zwischen Verhalten und daraus resultierender Konsequenz, zu klassischer bzw. operanter Konditionierung.

1.2.1.2.1 Klassische Konditionierung

Die klassische Konditionierung geht auf Iwan Pawlow aus dem Jahr 1907 und John Watson, Begründer des Behaviorismus, von 1913 zurück.

Diese Theorie geht davon aus, dass ein neutraler, unerwarteter Stimulus (konditionierender Reiz) an einen für den Organismus bedeutsamen Reiz (unkonditioniert) gekoppelt wird. Der neutrale Stimulus löst in Folge dieselbe Reaktion wie der ursprüngliche Reiz aus.

Bodenmann et al. (2016) führen folgende Bedingungen und Einflussfaktoren für diese Assoziation an:

- Kontiguität,
- Organismus-
- und Stimuluseigenschaften.

Die Kontiguität betrifft die Faktoren Raum und Zeit, die räumliche und zeitliche Nähe zwischen der Präsentation eines Reizes und der darauffolgenden Reaktion.

Petermann & Petermann (2018) geben an, dass der Lerneffekt am effektivsten ist, umso kürzer der Abstand zwischen Darbietung des zuerst präsentierten zu konditionierenden Reizes und dem nachfolgenden unkonditionierten Reiz ist oder wenn es einen sich überschneidenden Zeitintervall bei der Darbietung zwischen den beiden Reizen gibt.

Eine simultane Präsentation oder eine Präsentation des unkonditionierten Reizes vor dem konditionierenden Reiz, erwiesen sich als wenig effektiv.

Als weitere Determinanten für den Konditionierungsprozess führen Bodenmann et al. (2016) organismusspezifische Prädispositionen an, wodurch nicht jeder Organismus im gleichen Maße sensibel auf ein und denselben Reiz reagiert. Aber auch die Eigenschaften des Stimulus selbst sind von Bedeutung, wodurch er je nach Organismus selektiver und prägnanter aufgenommen werden.

Konditionierungsprozesse lassen sich noch ausweiten zu Konditionierungen höherer Ordnung, hierbei wird ein weiterer neutraler Stimulus an die Reaktion gekoppelt. Bei Generalisierungen kommt es zu Reaktionen auf dem konditionierten Stimulus ähnlichen Reizen.

1.2.1.2.1.1 Pädagogische Relevanz der klassischen Konditionierung

Für das schulische Lernen kann gemäß Petermann & Petermann (2018), sowie Bodenmann et al. (2016) die emotionale Konditionierung von Bedeutung sein. Zum einen kann eine positive Assoziation mit einer Lehrperson zur Kopplung auf das jeweilige Unterrichtsfach führen oder es kann eine Gegenkonditionierung erfolgen, wenn ein negativ besetzter Lerngegenstand durch emotional zugewandtes Verhalten der Lehrperson positiv besetzt wird.

Nach Edelman & Wittmann (2019) spielt vor allem die Lernmotivation im pädagogischen Alltag eine große Rolle. Lerninhalte werden hierfür von der Lehrperson mit einem positiven Aufforderungscharakter versehen und sprechen somit die Begeisterungsfähigkeit der Lernenden an, welche sich infolge mit den Lerninhalten motivierter beschäftigen.

1.2.1.2.2 Operante Konditionierung

Etwa zeitgleich mit Pawlow veröffentlichte Edward L. Thorndike, 1911, sein Effektesetz, welches die Basis für die Operante Konditionierung darstellte. Diese instrumentelle Konditionierung fußt auf dem Konzept des Lernens am Erfolg mit drei grundlegenden Lerngesetzen, Gesetz des Effekts, der Übung und der Bereitschaft. Petermann & Petermann (2018) merken dazu an, dass das Konzept des Lernens am Erfolg davon ausgeht, dass zeitlich kurze Abstände zwischen Reizen zu intensiveren Reaktionen führen, die Bereitschaft zum Lernen aufrecht sein muss und Reaktionen mit zufriedenstellendem Effekt am wahrscheinlichsten gezeigt werden. Somit hat nach Edelman & Wittmann (2019, S. 74), Thorndike „das Prinzip der Verstärkungstheorie entdeckt“.

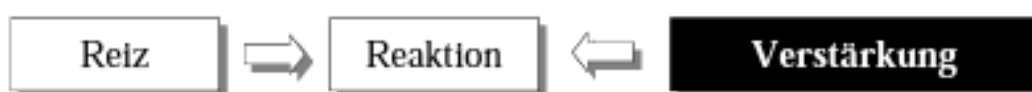


Abbildung 6: Theorie von Thorndike, Bodenmann et al., 2016, S. 99

Ab etwa 1930 führte Burrhus F. Skinner seine Studien zur Operanten Konditionierung durch wobei er im Gegensatz zu Thorndike auf eine gezielte Verstärkung des erwünschten Endverhaltens setzte.

Bei Bodenmann et al. (2016) findet man die Gegenüberstellung, welche die wesentlichen Unterschiede zwischen Klassischer Konditionierung und Operanter Konditionierung näher beschreiben.

Art des Lernens:

Die klassische Konditionierung setzt auf einen Lerneffekt aufgrund von Reiz und Reaktion, wohingegen die Operante Konditionierung das Lernen aus einer Konsequenz im Mittelpunkt sieht.

Art der Kontingenzen und Reizdarbietung:

Bei der klassischen Konditionierung führt ein vorausgehender konditionierender Reiz zu einer Reaktion, beim Operanten Prozess ergeben sich Reaktionen aus vorhergehenden Reizen und verhaltenssteuernden, nachfolgenden Konsequenzen.

Art der Reaktion:

Den physiologischen, unwillkürlichen Reaktionen beim Reiz-Reaktions-Lernen steht ein absichtlich ausgelöstes Verhalten gegenüber, auf das Lernen durch Konsequenzen folgt.

Der Unterschied zwischen Thorndikes und Skinners Ansatz wird dadurch beschrieben, dass Skinner positive und negative Verstärker einsetzte und nicht nur Bestrafung und Belohnung wie Thorndike, um das gewünschte Verhalten zu erzielen. Dabei muss nach Petermann & Petermann (2018) der verstärkende Reiz zeitnah an das erwünschte Verhalten erfolgen bzw. mit diesem in Verbindung gebracht werden können.

Verstärkende Reize können sowohl positiv, angenehm, als auch negativ, unangenehm, sein. Bei positiven Verstärkern handelt es sich um direkte

Belohnungen, welche materieller, sozialer oder handlungsorientierter Natur sein können und entweder direkt, als primäre Verstärker oder als sekundärer Verstärker. Als sekundärer Verstärker fungiert ein zumal neutraler Reiz, welcher durch primäre Verstärkung selbst zum Verstärker wird.

Verstärkerart	Beispiele
<i>Materielle Verstärker</i>	Geld, Süßigkeiten, Spielsachen, Blumen, Kleidung
<i>Soziale Verstärker</i> (Verstärkung durch angenehmen zwischenmenschlichen Kontakt)	Loben, Lächeln, aufmerksames Zuhören, Beifall klatschen, Zärtlichkeit vermitteln
<i>Handlungsverstärker</i> (Verstärkung durch angenehme Handlungen bzw. beliebte Verhaltensweisen)	Spielen, Fernsehen, Lesen, Musik hören

Abbildung 7: Operante Verstärker, Petermann & Petermann, 2015, S. 42

Edelmann & Wittmann (2019) sehen Verstärker als durch ihre Auswirkung definiert und sollen somit Wahrscheinlichkeit und Intensität des erwünschten Verhaltens steigern. An dieser Stelle wird auch die Unterscheidung zwischen kontinuierlichen und intermittierenden Verstärkern vorgenommen. Kontinuierliche Verstärker dienen dazu, selten auftretende Verhaltensmuster aufzubauen bzw. zu bestärken. Intermittierende Verstärkung findet unregelmäßig statt, wodurch es zu einem andauernden Lernerfolg kommen soll.

Bei Bodenmann et al. (2016) werden als Beispiele für negative Verstärker Tadel und Strafen bis hin zu Schmerz genannt, welche zu einer verringerten Auftretungswahrscheinlichkeit der verknüpften Verhaltensweise führen sollen. Es wird hierbei auch noch zwischen intrinsischen und extrinsischen Verstärkern unterschieden. Intrinsisch bedeutet das die Aussicht auf Erfolg „in der Sache selbst liegend“ ist, zum Beispiel Ideologien, Werte oder kognitive Befriedigung, extrinsische Verstärker wirken von außen, von der Umwelt her ein, hierzu zählen zum Beispiel soziale und materielle Verstärker, Lob, Zuwendung oder Wertgegenstände.

Ein positiver Verstärker und das Ausbleiben eines zuvor gesetzten negativen Reizes bewirken somit eine Konsolidierung einer Verhaltensweise, wohingegen das Entfernen eines positiven und Setzen eines negativen Stimulus, die Wahrscheinlichkeit für das kontingent gesetzte Verhalten reduzieren. Unter diesen Prozessen versteht man den Vorgang der Verstärkung.

Kasten 3.3: Verstärkungsmatrix		
	Darbietung	Entfernung
Positiver Stimulus	positive Verstärkung Folge: Reaktion ↑	indirekte Bestrafung Folge: Reaktion ↓
Aversiver Stimulus	direkte Bestrafung Folge: Reaktion ↓	negative Verstärkung Folge: Reaktion ↑

Abbildung 8: Matrix der Verstärkung nach Holland & Skinner (1971), Bodenmann et al., 2016, S. 109

Negative Verstärker in Form von Bestrafung birgt laut Petermann & Petermann (2018) immer die Gefahr in sich, dass es zu unerwünschten Auswirkungen auf Interaktion oder auch Emotionen, wie dem Auftreten von Ängsten oder Aggressionen, kommt. Ebenso ist die Wirksamkeit sehr umstritten, auch weil nicht jede negative Konsequenz immer im gleichen Maße als Bestrafung empfunden wird. Am wirksamsten zeigen sich Bestrafungen, welche direkt im Zusammenhang mit dem unerwünschten Verhalten stehen und somit einsichtig sind.

Verstärkungsansätze sollten auch immer so gewählt werden, dass nicht ein anderes unerwünschtes Verhalten als Ersatz dient, sondern erwünschtes Alternativverhalten gefördert wird.

1.2.1.2.2.1 Pädagogische Relevanz der operanten Konditionierung

Bodenmann et al. (2016, S. 95) plädieren für „Atmosphäre des Gelingens“, welche für Lernende häufige positive Verstärkung mit sich bringt und führen 3 Beispiele positiver Verhaltensmodifikation an.

- Tageszeugnisse

Bei diesem Verstärkerprogramm erhalten Lernende täglich Rückmeldung über ihr (Lern-)Verhalten, welches in Zusammenarbeit mit den Erziehungsberechtigten durch Belohnung positiv verstärkt wird, wenn ein bestimmtes Soll erfüllt ist. Somit kommen positive, extrinsische Verstärker zum Einsatz oder sie bleiben aus. Die Häufigkeit der Rückmeldungen wird zur weiteren Konsolidierung des erwünschten Verhaltens in weiterer Folge reduziert.

- Gruppenkontingenz-Programme

Hierbei werden Verstärker immer für die ganze Gruppe bzw. Klasse gesetzt mit dem Vorteil der einfacheren Umsetzung, weil keine Differenzierung vorgenommen werden muss. Als Beispiel wird angeführt, dass die Pause beginnen kann, wenn alle zusammengeräumt haben und leise sind.

Die nicht stattfindende Differenzierung kann aber auch dazu führen, dass die gesamte Gruppe aufgrund Einzelner einen Nachteil erfährt.

- Triple P

Beim „Positive Parenting Programm“ handelt es sich um ein Trainingsprogramm für Erziehungsberechtigte, welche positive Erziehungsmethoden, wie Lob und Anerkennung bzw. Belohnungssysteme, etablieren soll.

Bodenmann et al. (2016) führen an, dass operante Verstärkung zur Leistungsförderung, zur Förderung von Begabungen und Interessen und zur Konditionierung in sozialer Interaktion eingesetzt werden kann. So sind positive Empfindungen, wie Zuneigung oder Respekt, gegenüber Mitmenschen ebenso starke Verstärker sozialer Interaktion, wie Verhaltensweisen, die Interesse und Anerkennung zeigen. Im schulischen Kontext werde Beispiele wie Noten oder Zeugnisse als extrinsische Verstärker angeführt oder auch intrinsische, wie Neugier und Wissensdrang.

1.2.1.2.3 Zusammenfassung und Kritik

Die Theorien der klassischen und operanten Konditionierung weisen wie bereits angeführt einige Unterschiede auf, widersprechen sich nach Petermann & Petermann (2018) jedoch nicht, sondern decken unterschiedliche Bereiche des Lernens, vom einfachen, reflexartigen Lernen hin zu komplexeren Prozessen, ab.

Lernmodell	Vertreter	Assoziative Verknüpfung
Klassisches Konditionieren	Pawlow (1972) Watson (1930/1968) Guthrie (1935)	Verbindung von unkontingiertem und konditioniertem Reiz UCS – CS
Lernen am Erfolg	Thorndike (1932/1970)	Verbindung von Reiz und Reaktion bei positiver Konsequenz CS – CR (C+)
Operantes Konditionieren	Skinner (1951, 1969, 1971, 1973a, b, 1980)	Verbindung zwischen Hinweisreiz, Verhalten und Konsequenz S ^D – CR – C

Abbildung 9: Theorien zum assoziativen Lernen, Petermann & Petermann, 2018, S. 124

Die Grenzen der angeführten Modelle, vor allem bezogen auf die operante Konditionierung, fügen Rothgang & Bach (2021) kritisch an, bestehen darin, dass

nicht hinreichend geklärt wird, ob sich tatsächlich alle neuen, spontan auftretenden Verhaltensweisen nur durch externe Verstärkung manifestieren bzw. warum diese überhaupt auftreten.

1.2.1.3 Kognitives Lernen

Die kognitionspsychologische Lernforschung sieht das kognitive Lernen, als einen Prozess zur Aneignung von Wissen in der aktiven Auseinandersetzung mit der Umwelt.

Petermann & Petermann (2018, S. 126) definieren Lernen hierzu als „aktiven Vorgang des Wissenserwerbs und der Begriffsbildung, wobei weniger ein komplettes Neulernen als vielmehr ein Umstrukturieren bereits vorhandenen Wissens stattfindet.“ Dieses erworbene Wissen kann Sachverhalte und Begriffe betreffen, dann spricht man von *deklarativem* Wissen.

1.2.1.3.1 Deklaratives Wissen

Das deklarative Wissen ist explizites, direkt abrufbares Wissen. Nach Edelmann & Wittmann (2019) ist dies bewusstes Sachwissen, welches sprachlich ausgedrückt werden kann bzw. durch sprachliches Lernen erworben wird.

Dabei werden Begriffe als Bausteine des Wissens, sowie deren Inhalt und Bedeutung, durch aktive, kognitive Strukturierungsprozesse erworben.

Neues Wissen kann dann sinnvoll erworben werden, wenn es in bereits vorhandenen Strukturen verankert, assimiliert, wird. Dieses Anknüpfen an vorhandene mentale Repräsentationen ermöglicht nach Petermann & Petermann (2018) sowohl Organisation als auch Integration neuer Inhalte in das bestehende Wissensnetzwerk.

Mechanisches Lernen passiert hingegen zufällig bzw. durch Auswendiglernen und hat nur eine geringe Verarbeitungstiefe.

1.2.1.3.2 Prozedurales Wissen

Prozedurales Wissen bezieht sich auf das „Wie“, wie Probleme oder Aufgaben gelöst werden können, sowohl psychomotorische als auch kognitive. Es enthält nach Steinebach, Süss, Kienbaum & Kiegelmann (2016) somit auch die „Anleitung“ dafür, wie mit dem deklarativen Wissen umzugehen ist bzw. umgegangen werden kann.

1.2.1.3.3 Mentale Repräsentationen

In Bezug auf das Verhalten gehen kognitive Lerntheorien nicht von einer reinen Reizabhängigkeit aus, sondern von einer Steuerung durch Denk- und Entscheidungsprozessen. Mentale Repräsentationen stehen als Bindeglied zwischen Umweltreiz und Reaktion und führen laut Petermann & Petermann (2018) so zu innerer Einsicht, welche nur marginal von außen steuerbar ist.

Die Theorie zum Lernen durch Einsicht geht auf Wolfgang Köhler (1921) zurück, dessen Studien sich mit dem Problemlöseverhalten von Affen beschäftigten. Hierbei wurden vor der Lösung einer Aufgabe Denkphasen beobachtet, es erschien somit so, als ob die Affen zu einer Einsicht in Bezug auf die Problemstellung gelangt wären.

Petermann & Petermann (2018, S. 130) definieren Einsicht als „plötzlich eintretende Erkenntnis des Zusammenhangs zwischen Elementen einer Problemsituation.“

In Abb. 10 wird der Prozess des Lernens durch Einsicht dargestellt, welcher sich in drei Phasen vollzieht.

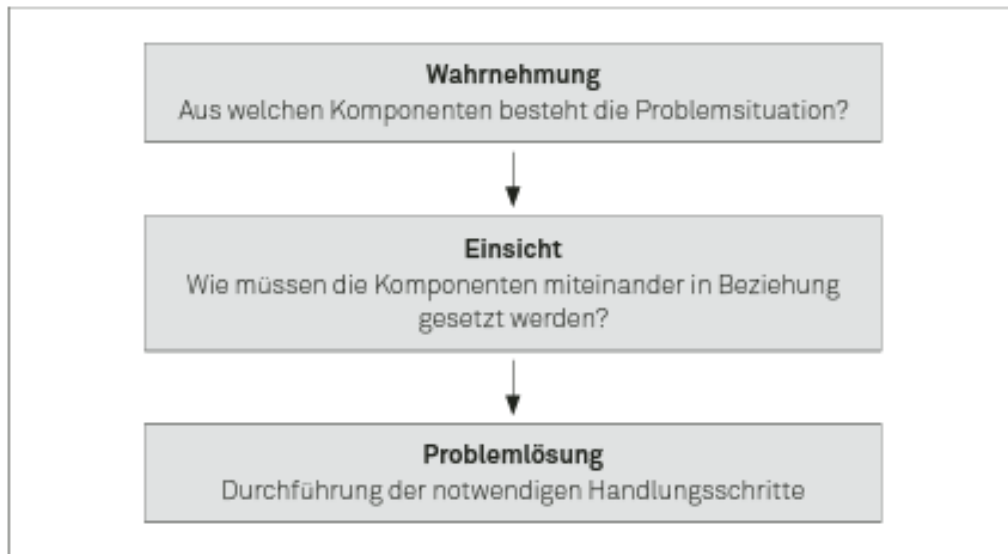


Abbildung 10: Lernen durch Einsicht, Petermann & Petermann, 2018, S. 131

Bevor Zusammenhänge hergestellt werden können, muss die Problemstellung wahrgenommen und deren Struktur erfasst werden. Wenn die Beziehungen der Elemente erfasst sind, kann zielgerichtet die Lösung vollzogen werden und in Folge die Lösungsstrategie auf andere, ähnliche Problemstrukturen übertragen werden.

1.2.1.3.4 Pädagogische Relevanz der Theorie des kognitiven Lernens

In Bezug auf die schulische Begriffsbildung führen Edelmann & Wittmann (2016) an, dass von den spezifischen Voraussetzungen ausgehend, aus subjektiven Begriffen intersubjektive, somit allgemein erkenn- und nachvollziehbare, Begriffe zu generieren sind. Das Erfassen semantischer Inhalte und die Einbettung in kognitive Strukturen ist für das Vermögen neue Begriffe anwenden zu können unabdingbar, auch um sie in weiterer Folge differenzierbar zu machen, zu kategorisieren, sowie Wortfamilien und -felder zu erfassen.

Selbstständiges Problemlösen und nicht nur reine Wissensvermittlung stehen gemäß Bodenmann et al. (2016) im Zentrum kognitiver Lerntheorien.

Nach dem PADUA-Modell von Aebli (2019) vollzieht sich Unterricht, welcher sich auf die problemlösende Wissensaneignung fokussiert, in vier Schritten:

- alltagsbezogene, lebenspraktische Problemstellung durch die Lehrperson, wobei Vorwissen der Lernenden aktiviert werden soll,
- Aufbau von Verknüpfungen zwischen neuen Einsichten und Vorwissen durch zielführende Anregungen,
- Durcharbeiten der verschiedenen Aspekte eines Problems, führen zu einem variableren Einsatz der neuen Wissensstrukturen,
- beim Üben und Wiederholen wird das erworbene Wissen automatisiert und gefestigt,
- durch Anwendung wird das Gelernte auf andere Problemstellungen übertragen.

1.2.1.4 Soziale Lerntheorien

Die Ansätze zum sozial-kognitiven Lernen beziehen sich laut Petermann & Petermann (2018) auf Lernprozesse welche durch Lernen am Modell, im Kontext mit der sozialen Umwelt, stattfinden.

Die Ansätze von Julian B. Rotter und Martin E. P. Seligmann orientieren sich sehr an den Theorien der operanten Konditionierung, wobei hier nicht durch

Verstärkung, sondern durch die Kontrolle darüber und die Vorstellungen und Erwartungen in Bezug auf Ereignisse gelernt wird.

Lernen durch Beobachtung steht im Fokus der sozialen Lerntheorie von Albert Bandura, welche dieser 1977 publizierte. Das Beobachten ist laut Bodenmann et al. (2016, S. 230) eine „stellvertretende Erfahrung“.

Das Beobachtungslernen vollzieht sich dabei in zwei Phasen, der Aneignungs- und der Ausführungsphase.

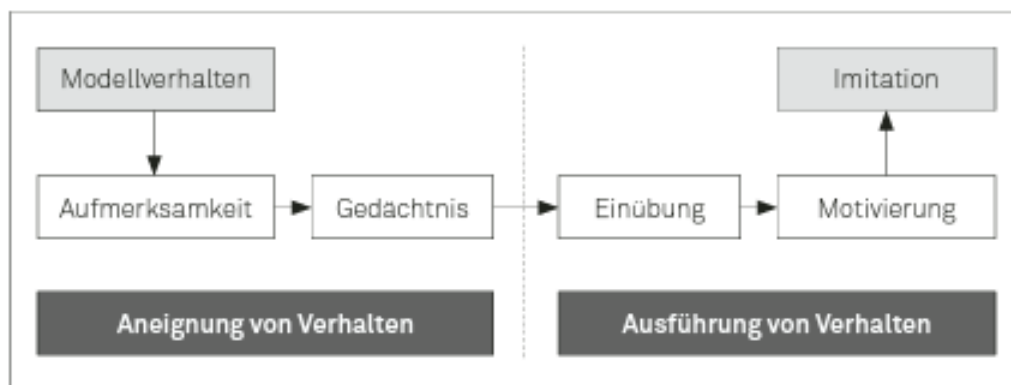


Abbildung 11: Phasen des Beobachtungslernens nach Bandura, Petermann & Petermann, 2018, S. 154

Gemäß Petermann & Petermann (2018) werden in jeder Phase zwei Prozesse durchlaufen. In der Aneignungsphase muss zunächst durch Zuwendung der Aufmerksamkeit des Beobachters das Modell erkannt werden.

Die Aufmerksamkeitszuwendung ist umso wahrscheinlicher

- je mehr das Modell persönliche Betroffenheit auslöst,
- je größer die emotionale Bindung ist,
- je ähnlicher es dem Beobachter in Bezug auf Fähigkeiten und sozialen Status ist,
- je glaubhafter es ist,
- je bewältigbarer und leichter erfassbar es ist.

Auf Seiten der beobachtenden Person spielen die Aktivierung, die Wahrnehmungsfähigkeit, das Interesse, Vorerfahrung und Einstellung, sowie eine positive Einstellung gegenüber dem beobachteten Verhalten eine Rolle.

Die beobachtete Situation kann in Bezug auf Komplexität, Widerspruchsfreiheit und zeitlicher Abgrenzung entscheidende Voraussetzungen mit sich bringen.

Der zweite Prozess in der Aneignungsphase betrifft laut Bodenmann et al. (2016) Gedächtnisprozesse. Hierbei müssen Informationen durch verbale oder symbolisch kodierte Repräsentationen gespeichert und mit vorhandenen kognitiven Strukturen verknüpft werden. Wiederholungen führen wiederum zur Festigung der erlernten Verhaltensweisen.

In der Ausführungsphase kommt es erst durch diese Wiederholungen, den sogenannten motorischen Reproduktionsprozessen, zu einer Verbesserung in der Ausführung, da das Beobachten allein nicht ausreicht, um eine Handlung mit entsprechender Qualität ausführen zu können.

Verstärkungsprozesse haben wie bei den klassischen Lerntheorien motivationalen Charakter, hier jedoch auf die Quantität der Wiederholungen, welche sich auf das Modellverhalten manifestierend auswirken. Nach Petermann & Petermann (2018) wirkt auch eine auf das Modell wirkende Verstärkung für die beobachtende Person verstärkend, Bestrafung des Modells wirkt sich ebenso abschreckend auf den Beobachtenden aus. Eine emotionale Bindung zwischen Modell und beobachtender Person kann ebenfalls zur Nachahmung animieren.

Wie in den Ansätzen von Rotter und Seligmann geht auch Bandura von einer Ergebniserwartung aus, führt aber fort, dass Lernende Erfolg am ehesten erwarten, wenn ein bestimmtes Maß an Selbstwirksamkeit gegeben ist.

Diese Selbstwirksamkeit ist aber auch selbst Produkt eines Lernprozesses und nicht angeboren. Nach Petermann & Petermann (2018) kann die eigene Wirksamkeit durch Konfrontation gezielt gewählter, herausfordernder aber bewältigbarer Aufgaben gefördert werden.

Damit die Bereitschaft zum Lernen besteht, muss nun eine Person von den eigenen kognitiven und motorischen Voraussetzungen überzeugt sein, damit es auch zu einer notwendigen Anstrengungsbereitschaft kommt.

1.2.1.4.1 Pädagogische Relevanz sozialer Lerntheorien

Modelllernen ist eine sehr ökonomische und meist schnelle Form des Erlernens von Verhaltensweisen, da das erlernte Muster auch auf andere Situationen übertragbar ist. Lehrpersonen nutzen diese Art des Lernens, indem sie sich als Modell, als Vorbild, präsentieren, aber auch symbolische, Lernende bzw. Kinder ansprechende, Figuren können als Modell zum Einsatz kommen und erleichtern die Identifikation.

Die nach Bandura & Walters (1963) bei Edelman & Wittmann (2019) beschriebenen Lerneffekte betreffen neben dem modellierenden Effekt aber auch einen hemmenden oder enthemmenden Effekt, nach dem Prinzip der Belohnung und Bestrafung. Lehrpersonen können erwünschtes, angemessenes Sozialverhalten, Problemlösen und auch handlungsleitende Denkprozesse modellieren.

1.2.1.4.2 Selbstgesteuertes Lernen

Die Notwendigkeit der Selbstwirksamkeit als entscheidenden Faktor für den Lernerfolg findet vor allem in Unterrichtsmodellen mit selbstgesteuertem Lernen oder kooperativem Lernen Wiederhall. Die Abschnitte zum kooperativen Lernen werden aufgrund der Bedeutung für diese Arbeit in einem eigenen Kapitel erfasst.

Edelman & Wittmann (2019, S. 208) definieren selbstgesteuertes Lernen als „eine Form des Handelns mit dem Ziel, Wissen zu erwerben“, bei der die Hauptlernaktivität beim Lernenden liegt. Konrad (2019, S. 27) führt an, dass die Lernenden dabei „Kontrolle über ihr eigenes Lernen haben“.

Zu Beginn dieses Prozesses steht die Entscheidung über die Lernziele und das Ausmaß der einzusetzenden Ressourcen. Die Planung, wie die angestrebten Ziele erreicht werden können, die Handlungsplanung, geht dann der eigentlichen

Aktivität voraus. Hier werden dann die geplanten Lernstrategien umgesetzt und nach Abschluss der Lernepisode evaluiert, um den Erfolg zu überprüfen.

Stöger, Sontag & Ziegler (2009) geben über diese drei Phasen der Selbsteinschätzung, der Ableitung des Lernziels und der strategischen Planung in der Aktivitätsphase neben der Strategieanwendung noch das Strategiemonitoring und die Strategieanpassung an, zur „Überwachung“ der gewählten Strategien und Entscheidung, ob die Strategie beibehalten oder angepasst werden muss. In dieser Phase der Anpassung, kann die gewählte Strategie optimiert werden, stellt jedoch besonders junge Lernende oder Lernende, die die jeweilige Lernstrategie noch nicht als erfolgversprechend kennen gelernt haben, vor große Herausforderungen.

Im Kapitel Lernstrategien wird auf die verschiedenen Formen weiter eingegangen.

1.2.2 Lernstrategien

Friedrich & Mandl (2006, S. 1) definieren Lernstrategien als „jene Verhaltensweisen und Gedanken, die Lernende aktivieren, um ihre Motivation und den Prozess des Wissenserwerbs zu beeinflussen und zu steuern“.

Hellmich & Wernke (2009) sehen den Erwerb von Lernstrategien als ein elementares Bildungsziel der Grundschule. Die Bedeutung von lernstrategischen Kompetenzen wird dadurch begründet, dass sie den Lernenden ein selbstreguliertes Lernen mit selbstständiger Zielsetzung ermöglichen. Lernstrategien sind dabei weit über das schulische Lernen hinaus notwendiger Bestandteil eines lebenslangen Lernens.

1.2.2.1 Kognitive Lernstrategien

Kognitive Strategien dienen der Aufnahme, Verarbeitung, Speicherung, Verknüpfung und Anwendung von Informationen. Im Grundschulalter vermittelte kognitive Strategien sind etwa die Imagination, das Anknüpfen an Vorwissen oder das Erkennen von Sinnabschnitten.

1.2.2.1.1 Elaborationsstrategien

Beim Elaborieren sollen gemäß Martin & Nicolaisen (2015) kategoriale Zusammenhänge erfasst, logische Strukturen mit bestehenden Verbindungen verknüpft und so ein Netzwerk mentaler Repräsentationen aufgebaut werden.

Hierfür hilfreiche Strategien und Techniken sind laut Hellmich & Wernke (2009) das Generieren von Analogien oder die beispielhafte Darstellung abstrakter Inhalte. Nach Mandl & Friedrich (2006) werden Strategien unterschieden, welche dem tieferen oder nur oberflächlichen Verstehen von Inhalten dienen.

Im Unterricht werden Strategien zum Erfassen der Bedeutung etwa bei fächerübergreifendem Unterricht, beim Argumentieren von Lösungswegen, bei der Wiedergabe von neuen Inhalten mit eigenen Worten, beim Generalisieren von mathematischen Regeln oder beim abschnittsweisen Lesen von Texten angewendet.

1.2.2.1.2 Wiederholungsstrategien

Oberflächenstrategien kommen etwa bei Auswendiglernen oder bei Mnemotechniken (Eselsbrücken) zum Einsatz. Wiederholungsstrategien wirken gemäß Hellmich & Wernke (2009) durch wiederholtes Speichern und Abrufen

gleicher Informationen. Diese Technik findet zum Beispiel beim Festigen neuen Vokabulars im Fremdsprachenunterricht Anwendung, häufig wird auch noch das Einmaleins mittels Aufzählens der „Sätzchen“ memoriert.

1.2.2.1.3 Organisationsstrategien

Um komplexe Inhalte besser erfassen zu können, werden die enthaltenen Informationen auf ihre Wichtigkeit hin untersucht und entsprechend auf das Wesentliche reduziert. Die Organisation und Strukturierung neuer Inhalte kann in der Schule zum Beispiel durch Unterstreichen von Kernaussagen oder Schlüsselwörtern oder dem Verfassen von Überschriften zu Textabschnitten erfolgen. Auch das Anfertigen einer Mind Map, wobei verbale Informationen in grafisch-symbolische transformiert werden, stellt eine Organisationsstrategie dar.

1.2.2.2 Metakognitive Lernstrategien

Metakognitive Strategien sind Kontrollstrategien, welche Lernprozesse organisieren, steuern, koordinieren und evaluieren. Edelman & Wittmann (2015, S. 209) sprechen von einer „übergeordneten Instanz“ beim Wissenserwerb.

Friedrich & Mandl (2006) unterscheiden zwischen Strategien zur Selbstkontrolle und -regulation und solchen zur Wissensnutzung.

Selbstkontroll- und Selbstregulationsstrategien dienen der angemessenen Steuerung eines Lernprozesses in Bezug auf Handlungsplanung, Überwachung des Verständnisses der Inhalte, der Regulation der Herangehensweise und der anschließenden Bewertung. Hellmich & Wernke (2009) teilen die Phasen bei der metakognitiven Strategieanwendung zeitlich gesehen in vor, während und nach dem Lernprozess ein. Vorab planen die Lernenden ihre Vorgehensweise in

Bezug auf Ablauf und Zielsetzung. Während des Lernprozesses findet eine Überprüfung und gegebenenfalls eine Anpassung der gewählten Herangehensweise statt, um nach Abschluss der Lernphase zu überprüfen, ob das angestrebte Ziel erreicht wurde.

Wissensnutzungsstrategien kommen dann zu tragen, wenn neu gelernte Inhalte angewendet werden sollen bzw. ein Transfer des Wissens in eine andere Aufgabe gefragt ist. Friedrich & Mandl (2006) führen hierbei drei mögliche Aufgabentypen an, solche, die Wissenstransfer zur Problemlösung benötigen, das Verfassen von Texten, sowie das Argumentieren und Diskutieren in der sozial-interaktiven Auseinandersetzung.

1.2.2.3 Motivations- und Emotionsstrategien

Strategien, welche die Motivation, die Anstrengungsbereitschaft, die Aufmerksamkeit und die Fähigkeit zur Bewältigung von Misserfolgen betreffen, sind wichtige Voraussetzungen für erfolgreiches Lernen. Die Aktivierung der zuvor beschriebenen kognitiven und metakognitiven Strategien zeigt sich nach Friedrich & Mandl (2006) vom Vorhandensein von diesen motivationalen Faktoren abhängig. Neben der intrinsischen, inneren Motivation und der von äußeren Anreizen bestimmten, extrinsischen Motivation, spielt auch eine motivierende Lernumgebung eine bedeutende Rolle.

Edelmann & Wittmann (2019) sehen diese sogenannten sekundären Lernstrategien als Bedingungen, welche das Lernen nach eigenen Zielvorstellungen überhaupt erst möglich machen, dieses somit initiieren und aufrechterhalten.

Hellmich & Wernke (2009) geben an, dass zu diesen Strategien auch Formen des kooperativen Lernens zählen, welche in der sozialen Interaktion und durch wechselseitige Unterstützung einen sozio-emotionalen Motivationsfaktor innehaben.

1.2.3 Kooperatives Lernen

Ein Lernen am Modell, soziales Lernen, findet auch in Lerngruppe statt, wobei die Lernenden einander als Modell dienen. In der sozialen Interaktion sollte dieses Lernen kooperativ erfolgen, wodurch motivationale Faktoren meist am besten zum Tragen kommen.

1.2.3.1 Dimensionen des kooperativen Lernens

Nach Borsch (2015) ist das gemeinsame Ziel und eine positive Interdependenz, sowie individuelle Verantwortlichkeiten notwendig für gelingende Kooperation im Gegensatz zu herkömmlicher Gruppenarbeit.

kooperativ strukturierte Gruppenarbeit	herkömmliche Gruppenarbeit
<ul style="list-style-type: none">• positive Interdependenzen zwischen den Mitgliedern	<ul style="list-style-type: none">• keine Interdependenzen zwischen den Mitgliedern
<ul style="list-style-type: none">• individuelle Verantwortlichkeit für die eigene und die Leistungen aller Mitglieder	<ul style="list-style-type: none">• Verantwortlichkeit nur für die eigene Leistung
<ul style="list-style-type: none">• Mitglieder profitieren von den Erfolgen der anderen / echte Zusammenarbeit und gegenseitige Hilfen, um den Lernerfolg der anderen zu unterstützen	<ul style="list-style-type: none">• Mitglieder bearbeiten die Aufgaben ohne wechselseitige Verantwortung für die Lernerfolge der anderen
<ul style="list-style-type: none">• Betonung von Aufgabenerfüllung <i>und</i> guten sozialen Beziehungen	<ul style="list-style-type: none">• Betonung von Aufgabenerfüllung
<ul style="list-style-type: none">• Lehrperson achtet auf soziales Verhalten	<ul style="list-style-type: none">• Sozialverhalten kein Thema
<ul style="list-style-type: none">• Förderung sozialer Fertigkeiten	<ul style="list-style-type: none">• soziale Fertigkeiten werden vorausgesetzt
<ul style="list-style-type: none">• alle übernehmen Führungsaufgaben	<ul style="list-style-type: none">• Ernennung einer Führungsperson
<ul style="list-style-type: none">• Gruppen beobachten ihre Wirksamkeit	<ul style="list-style-type: none">• Gruppenprozesse werden nicht thematisiert

Abbildung 12: Kooperative vs. nicht-kooperative Lerngruppen nach Johnson & Johnson (1999), Borsch, 2015, S. 26

Hasselhorn & Gold (2013) und Borsch (2015) führen neben der positiven Interdependenz und der individuellen Verantwortlichkeit noch drei weitere Basiselemente des kooperativen Lernens an: förderliche Interaktion, kooperative Arbeitstechniken und reflexive Prozesse.

1.2.3.1.1 Positive Interdependenz

Kooperatives Lernen passiert dann, wenn wechselseitige Abhängigkeit bzw. Verantwortlichkeit zwischen den Mitgliedern der Gruppe besteht. Dies kann nur erreicht werden, wenn es sich um Aufgabenstellungen handelt, welche das Erreichen eines gemeinsamen Ziels voraussetzen. Neben einer solchen positive Zielinterdependenz, muss noch eine positive Rollen- und Belohnungsinterdependanz bestehen. Das bedeutet, dass einerseits alle Gruppenmitglieder anteilig individuelle Aufgaben übernehmen und dass alle belohnt werden. Nach Borsch (2015) kann auch die Gruppenidentität und ein kompetitives Setting mit anderen Gruppen förderlich sein.

1.2.3.1.2 Individuelle Verantwortlichkeit

Die individuelle Verantwortlichkeit ist dann erkennbar, wenn neben dem Gruppenergebnis auch die individuellen Beiträge erkennbar bleiben und bewertet werden. So kann auch verhindert werden, dass Einzelne sich nicht beteiligen oder es kann individuelles Feedback und Hilfestellung geben werden.

Johnson & Johnson (2008) führen folgende Maßnahmen zur Förderung der individuellen Verantwortlichkeit an:

- kleine Lerngruppen,
- fortlaufende Beobachtung der Gruppenmitglieder,
- (unangekündigte) Reflexionsrunden zu den bisherigen Ergebnissen,

- Überprüfung der Lernzuwächse der einzelnen Gruppenmitglieder.

1.2.3.1.3 Unterstützende Interaktion

Individuelle Aufgabenverteilungen dürfen nicht das soziale Miteinander verhindern, in der Interaktion sollen gegenseitige Motivation und Reflexion der Arbeitsprozesse gewährleistet sein.

Hasselhorn & Gold (2013) führen dazu an, dass die Gruppenmitglieder ihre individuellen Aufgabenstellungen miteinander vergleichen, diskutieren und erklären können sollen, sowie unterschiedliche Sichtweisen erfahren und akzeptieren lernen sollen. Borsch (2015) betont dabei die Wichtigkeit von einem respektvollen Miteinander und dem Nutzen des Vorwissens aller Gruppenmitglieder, welches für alle Teilaspekte einer Aufgabe genutzt werden soll.

1.2.3.1.4 Kooperative Fähigkeiten und Arbeitstechniken

Für das Gelingen der Gruppenaufgabe müssen die Mitglieder zur (Zusammen-)Arbeit bereit sein und über kooperative Fähigkeiten und Techniken verfügen.

Nach Johnson & Johnson (2008) müssen die Lernenden dazu in der Lage sein, miteinander zu kommunizieren, diskursfähig sein, Führungsbereitschaft zeigen und ein vertrauensvolles Klima aufbauen können.

Zu den kommunikativen Fähigkeiten zählen, gemäß der Autoren, auf der Seite der Sprecherin und des Sprechers das Vermögen die eigenen Absichten und Ideen klar und eindeutig, verbal und non-verbal kongruent, zu transportieren. Auf der Seite der zuhörenden Person muss Bereitschaft zur wertungsfreien Paraphrasierung gegeben sein, um das Verständnis abzusichern. Erst danach

kann eine Interpretation stattfinden, wobei aber immer eine Bedeutungsübereinstimmung zu erreichen ist.

Offenheit, Akzeptanz und Wertschätzung führen zu einem vertrauensvollen Gruppenklima und lassen so auch Raum für Diskussionen und sachliche oder sogar persönlicher Kontroversen. Unterschiedliche Lösungswege, Meinungen und Ansichten können in der gemeinsamen Auseinandersetzung so auch immer wieder reflektiert, verworfen oder auch später reintegriert werden.

Dimension	Beschreibung
I Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> • klare und eindeutige Mitteilung von Ideen und Gefühlen • vollständige und spezifizierte Botschaften • Kongruenz sprachlicher und nichtsprachlicher Botschaften • Rückmeldung über Empfang von Nachrichten einfordern • möglichst genaue Paraphrasierung des Nachrichteninhalts • Beschreibung des Eindrucks des Empfängers von den Gefühlen des Senders • Interpretation der Nachricht des Senders und Aushandeln der Bedeutungsübereinstimmung
II Aufbau und Durchhalten eines Vertrauensklimas	<ul style="list-style-type: none"> • offenes Darlegen von Informationen • Ideen teilen • Akzeptanz • Unterstützung • kooperative Absichten
III Gruppenführung	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnose der notwendigen Arbeitsschritte • Flexibilität im Hinblick auf situative Anforderungen • Einsatz nach Stärken der Gruppenmitglieder • jeder kann Führungsaufgaben übernehmen
IV Behandlung von Kontroversen	<ul style="list-style-type: none"> • Kontroversen als Klärungsprozesse, nicht als Gewinn-Verlust-Bilanzen • Kontroversen ideenbezogen, nicht personenbezogen • Prozesshaftigkeit von Problemlösungen • Perspektivwechsel – Übernahme der Sicht des Anderen zum besseren Verständnis des anderen Bezugnehmens

Abbildung 13: Dimensionen kooperativer Fähigkeiten nach Johnson & Johnson, Borsch, 2015, S. 33

Während der Arbeitsphase soll abschnittsweise die Qualität und Effektivität reflektiert und so mögliche Änderungen oder Verbesserungen im Arbeitsprozess

bzw. das Fortführen erfolgsversprechender Verhaltens- und Arbeitsweisen zu ermöglichen bzw. sicher zu stellen.

1.2.3.2 Kooperative Unterrichtsmethoden

Bei Borsch (2015), Hasselhorn & Gold (2013) und Souvignier (2007, 2009) finden sich evidenzbasierte kooperative Unterrichtsmethoden, im Folgenden werden die Methoden Gruppenpuzzle und Gruppenrecherche detailliert beschrieben.

1.2.3.2.1 Gruppenpuzzle

Die Methode des Gruppenpuzzle geht auf den Sozialpsychologen Elliot Aronson (1978) zurück und wurde entwickelt, um Ausgrenzung in Gruppen entgegenzuwirken und somit zur Verbesserung sozialer Beziehungen in Klassengefügen. Wie kooperativen Methoden generell zugrundeliegend, soll von allen Gruppenmitgliedern eine Gruppenaufgabe gelöst werden, durch entsprechende Aufgabenverteilung trägt jedes Mitglied persönlich zum Erfolg bei. Souvignier (2009) beschreibt nach Clarke (1994) vier Phasen des Bearbeitungsprozesses:

- Die erste Phase stellt die Einführung in die jeweilige Thematik durch eine Lehrperson dar. In einer möglichst leistungsheterogenen Stammgruppe von 4 bis 6 Lernenden, trägt jede und jeder für ein Teilthema Verantwortung.
- In der Erarbeitungsphase treffen sich jene Mitglieder der verschiedenen Stammgruppe, welche dasselbe Teilthema bearbeitet haben, in sogenannten Expertinnen- und Expertengruppen. Hier wird gemeinsam

am Teilgebiet gearbeitet und der Transfer des neu erworbenen Wissens in die Stammgruppe geplant.

- In der Vermittlungsphase kehren die Expertinnen und Experten in ihre jeweilige Stammgruppe zurück und es findet dort ein Austausch zu den Teilgebieten statt und schafft so ein Wissen zum Gesamtgebiet. Dieses muss im Anschluss bei einer individuellen Überprüfung unter Beweis gestellt werden.
- Im letzten Schritt wird die Gruppenzusammenarbeit reflektiert, bevor die Lehrperson das Thema der Gruppenarbeit wieder in den Unterricht reintegriert und gegebenenfalls in einen größeren inhaltlichen Kontext setzt.

Borsch (2015) sieht in der Methode des Gruppenpuzzle alle Elemente des kooperativen Lernens integriert. Die positive Abhängigkeit ergibt sich aus den Teilaufgaben, welche wechselseitig vermittelt werden müssen und so zu einer hohen individuellen Verantwortlichkeit führen. Im Austausch über die Teilerkenntnisse unterstützen sich die Gruppenmitglieder gegenseitig, um in einem vertrauensvollen Gruppenklima die Verbindungen und Einsichten aus den Expertinnen- und Expertengruppen bestmöglich zu einem Gesamtergebnis zusammenzuführen.

Eine angeführte Studie von Borsch, Jürgen-Lohmann & Giesen aus dem Jahr 2002, welchen an acht Grundschulen durchgeführt wurde, zeigt, dass es einen klaren Vorteil der Gruppenpuzzle-Methode gegenüber herkömmlichem Unterrichten hinsichtlich des Wissenszuwachses gibt, welcher auch über die Zeit hinweg persistent ist. Die größten Schwierigkeiten hatten die Lernenden in der Vermittlungsphase, der Bedarf an unterstützenden Maßnahmen durch die Lehrpersonen war entsprechend hoch. Jedoch zeigte sich der positive Effekt in Bezug auf den Wissenszuwachs über alle Lernniveaus hinweg und bestand unabhängig zum Vorwissen über das bearbeitete Thema.

Das Design einer angeführten Studie von Slavin von 1995 fügte dem Ablauf des Gruppenpuzzles noch die Phase Gruppenbelohnung ein. Hierbei wird die erfolgreichste Gruppe, Summe der individuellen Lernzuwächse aus Prä- und

Posttest, belohnt. Die Ergebnisse der Studie von Slavin zeigen, dass es einen signifikanten Unterschied gibt, wenn Vergleiche zwischen Gruppenpuzzle mit und ohne Belohnung gezogen werden, der Lerneffekt ist mit Belohnung größer.

Die Methode des Gruppenpuzzle verlangt von Lehrpersonen ein hohes Maß an vorbereitenden und unterstützenden Maßnahmen. Umsichtige Interventionen, ohne inhaltlich in die eigenverantwortlichen Lernprozesse der Lernenden einzugreifen, erfordern, neben einer genauen Planung, eventuell auch immer wieder eine Anpassung der eingesetzten Materialien.

Die Herausforderungen seitens der Schülerinnen und Schüler, sieht Souvignier (2009) vor allem in der Eigenverantwortlichkeit in Bezug auf Kommunikation und Strukturierung.

1.2.3.2.2 Gruppenrecherche

Die Methode Gruppenrecherche nach Sharan & Sharan aus dem Jahr 1994 beruht gemäß Borsch (2015, S. 86), auf vier Elementen, „Entdecken lassen, Lerner-Lerner-Interaktion, Wissenskonstruktion durch Aushandeln und intrinsische Motivation“.

Eine Phase des individuellen Erfahrens und Entdecken ermöglicht in einer vorbereiteten Umgebung eigenständiges Handeln und somit die aktive Auseinandersetzung und Erforschung mit bzw. von Materialien und Lerninhalten und lösen so Lernerfahrungen aus.

In der kommunikativen Interaktion zwischen den Lernenden passiert wechselseitige Unterstützung und Hilfestellung.

In der Interaktion, dem Austausch miteinander, entstehen andere Sichtweisen und Wissen wird durch neue Einsichten konstruiert.

Das Mitgestalten und die Kontrollmöglichkeit beim Lernprozess fördern die intrinsische Motivation und der Wissenserwerb erfolgt aus einem inneren Antrieb heraus.

Die Gruppenrecherche gliedert sich in sechs Phasen:

Vorbereitung:

Zu Beginn steht die Vorbereitung der Lernumgebung mit entsprechenden Materialien und Unterlagen, welche für die Bearbeitung des jeweiligen Themas benötigt werden. Hierbei sollte die Lehrperson immer auch die jeweiligen individuellen Lern- und Leistungsniveaus der Schülerinnen und Schüler beachten.

1. Phase:

Zwischen Lehrperson und Lernenden gemeinsam erfolgt dann die Erarbeitung von Fragestellungen zu einem vielschichtigen Unterrichtsthema. Die Lernenden wählen ihre Arbeitsgruppe autonom anhand der entstehenden Fragenkomplexe aus.

2. Phase:

In den Kleingruppen wird die Aufgabe erörtert und Teilaufgaben entsprechend den individuellen Fähigkeiten und Präferenzen geplant. Die Lehrperson hat hier die Stellung einer Beraterin bzw. eines Beraters und unterstützt hinsichtlich Organisation und Beschaffung der Informationsquellen.

3. Phase:

In der eigentlichen Arbeitsphase wird nun recherchiert, Informationen gesammelt und die Ergebnisse dokumentiert, die Lehrperson gibt Hilfestellung bei der Auswertung und Verknüpfung von Informationen.

4. Phase:

Alle Gruppenmitglieder bereiten sich auf eine Präsentation ihrer Ergebnisse vor der Klasse vor. Damit die Rechercheergebnisse hinsichtlich der übergeordneten Fragestellung interpretiert werden können, steht die Lehrperson wieder unterstützend zur Seite.

5. Phase:

Die Gruppen präsentieren ihre Ergebnisse, die Zuhörenden sind dazu angehalten, die Nachvollziehbarkeit der Inhalte und die Beteiligung der einzelnen Mitglieder zu bewerten, die anschließende Diskussion wird von der Lehrperson geleitet.

6. Phase:

In der letzten Phase werden alle Gruppenarbeiten, die Zusammenarbeit und die individuellen Leistungen reflektiert und bewertet.

Hasselhorn & Gold (2013) merken zu dieser Methode an, dass zwar der Lernerfolg in den jeweiligen Teilgruppen belegt werden kann, jedoch ist die Wirkung des Transfers in die Großgruppe nicht eindeutig. Borsch (2015) fügt hinsichtlich der hohen Anforderungen an die Lernenden an, dass die Lernenden für das erfolgreiche Lernen mittels dieser Methode bereits über gute kooperative Fähigkeiten verfügen sollten.

1.2.3.3 Zusammenfassung

Sozial-interaktives Lernen ist nach Huber (2006) sowohl eine erfolgversprechende Unterrichtsmethode als auch Lernziel, welches den Erwerb der notwendigen Fähigkeiten und Fertigkeiten betrifft. Positive Effekte zeigen sich laut dem Autor auf den Ebenen Leistung, soziale Kompetenz und Persönlichkeitsentwicklung. In zahlreichen Studien konnte der erfolgreiche Effekt auf den Wissenszuwachs bestätigt werden, allerdings nur, wenn die Basiselemente, vor allem individuelle Verantwortlichkeit und Evaluation der Gruppenleistung, berücksichtigt wurden. Der Fokus auf das Gruppenergebnis birgt aber auch das Risiko in sich, dass Einzelne versuchen, ihre Verantwortung daran nicht mitzutragen und andere ein Mehr an Einsatz erbringen, sogenannte Trittbrettfahrerinnen und -fahrer bzw. die Leistungsträgerinnen und -träger. Eine weitere „Gefahr“ stellt die Erwartungshaltung dar. Wenn Lernende nicht von ihren

Fähigkeiten und Kompetenzen und somit von ihrer eigenen Wirksamkeit überzeugt sind, werden diese befürchten zu versagen.

Damit sich kooperative Kompetenzen entfalten können, müssen bestimmte Bedingungen gegeben sein, etwa Entscheidungsspielräume in Bezug auf Fragestellungen und Ressourcenverteilung, sowie gemeinsame und individuelle Verantwortlichkeit durch positive Abhängigkeiten.

2 Sprache: Erwerb und Verarbeitung

In diesem Kapitel werden die entwicklungspsychologischen und neurophysiologischen Grundlagen des Spracherwerbs und der Sprachverarbeitung erörtert.

Die Sprache des Menschen stellt ein Alleinstellungsmerkmal dar und zeugt von der genetischen und kognitiven Evolution des Menschen.

2.1 Neurobiologische Aspekte des Spracherwerbs

Neben den Organen des Artikulationstraktes, den Atem- und Hörorganen, benennt Dietrich (2007) das Gehirn als essenziell für die menschliche Fähigkeit zu sprechen und Sprache zu verstehen.

Das schon beim Embryo einsetzende Wachstum des neuronalen Netzwerkes mündet in der Spezialisierung bestimmter Hirnareale.

Die Spezifizierung gilt auch für den Bereich Sprache, wobei betont werden muss, dass es nicht ein bestimmtes Sprachzentrum im menschlichen Gehirn gibt, sondern viele verschiedene Bereiche die sprachlichen Funktionen beeinflussen. Böttger (2016) nennt zum Beispiel den Präfrontalen Kortex, der sich durch die Steuerung der Exekutiven Funktionen auch für die Planung von Sprachhandlungen und die, für den Spracherwerb notwendige, Konzentration verantwortlich zeigt.

2.1.1 Sprachzentren

Das *Broca-Areal*, lokalisiert frontal im motorischen Kortex, beschreibt Szagun (2016), als neben der Verarbeitung der Sprachmotorik, auch für die grammatikalische Informationsverarbeitung, zum Beispiel Satzbildung und Satzbedeutung, zuständig.

In diesem Areal ist auch eine Sonderform der Spiegelneuronen, die Echoneuronen, vorfindbar. Diese dienen nach Böttger (2016) der Anregung zur Nachahmung und sind in Bezug auf den kindlichen Spracherwerb höchst bedeutsam, da das Imitieren von Sprachlauten zu den Voraussetzungen für den Lautspracherwerb gilt.

Als sensorisches Sprachverarbeitungszentrum gilt, wie bei Friedrich, Bigenzahn & Zorowka (2000) erwähnt, das temporalparietal lokalisierte *Wernicke-Areal*, welches der semantischen Verarbeitung sprachlicher Inhalte, also dem Sprachverständnis, sowie als Speicher für den akustischen Wortklang, dient.

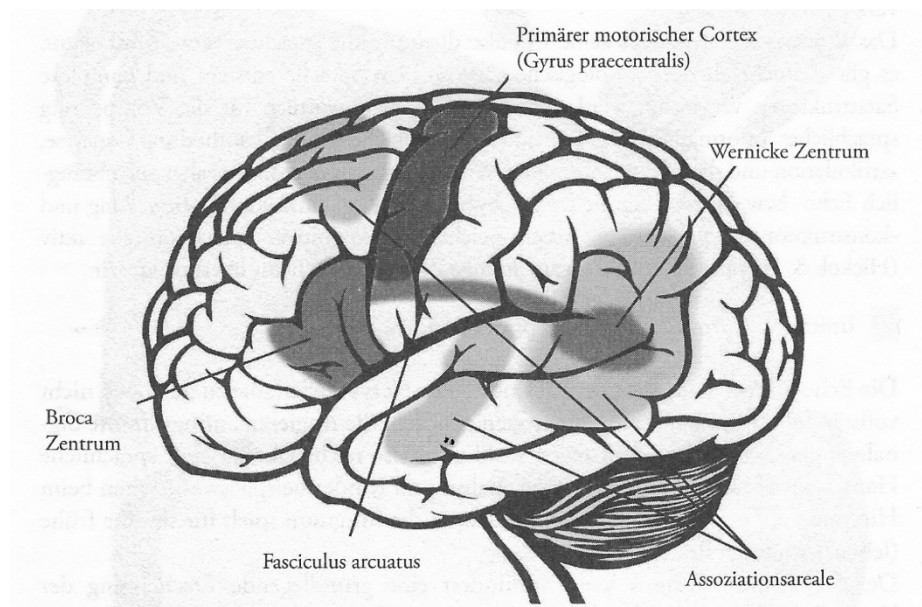


Abbildung 14: Sprachzentren, Böttger, 2016, S. 50

Die Verbindung zwischen diesen zwei wichtigen Sprachzentren besteht laut Böttger (2016) über Assoziationsfaserbündel, dem temporal-frontal verlaufenden *Fasciculus arcuatus*.

2.1.2 Hemisphärendominanz

Beim Erwachsenen sind die sprachrelevanten Hirnareale gemäß Szagun (2016) und Friedrich et al. (2000) lateralisiert angelegt, das heißt, Sprache wird nicht in beiden Gehirnhälften gleichermaßen verarbeitet, sondern vorrangig in der linken Hemisphäre.

Diese Spezialisierung der linken Gehirnhälfte lässt sich nach Zollinger (2008) schon bei der Geburt feststellen und ermöglicht schon Säuglingen zwischen Sprachlauten und anderen akustischen Eindrücken zu differenzieren.

Szagun (2016) führt Studien mit Kindern, die unilaterale Gehirnläsionen aufweisen, an, die jedoch zeigen, dass sich die erbrachten sprachlichen Leistungen, durchaus im Normbereich bewegen. Die Sprachentwicklung zeigt sich allerdings häufig verzögert, was wiederum für eine linkshemisphärische Präferenz der Sprache spricht.

2.1.3 Funktion des verbalen Arbeitsgedächtnis beim Spracherwerb

Das verbale Arbeitsgedächtnis unterstützt den Spracherwerb durch Speicherung und Verarbeitung verbaler Inhalte. Der Rehearsal-Prozess ermöglicht das Behalten dieser Inhalte bis zur phonologischen Chiffrierung, welche die

Speicherung mentaler Repräsentationen oder die Umwandlung in artikulationsmotorische Muster ermöglicht.

Heidler (2013) fasst jedoch zusammen, dass die Bedeutung des phonologischen Speichers für das Sprachverstehen größer ist als für die Sprachproduktion.

Ebenso spielt er eine wichtige Rolle für das Erlernen neuer phonologischer Muster und das phonologische Rekodieren beim Lesenlernen.

Bezüglich der Kapazität des verbalen Speichers als Vorhersagevariable für den Spracherwerb fasst Weinert (2010) Ergebnisse diverser Studien zusammen, die eine Korrelation im Speziellen für den Wortschatzerwerb ergaben.

2.1.4 Sprache und Kognition

Der frühe Spracherwerb setzt ohne Frage gewisse kognitive Prozesse voraus. Im Vorschulalter nimmt aber auch umgekehrt der Einfluss der Sprache auf die Kognition zu, so können Gedanken oder Erlebnisse durch Sprache geordnet, kategorisiert und so mental manipuliert werden.

Die gegenseitige Beeinflussung ist somit laut Nußbeck (2007) je nach Lebensalter, genauso wie nach Art der jeweiligen Prozesse und Komponenten, unterschiedlich zu betrachten.

2.2 Erklärungsmodelle zum Spracherwerb

Die Psycholinguistik beschäftigt sich mit der Thematik, wie Sprache erworben wird. Je nach Ansatz, Sprache als angeborene oder als erworbene Fähigkeit,

werden bei Zollinger (2008) drei Modelle unterschieden: Nativismus, Kognitivismus und Interaktionismus.

2.2.1 Angeborene Universalgrammatik

Der von CHOMSKY geprägte Nativismus geht von der Annahme aus, dass das Wissen über die grundsätzlichen grammatischen Prinzipien der menschlichen Sprache genetisch determiniert ist. Es handelt sich dabei um Universalien, formal-strukturelle und substanzuelle linguistische Konzepte, die allen Sprachen gemeinsam sind.

Kinder leiten im Laufe des Spracherwerbs aus dieser angeborenen *Universalgrammatik* die Regeln über die Grammatik ihrer Sprache ab.

Der Input von außen, die Umwelt, spielt laut Klann-Delius (2008) und Kauschke (2012), dabei nur die Rolle des Auslösers.

Kritik an dieser Theorie basiert unter anderem bei Szagun (2016), Klann-Delius (2008) und Kauschke (2012) auf fehlenden empirischen Beweisen, dem individuellen Verlauf des Spracherwerbs und der stark variierenden Auslegung der Universalgrammatik durch ihre Vertreterinnen und Vertreter.

2.2.2 Soziale Interaktion

Interaktionistische Ansätze gehen davon aus, dass Kinder durch sozialen, kommunikativen Austausch mit ihrer Umwelt Sprache erwerben. Ausgegangen wird dabei unter anderem von den Theorien WYGOTSKIS, die besagen, dass sich mentale, innere Prozesse aufgrund von interaktiven, äußeren entwickeln.

Der Austausch des Kindes mit seinen Bezugspersonen ist dabei nicht nur einseitiger Input, sondern das Kind nimmt, laut Kauschke (2012), ebenso Einfluss auf seine Umwelt. Die Bezugspersonen benutzen eine, soziokulturell beeinflusste, kindgerechte Kommunikation, die gemäß Bickes & Pauli (2009), dem Alter des Kindes in Ausprägung und Art der Sprechweise, der Tonhöhe und der Körpersprache angepasst ist.

Laut Klann-Delius (2008) tragen modale Wahrnehmungsleistungen dazu bei, dass bereits Säuglinge Laut- und motorisches Artikulationsmuster miteinander in Verbindung setzen können und diese imitieren.

2.2.3 Repräsentationsfunktion

Sprachentwicklung ist aus kognitivistischer Sicht an die kognitive Entwicklung gekoppelt.

Sprache hat Symbolfunktion für innere Strukturen und Repräsentationen, die sich durch Austausch- und Anpassungsvorgänge mit der Umwelt (Assimilation und Akkomodation) entwickelt.

Damit ist gemäß Klann-Delius (2008) sowohl die bedeutungstragende Sprachfunktion als auch sozial-kommunikative Funktion gemeint, welche stets an die Kognition gebunden ist.

Der bedeutendste Vertreter dieses Modells, Jean PIAGET, spricht von einem aktiven Konstruktionsprozess, in dem der Entwicklungsverlauf über mehrere Stufen durch Nachahmungs- und Spielhandlungen bis zur sprachlich-symbolischen Ebene verläuft.

Piaget (1977) sieht in seinem konstruktivistischen Ansatz Sprache als ein Werkzeug des Denkens.

2.2.4 Zusammenspiel von Biologie, Kognition und Interaktion

Eine Verbindung zwischen Nativismus, Konstruktivismus und Interaktion schaffen *Emergenzmodelle*, denen die Annahme von sowohl genetischen als auch umweltbedingten Faktoren zugrunde liegt.

Kinder lernen aufgrund grundlegender, angeborener Lernmechanismen aus dem sprachlichen Input die Entwicklung sprachlicher Systeme. Abhängig vom Alter, beziehungsweise dem Entwicklungsstand, führt Kauschke (2012) an, wird das sprachliche Wissen erweitert, von anfänglich prosodischen über lautsprachliche Merkmale, hin zu Semantik und Syntax.

Ausgegangen wird von drei zusammenwirkenden Hinweisreizen, sogenannten Achtungshinweisen, welche Rohlfing (2019, S. 30 ff), für das *Emergentist Coalition Model* zusammenfasst:

- Saliente perzeptuelle Hinweise
- Nonverbale Aspekte die die sprachliche Interaktion mitbestimmen
- Linguistische Klassifizierung von Wörtern nach lexikalisch-grammatischen Merkmalen

Diese drei Mechanismen ermöglichen zusammen das Erfassen der Gegenstandsbeziehungen, der Referenz, welches sich in drei Phasen vollzieht. Von der Geburt bis etwa zum 9. Lebensmonat richtet sich die Aufmerksamkeit von Kindern nach salienten Gegenständen und Ereignissen. Bezugspersonen „unterstützen“ diese 1. Phase mit dem Verbalisieren der Objekte und Ereignisse, damit Kinder zunehmend Referent, sprich Bezugsobjekt, und Wort verbinden können.

In der 2. Phase, zwischen 10. und 24. Lebensmonat, lernen Kinder durch soziale Hinweise, sowie durch prosodische und syntaktische Anhaltspunkte, Segmente aus dem Sprachstrom zu filtern und später diese zu kombinieren.

Im 2. Lebensjahr können in Phase 3 bereits komplexere Beziehungen erfasst und linguistische Merkmale differenziert mit Objekten, Personen und Ereignissen assoziiert werden.

Kritisch sieht Rohlfing (2013), dass das Modell die Beschreibung des Übergangs von der Phase der sinnlichen Wahrnehmung zur sozialen Phase schuldig bleibt.

2.3 Kindlicher Erstspracherwerb

Die phonetische Sprachentwicklung, die Lautbildung, wird nur kurz beschrieben, da sie nicht, so wie die Entwicklungen auf der semantisch-lexikalischen, syntaktisch-morphologischen und pragmatisch-kommunikativen Ebene eine Rolle für die weiteren Forschungsschwerpunkte darstellt.

Der menschliche Spracherwerb beginnt nicht erst mit den ersten lautlichen Äußerungen, sondern schon mit einer non-verbale Vorläuferphase.

2.3.1 Vorsprachliche Phase

Kauschke (2012) führt an, dass bereits Säuglinge dazu in der Lage sind, sprachliche Reize von anderen, nicht-sprachlichen, zu unterscheiden. Aber nicht nur das, bereits im Alter von wenigen Tagen, kann einerseits zwischen Sprache der direkten Umgebung und anderen Sprachen unterschieden werden, andererseits aber auch zwischen verschiedenen Kategorien von Lauten.

Dies ist von großer Bedeutung, da die Wahrnehmung dieser Lautunterschiede, die Differenzierung zwischen Phonemen, bedeutungsunterscheidenden sprachlichen Einheiten, ermöglicht.

Rohlfing (2019, S. 11) sieht diese präverbalen Fähigkeiten als Grundlage, welche für „ein Verständnis des kommunikativen Miteinanders“ sorgen. Die Autorin sieht in dieser Phase die Sensibilität für soziale Signale und die Sprachwahrnehmung als essenziell an. Säuglinge können bereits bei der Geburt die Stimme ihrer Mutter von anderen Personen unterscheiden und es besteht eine deutliche Präferenz für die menschliche Stimme gegenüber anderen Geräuschen. Diese Vorliebe besteht auch für Gesichter, wodurch sich der Blickkontakt entwickeln kann. Die sozialen Signale, Stimme und Blickkontakt, ermöglichen die Entwicklung sozialer Interaktion. Zollinger (2008) spricht dabei von einer sozialen Prädisposition, welche der Mensch bereits als Neugeborenes mitbringt.

Rohlfing (2019, S. 59) spricht dabei von der „Reziprozität in sozialen Interaktionen“, von der Wechsel- und Gegenseitigkeit der Interaktion. Hierfür müssen Kleinkinder eine Sensibilität dafür entwickeln, dass sich Interaktion durch Koordination und Engagement herstellen lässt.

Als notwendige Voraussetzung für Kommunikation wird das Koordinieren des Wechselspiels der Interaktion, das Turn-Taking, beschrieben. Die Interaktion zwischen Säugling und Bezugsperson und später die Referenz zu einem Gegenstand sind elementare Bausteine der Sprachentwicklung.

Die Sprachwahrnehmung ist gemäß Dittmann (2020) bei Säuglingen schon so weit entwickelt, dass sie ihre Erstsprache von Fremdsprachen und akustische Kontraste unterscheiden können. Somit ist eine Differenzierung von Phonemen möglich und ermöglicht so eine Sensibilität für sprachspezifische Unterschiede.

Rohlfing (2019) führt an, dass es im Alter von etwa 6 Monaten zu einer phonologischen Spezifizierung kommt, sodass diese Differenzierungsfähigkeit mit fortschreitendem Alter verlorenght.

Die jeweilige Zielsprache soll so in den Fokus rücken und so den Lauterwerb dieser begünstigen.

2.3.2 Phonetisch-phonologische Ebene

Die ersten lautlichen Äußerungen, das Schreien, zeigen bereits je nach Situation, zum Beispiel bei Hunger oder Müdigkeit, verschiedene Variationen.

Im Alter von wenigen Wochen werden konsonantenähnliche Gurrlaute erzeugt und mit etwa drei Monaten werden stimmliche „Experimente“ durchgeführt, die zunehmend kontrollierter werden.

Mit ungefähr sechs Monaten kommt es zum *Babbeln* beziehungsweise *Lallen*, es entstehen Silben aus Vokal-Konsonant-Verbindungen, die verdoppelt zu Silbenketten zusammengefügt werden. Die dabei verwendeten Konsonanten entsprechen den am häufigsten vorkommenden in der Umgebungssprache.

Das *repetative Babbeln*, auch *kanonisches Lallen*, ist nach Rohlfing, (2019) nicht nur Vorübung, sondern hat mit zunehmend prosodischen Merkmalen auch kommunikative Funktion. Zeitgleich kommt es zur Entwicklung der Zeigegeste als Teil der Kommunikationshandlung.

2.3.3 Semantisch-lexikalische Ebene

Zollinger (2008, S.66) sieht das Sprachverständnis als einen „multidimensionalen Prozess“, welcher kognitive, linguistische und kommunikative Aspekte vereint.

Um Gesprochenes zu verstehen, muss neben der Absicht und dem Kontext auch eine entsprechende Repräsentation erfasst werden. Informationen müssen in Bezug zur eigenen Realität und zu der der Sprecherin bzw. des Sprechers gesetzt werden, was eventuell zu einer Dekonstruktion der eigenen Repräsentationen führt.

Im Alter von etwa 10 bis 12 Monaten kann ein Kind erste Assoziationen zwischen Lauten und ihren semantischen Bezügen herstellen, womit erste Wörter verstanden werden können.

Beim Erwerb lexikalischer Fähigkeiten ist nach Kauschke (2012) nicht nur der sich vergrößernde Wortschatz gemeint, sondern auch die „Einträge“ ins mentale Lexikon, welches das sprachlich-kognitive Speichersystem darstellt. Die Speichereinheit zu jedem Wort umfasst dabei nicht nur dessen Bedeutung, sondern auch Aussprache, grammatische und morphologische Informationen. Die ersten Wörter sind nach Zollinger (2008) jene, die mit einem vorhandenen Gegenstand oder auf eine ausführbare Handlung bezogen sind. So führt Rohlfing (2019) eine Studie von Nomikou et al. (2018) an, welche das Verstehen der für Säuglinge alltagsrelevanten Wörter trinken, bauen und anziehen untersucht hat, mit dem Ergebnis, dass diese Verben um einiges früher verstanden werden können, als bisher angenommen und beweist somit die Bedeutung der semantischen Inhalte beim Ablauf des Worterwerbs, welche die direkte Erfahrungswelt der Kinder widerspiegelt.

Gegen Ende des ersten Lebensjahrs werden demnach erste Wörter in ihrer Bedeutung erfasst und produziert. Bei den ersten verwendeten Wörtern handelt es sich meistens um Nomen, die eine einfache Konsonant-Vokal- oder Konsonant-Vokal-Konsonant-Struktur aufweisen.

Die verwendeten Wörter entspringen auch nach Szagun (2016) dem unmittelbaren Umfeld und dem Erleben des Kindes, so zeigt sich zum Beispiel am häufigsten der Gebrauch von Verben, welche die eigene Bewegungshandlung des Kindes beschreiben.

Wörter als Bezeichnungen von Objekten, Handlungen und Zuständen entwickeln sich etwa unter Anwendung des *Ausschließlichkeitsprinzip*. Neue Objektbezeichnungen werden als Teile eines bekannten Objekts kategorisiert und nicht als ein eigenständiges Objekt der gleichen Kategorie, das heißt, es werden für ein Objekt nicht zwei Bezeichnungen akzeptiert.

Als Beispiel führt Szagun (2016) einen Dialog an, in dem ein Kind ein Bild als Rabe identifiziert, die Bezeichnung Vogel dafür aber ablehnt. An anderer Stelle werden jedoch Studien angeführt, die zeigen, dass Kinder auch diesem Prinzip entgegenhandeln und damit das Ausschließlichkeitsprinzip als angeborenen Lernmechanismus in Frage stellen.

Nach den umweltnahen Wörtern für Gegenstände, Lebewesen und Handlungen werden zunehmend Oberbegriffe gebildet und der innere Wortschatz kategorisiert. Begrifflichkeiten, zunehmend Adjektive, Pronomen und andere Funktionswörter, die auf unter- oder übergeordneten Eben verknüpft bzw. gespeichert werden, erweitern das Lexikon der Nomen und Verben immer weiter, um so, wie bei

	Altersspanne	Wortschatz-Umfang	Wortarten
Phase 1	ca. 1;0 bis 1;6	ca. 50	<ul style="list-style-type: none"> - interaktive Wörter - relationale Wörter, Partikeln - einige Lautmalereien - erste Nomen (meist Personenbezeichnungen)
Phase 2	ca. 1;6 bis 2;6	ca. 100–300	<ul style="list-style-type: none"> - Rückgang der frühen Kategorien - Anwachsen der Nomen - Beginn des Erwerbs von Verben
Phase 3	ca. 2;6 bis 3;0	ca. 400	<ul style="list-style-type: none"> - Ausdifferenzierung des Lexikons - weiterer Verbzuwachs - Anstieg der Funktionswörter

Abbildung 15: Wortartenentwicklung im zweiten und dritten Lebensjahr mit ungefähren Altersangaben, Kauschke, 2012, S. 64

Rohlfing (2019) angeführt, immer weitere Assoziationen zu vernetzen und es entstehen zunehmend strukturierte Beziehungsgeflechte, sogenannte semantische Relationen. Die Autorin spricht dabei von „Wortschatztiefe“ im Gegensatz zu „Wortschatzbreite“, welche definiert, wie umfangreich der aktive, tatsächlich verwendete, Wortschatz ist.

Die daraus resultierenden Modelle sehen beim Lexikonerwerb die sozial-pragmatischen, sowie kulturellen Faktoren als erheblich an. Die Semantik erschließt sich dem Kind situativ in der Auseinandersetzung mit seinem Gegenüber.

Vereint werden beide Ansätze zu der Theorie, dass anfänglich das eigene Interesse des Kindes an einem Objekt steht und später die Intention der Gesprächspartnerin, des Gesprächspartners integriert wird, das heißt, dass aus

verschiedenen Hinweisreize zusammen die Ableitung der Wortbedeutung gelingt.

Zum Ausbau des Wortverständnisses gibt Kauschke (2012) an, dass im Alter von 16 Monaten durchschnittlich 190 Wörter gespeichert sind. Im zweiten Lebensjahr kommt es zu einem rapiden Anstieg des verfügbaren Lexikons, der sogenannten *Wortschatzexplosion* oder *Vokalspurt*, wobei die tatsächliche Bedeutung dieses Phänomens für den Spracherwerb nicht empirisch belegt ist.

Mit 6 Jahren können bereits 9000 bis 14000 Wörter verstanden werden. Voraussetzungen für diesen Zuwachs sind die Kapazität von Arbeits- und Langzeitgedächtnis.

2.3.4 Morphosyntaktische Ebene

Die Morphologie ist gemäß Friedrich, Bigenzahn & Zorowka (2000, S. 234), die „Analyse von Struktur und Form der Wörter. Morpheme sind als bedeutungstragende Bausteine von Wörtern zu erfassen bzw. zu Wörtern zusammenzufassen. Die Realisierung von Morphemen basiert über Allomorphe, welche verschiedene Ausprägungsformen von Morphemen, zum Beispiel bei der Pluralbildung, darstellen. Morpheme können nach ihrer Funktion in lexikalisch und grammatische Morpheme unterteilt werden, wobei lexikalische Morpheme sinntragende, referentielle Einheiten darstellen, wie die Morpheme *blau*, *kind-*, und grammatische Morpheme, welche Beziehungen zwischen lexikalischen Elementen herstellen, zum Beispiel die Suffixe *-t*, *-er*.

Nach Gadler (2006, S. 127) beschreibt die Syntax die Regeln, nach denen Wörtern zu Sätzen kombiniert werden können. Der Autor definiert einen Satz als eine abgeschlossene, „oberste Beschreibungseinheit der Syntax“.

Friedrich et al. (2000) führen verschiedene Satzmuster der deutschen Sprache an:

- Einfache Sätze, bestehend aus Subjekt und Prädikat,
- erweiterte Sätze, welche neben Prädikat und Subjekt noch weitere Satzglieder enthalten, zum Beispiel Objekte,
- Matrixsätze, hier werden zusätzliche Gliedsätze angereicht,
- Ellipsen, verkürzte, meist unvollständige Satzmuster.

Mit dem Erwerb der ersten Wörter, gibt Klann-Delius (2008) an, beginnt der Syntaxerwerb.

In der 1. Phase kommt es zu Holophrasen, Einwortäußerungen, welche das Kind mit dem Kontextobjekt bzw. der Kontextsituation assoziiert gebraucht.

Zwischen dem 18. und 24. Lebensmonat Lebensjahres kommt es in Phase 2 zur Verwendung von Zweiwortäußerungen, wobei mehrere Wörter durch grammatische Beziehungen semantische Bezüge anzeigen können. Den frühen Mehrwortäußerungen fehlen meist noch viele grammatische Strukturen, wie zum Beispiel die Flexion der Verben, Artikel oder einzelne Satzglieder.

Rohlfing (2019, S. 194) gibt das Imitieren hier als einen der wichtigsten Faktoren für das „syntaktische Priming“ und somit für den Syntaxerwerb an. Syntaktisches Priming ist die Übertragung von syntaktischen Mustern auf syntagmatische Abwandlungen und weist auf ein vorhandenes abstraktes linguistisches Wissen hin. Dieser Lernmechanismus vollzieht sich implizit und basiert auf der Häufigkeit sprachlichen Inputs. Dabei bezieht sich die Autorin auf die funktionalistische, gebrauchsbasierte Theorie zum Grammatikerwerb nach Tomasello (2003), welche die Fähigkeit zum kulturellen Lernen, zum Erkennen von Schemata und zur Analogiebildung ins Zentrum des Spracherwerbs rückt.

Im Alter von etwa 18 bis 30 Monaten entwickeln sich laut Szagun (2016) die ersten Flexionsmarkierungen, die Verwendung von Pluralformen und Genusmarkierung am Artikel, im zweiten Lebensjahr kommt es zu Verb- und Kasusmarkierung.

In der 3. und 4. Phase vollzieht sich der Übergang von der Verwendung einfacher Satzstrukturen hin zu einer komplexen Syntax, mit Nebensatz- und Passivbildung, welche erst im Jugendalter vollständig erworben wird.

24-34 Monate		Mehrwortsätze mit: Auxiliar und Infinitiv: Auxiliar und Partizip:	<i>Der Hund will ein bisschen trinken. Der Löwe hat den Saft ausgetrunken.</i>
27-42 Monate		Passiv:	<i>Die Brücke wird gebaut.</i>
30-36 Monate		Satzgefüge:	<i>Der muss halten, weil da 'ne Eisenbahn kommt.</i>
* Bei den meisten Kindern (ca. 80%) beginnt der Gebrauch der jeweiligen Formen in dieser Altersspanne. Extrem schnelle oder langsame Kinder liegen jedoch unter oder über dieser Spanne.			

Abbildung 16: Erwerb grammatischer Formen, Szagun, 2013, S. 71 f

2.3.5 Kommunikation und Pragmatik

Im frühen Spracherwerb ist das Verständnis sprachlicher Äußerungen stark an die situative Gegebenheit, zum Beispiel den räumlichen oder auch kulturellen Kontext, gebunden. Dies ermöglicht laut Rohlfing (2019) in Folge Handlungsabsichten zu erkennen und zu äußern. Ein gemeinsames Ziel kann somit in einer kommunikativen Handlung verfolgt werden.

Über das Sprachverhalten der Bezugspersonen erschließen sich dem Kind situative Sprachmuster und es erwirbt Modelle für pragmatische Muster, die eine, an die Gesprächspartnerin, den Gesprächspartner angepasste, Kommunikation ermöglichen.

Mit etwa 4 Jahren erlangt das Kind die Einsicht, dass die Gefühle, Einsichten, Wünsche seines Gegenübers sich von den eigenen unterscheiden können. Diese Entwicklung der „*Theory of Mind*“ ermöglicht gemäß Nußbeck (2007), die Intentionen anderer zu erkennen und von den eigenen zu unterscheiden und verschiedene Perspektiven einzunehmen.

3 Mathematik

DEHAENE spricht vom „numerischen Erbe“ und stellt die Frage in den Raum, ob bereits Säuglinge rechnen können. Ist die Fähigkeit zu Rechnen in unseren Genen oder entwickelt sie sich nur aus der Auseinandersetzung mit der Umwelt? Wie immer ergibt sich die Antwort daraus, an welche Adressatin, welchen Adressaten, man diese Frage richtet.

3.1 Assimilation und Akkomodation – Konstruktivismus

Jean Piagets (1960) Theorien zur Denkentwicklung konzentriert sich auf die ständige Interaktion des Kindes mit seiner Umwelt und vice versa.

Dabei durchläuft jedes Kind hierarchisch mehrere Stufen, die durch evolutionsbedingte kognitive Schemata und der fortschreitenden Adaption der Umwelt bedingt sind. Angeborene Wahrnehmungsmuster werden durch Assimilation der Umwelt angepasst oder durch Akkomodation verändert.

Piaget geht dabei davon aus, dass die ersten beiden Lebensjahre durch an sensomotorische Wahrnehmung gekoppelte Reaktionsmuster in Spiel- und Nachahmungshandlungen geprägt sind.

Bis zum Schulalter sieht Piaget das Denken an Anschauung und Handlungen gebunden, ein Zahlbegriff entwickelt sich etwa mit 5 Jahren, wobei hier das Verständnis für Mengenerhaltung und -invarianz gemeint ist.

Die Fähigkeit zum operationalen Denken zeigt sich erst im Schulalter und damit erst ein Verständnis für Seriation und Teil-Ganzes-Beziehungen, sowie die Einsicht in den ordinalen und kardinalen Zahlenaspekt als Voraussetzung, um einfache mathematische Operationen, wie die Addition, zu bewältigen. Erst im Alter von etwa 12 Jahren sieht Piaget Kinder zum rein formal-abstrakten Denken

befähigt und damit in der Lage, komplexere mathematische Probleme zu verstehen und zu lösen.

Piaget sieht somit laut Schneider, Küspert, Krajewski (2013), den Aufbau des Zahlbegriffs deutlich an die Entwicklung logisch-formaler Operationen gebunden.

Dehaene (1999) erwähnt die Kritik an Piagets Modell, welche aufgrund weiterer Studien entstanden ist, in denen die Forschungsdesigns zum Beispiel kindgerechter gestaltet wurden und Aufgaben zum Erkennen der Mengeninvarianz bereits von 2-Jährigen korrekt gelöst wurden. Forschungen mit Säuglingen ergaben bereits in den 1980ern, dass Babys unterschiedliche Anzahlen zu bemerken scheinen. Die Ergebnisse wurden in mehreren Studien, zum Beispiel von Antell und Keating, sowie Strauss und Curtis, repliziert.

3.2 Zahlwortgebrauch – Skill-Integration-Modell

Im angloamerikanischen Raum entwickelten sich, im Zusammenhang mit der Kritik an Piagets Theorien, Modelle, die von der Annahme ausgehen, dass bereits junge Kinder über einen grundlegenden Zahlenbegriff verfügen und sich dieser aus der Integration der Fertigkeiten des Zählens, sowie der Simultanerfassung (Subitizing) und Vergleichen von Mengen ergibt.

Clements (1984) fasste diese Annahmen, vertreten durch zum Beispiel Gelman und Gallistel (1978), Fuson (1988) und Resnick (1989), unter dem Begriff „Skill-Integration-Modell“ zusammen.

Höchstes Augenmerk wird bei diesem Modell auf den Zahlwörterwerb und die Zählkompetenz gelegt. Uneinigkeit herrscht nach vielen Autorinnen und Autoren wie Dehaene (1999) Schneider et al. (2016) Krajewski, Grüßing & Peter-Koop (2009) aber darüber, ob der Erwerb der Zahlworte das Zählen ermöglicht oder ob Zählkompetenzen bereits vor dem verbalen Zählen vorhanden sind.

Landerl und Kaufmann (2008) weisen dem verbalen Zählen ebenfalls einen hohen Stellenwert bei der frühkindlichen Entwicklung mathematischer Kompetenzen zu und sehen darin eine Notwendigkeit für die Einsicht in die Arithmetik.

3.3 Mengen- und Zahlenwissen – Entwicklungsmodell der Zahl-Größen-Verknüpfung

Das von Krajewski (2013) entwickelte Modell der Zahl-Größen-Verknüpfung (ZGV-Modell) geht von der Annahme aus, dass die Entwicklung mathematischer Kompetenzen bereits mit der Geburt beginnt. Kinder durchlaufen demnach bis zum Schuleintritt 3 Kompetenzebenen, welche den Umgang mit mathematischen Operationen ermöglichen.

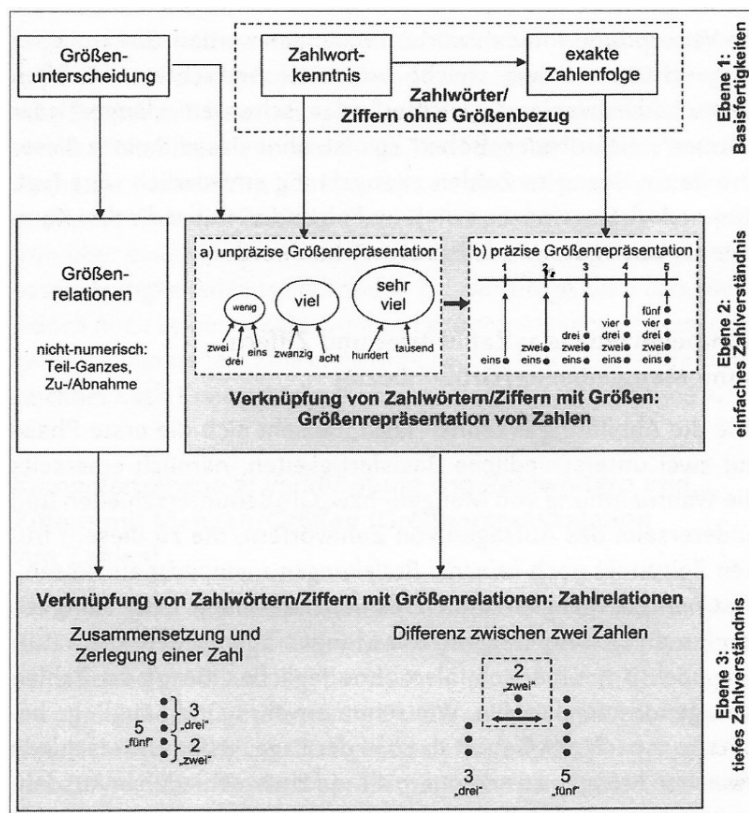


Abbildung 17: Entwicklungsmodell der Zahl-Größen-Verknüpfung nach Krajewski, Schneider et al., 2013, S. 25

Kompetenzebene 1: Zahlwörter und Ziffern ohne Mengenbezug/ Größenbezug

Der 1. Meilenstein in der numerischen Entwicklung liegt in der Fähigkeit der Wahrnehmung von Mengen- bzw. Größenunterschieden. Dieses Erfassen der Mächtigkeit von Mengen, das sogenannte „subitizing“, wird bereits im Säuglingsalter, zwar noch unpräzise, bewältigt.

Der nächste Schritt ist der Erwerb der Zahlwortreihe mit etwa 2 Jahren. Die Zahlwörter stehen hierbei aber noch nicht in Verbindung mit Mengen oder Größen, es handelt sich lediglich um ein auswendig gelerntes Aufsagen.

Kompetenzebene 2: Größenrepräsentation von Zahlen

Auf dieser Ebene erwerben Kinder die Fähigkeit ihr verbales Zahlenwissen mit Mengendarstellungen in Verbindung zu setzen. Anfänglich handelt es sich um ein unpräzises Anzahlkonzept, den Zahlwörtern Eins bis Drei wird etwa der Begriff „wenig“ zugeordnet. In zahlreichen Zählprozessen entwickelt sich dieses Konzept immer weiter, bis präzisere Verknüpfungen hergestellt werden können. Ab dem Vorschulalter kann ein bestimmtes Zahlwort durch Abzählen mit der korrespondierenden Menge in Zusammenhang gebracht werden.

Kompetenzebene 3: Größenrelationen

Die Erkenntnis, dass Zahlen auch ohne visuelle Darbietung von Mengen bestehen, führt nach Schröder & Ritterfeld (2014) zu der Möglichkeit arithmetische Operationen auszuführen.

Krajewski (2013) sieht nun die Möglichkeit gegeben, dass Beziehungen zwischen Zahlen hergestellt werden können, indem Zerlegungen, Zusammensetzungen und Differenzen zwischen Zahlen erfasst werden.

3.4 Relationaler Zahlbegriff – Modell der mathematischen Kompetenzentwicklung

Fritz und Ricken (2008) gehen in ihrem Modell ebenfalls von einer Entwicklung der mathematischen Kompetenz über aufeinanderfolgenden Stufen aus.

Auf der 1. Entwicklungsstufe steht wie bei Krajewski ein unpräzises Anzahlkonzept, das noch nicht in Verbindung mit der Menge steht, sowie erste 1-zu-1-Zuordnungen. Zusätzlich zum ZGV-Modell wird die Fähigkeit zum Ordnen und Sortieren von Objekten nach ihrer Größe diesem Entwicklungsniveau zugewiesen.

Auf Stufe 2 steht die Erkenntnis des Vorgänger- und Nachfolgerprinzips der Zahlenreihe und die Verknüpfung von Zahlwort und Objekt. Somit entwickelt sich die Einsicht in die Zahlwortreihe als einen ordinalen Zahlenstrahl.

Die Einsicht in den kardinalen Zahlaspekt vollzieht sich auf Stufe 3. Diese ermöglicht den Vergleich von Mengen aufgrund ihrer Mächtigkeit und die Durchführung einfacher additiver Operationen nach dem Kardinalzahlprinzip.

Der 4. Entwicklungsschritt vollzieht sich mit dem Verständnis für das Teil-Ganzen-Konzept, das heißt, Zahlen können in ihre Teilmengen zerlegt und wieder zusammengesetzt werden, ein *relationaler Zahlbegriff* entwickelt sich.

Die Erkenntnis, dass sich Zahlen aus anderen zusammensetzen und ein flexibleres Teil-Ganzes-Verständnis markieren die 5. Stufe. Zahlen können beliebig in ihre „Einzelteile“ zerlegt werden und die dreiteilige (triadische) Aufgabenstruktur arithmetischer Aufgabenstellungen wird erkannt und genutzt.

Die einzelnen Entwicklungsstufen sind laut Schneider et al. (2013) sowohl aufeinander aufbauend als auch nicht deutlich gegeneinander abgegrenzt. So erwerben Kinder zum Beispiel den Relationalen Zahlbegriff zu unterschiedlichen Zeiten innerhalb der ersten drei Schulstufen und können gleichzeitig, je nach Zahlenraum, auf mehreren Stufen stehen.

3.5 Numerische Kognition – Triple-Code-Modell

Dehaenes (1992) Modell gilt als eine der bedeutendsten und durch zahlreiche neuropsychologische Befunde gesicherten Beschreibung der numerischen Kognition.

Sein neurokognitives Modell der numerischen Verarbeitung und des Rechnens basiert auf der Annahme dreier unabhängiger, domänenspezifischer Repräsentationen, eines visuellen, eines verbalen und eines analogen „Codes“. Alle drei Module stehen miteinander in Verbindung und Austausch und sind doch an spezifische Anforderungen gebunden und in verschiedenen Gehirnarealen lokalisiert.

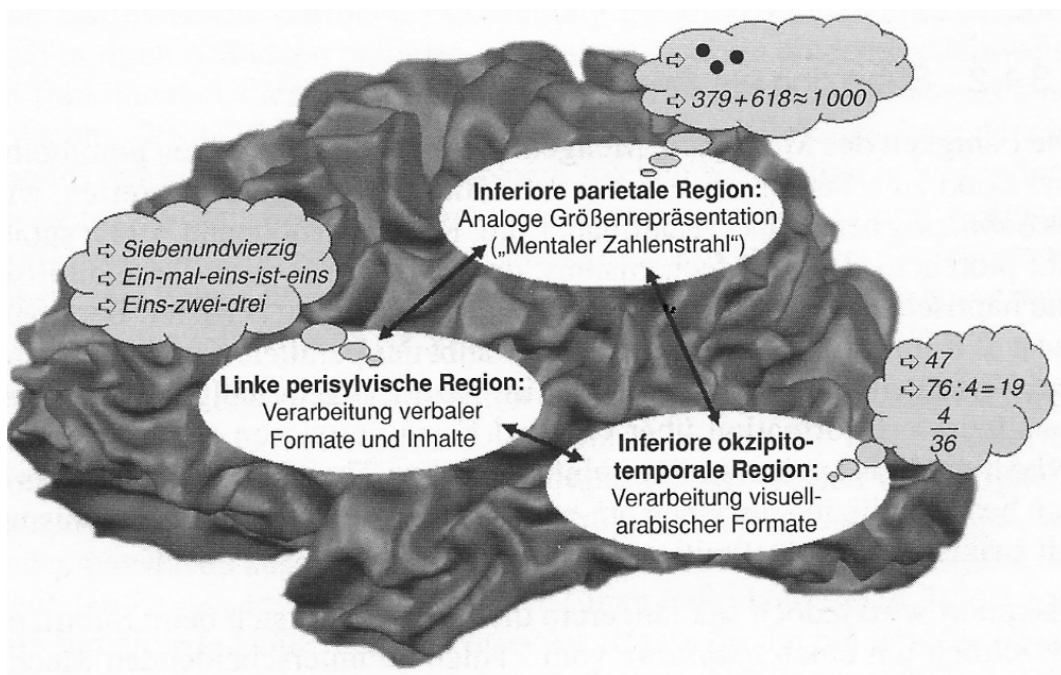


Abbildung 18: Dehaenes Triple-Code-Modell, Heine et al., 2012, S. 55

Der *analoge Code für Größenrepräsentationen* („analogue magnitude representation“) steht für die nicht sprachgebundenen Kompetenzen des Subitisiereins, des qualitativen Mengenvergleichs und des approximativen Rechnens.

Über diese Befähigungen verfügen ansatzweise bereits Säuglinge, weswegen davon ausgegangen wird, dass eine genetische Prädisposition vorhanden ist. Dehaene (1999) spricht daher von einem angeborenem *Zahlensinn*, der das numerische Wissen über die Mächtigkeit einer Menge, die Zahlensemantik, beinhaltet.

Im Rahmen der Sprachentwicklung zeigt sich die auditiv verbale Repräsentation (auditory verbal word frame), welche für die Verarbeitung von verbal-numerischen Inhalten verantwortlich ist. Somit ist dieses Modul nach Schneider et al. (2016) beim Erwerb der Zahlwortreihe, sowie bei der Speicherung und dem Abruf numerischen Faktenwissens aktiv und wird vor allem im Zusammenhang mit Additions- und Multiplikationsaufgaben genannt. Lokalisiert ist das auditiv-verbale Modul gemäß Heine, Engl, Thaler, Fussenegger & Jacobs (2012) in der linken Hemisphäre, in der perisylvischen Sprachregion.

Werden Mengen als arabische Zahlen dargeboten, aktiviert sich die visuell-arabisch Repräsentation. Dieses Modul wird beim Verarbeiten schriftlicher Formate benötigt und ist in den okzipital-temporalen Hirnarealen lokalisiert, einem Bereich, der für das Erkennen von Objekten, sowie für die Form-, Musterwahrnehmung bedeutsam.

Bei der Fähigkeit zwischen Mengen zu unterscheiden, zeigt sich der Effekt, dass je größer die Differenz zwischen den zu vergleichenden Mengen ist, desto leichter ist die Unterscheidung.

Dieser *Distanzeffekt* veranlasst, wie bei Heine et al. (2012) erwähnt, die Annahme zum Zusammenhang mit visuell-räumlichen Verarbeitungsleistungen, welcher sich auch in der inferioren parietalen Lokalisation zeigt, einer Region, welche die visuelle Wahrnehmung koordiniert.

Für eine räumlich-numerische Verbindung spricht auch der *SNARK-Effekt*, der sich je nach Größe der Zahl in unterschiedlichen Reaktionsweisen zeigt. In diversen Untersuchungen zeigte Dehaene (1999), dass Versuchspersonen bei der visuellen Darbietung kleinerer Zahlen zu einer Reaktion mit der linken Hand und bei größeren Zahlen mit der rechten Hand neigen. Er benannte diese

„Entdeckung“ als *Spatial-Numerische Assoziation von Reaktionskodierungen*, kurz „SNARC“. Diese in Schreibrichtung orientierte räumliche Tendenz entwickelt sich laut von Aster (2013) bei Kindern allerdings erst in der Grundschulzeit.

Mathematisch kompetente Erwachsene verfügen laut Studien von Dehaene (1999) über einen inneren Zahlenstrahl, einer mentalen, räumlichen Anordnung numerischer Größen.

Siegler und Opfer (2003, zit. n. Grond, Schweiter & von Aster, 2013) führten mit Kindern und Erwachsenen eine Studie durch, bei der Zahlen zwischen 1 und 1000 räumlich auf einem Zahlenstrahl eingeordnet werden sollten. Die Ergebnisse waren sehr unterschiedlich, denn Kinder stellten Zahlen mit räumlicher Verzerrung dar, wobei bei Grundschulkindern der 2. Schulstufe die Abstände zwischen den Zahlen kleiner wurden, je größer die Zahlen waren. Schulkinder ab der 6. Stufe und Erwachsene ordneten Zahlen linear an.

Die lineare Anordnung ist wie bereits erwähnt in Schreibrichtung ausgerichtet und somit kulturabhängig und der SNARC-Effekt ist somit auch bei unterschiedlichen Schreibverläufen nach der Schreibrichtung gerichtet.

Grond, Schweiter & von Aster (2013) führen an, dass trotz der Kopplung an die Schreibrichtung, individuelle Unterschiede in der Art der mentalen Abbildung numerischer Quantitäten vorliegen.

Mittels funktioneller Bildgebung können bei Zahlenvergleichsaufgaben laut Kucian & von Aster (2013) Aktivierungen in den Bereichen des linken und rechten Parietallappens sichtbar gemacht werden. Diese Regionen zeichnen sich für das räumliche Denken verantwortlich.

Im Gegensatz dazu zeigen sich beim Abruf sprachlich gebundenen Faktenwissens die linkshemisphärischen präfrontalen Regionen aktiv, Gebiete, die mit der Sprachverarbeitung assoziiert werden.

Kucian & von Alser (2013) führen weiter Studien von Dehaene, Piazza et al. (2003) und Dehaene, Molko et al. (2004) an, welche das Gebiet, in dem der mentale Zahlenstrahl vermutlich lokalisiert ist, eingrenzen. Es handelt sich dabei um die bilateralen horizontalen Anteile des intraparietalen Sulcus (hIPS).

Weiterführende Studien bestätigten die Bedeutung der hIPS für die Größenrepräsentationen von Mengen und Zahlen.

3.6 Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen – Vier-Stufen-Modell

Aufbauend auf dem Triple-Code-Modell von Dehaene entwickelte Aster (2005, 2013) ein vierstufiges Entwicklungsmodell, welches den Aufbau numerischer Hirnfunktionen als domänenspezifische Reifungsprozesse darstellt.

Ausgehend von der Fähigkeit des Subitisierens und dem Erwerb sprachlich und schriftlicher Zahlensymbole entwickelt sich die Zahlenraumvorstellung, der *Mentale Zahlenstrahl*.

Drei Entwicklungsstufen, welche im Kindesalter durchlaufen werden, führen zur Ausbildung einer mentalen, abstrakten Zahlenvorstellung, welche die Durchführung arithmetischer Operationen ermöglicht.

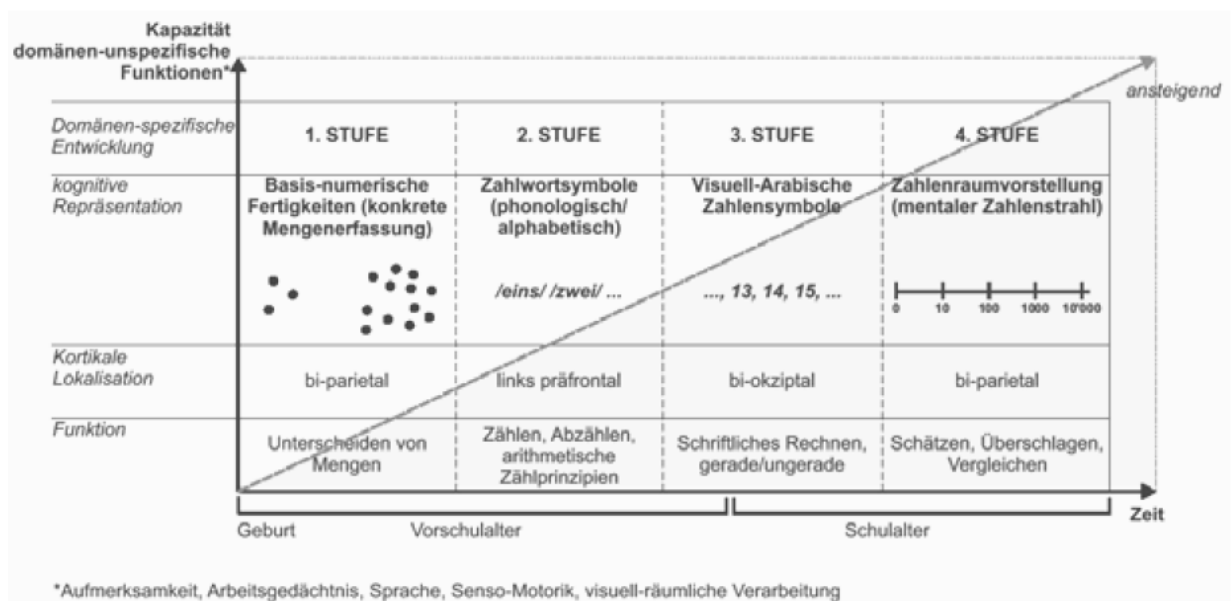


Abbildung 19: Vier-Stufen-Modell der Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen, Aster, 2005, S. 21

Basisnumerische Fähigkeiten, die Mengenerfassung beziehungsweise die Unterscheidung von Mengen sind dabei die Grundlage für den späteren Erwerb von Zahlsymbolen und damit die Stufe 1.

Auf den Stufen 2 und 3 werden sprachliche und arabische Zahlensymbole in der interaktiven Auseinandersetzung mit der Umwelt erworben.

Mit Hilfe des verbalen Zählens gelingen erste Operationen an und mit Mengen. Aster (2013, 2005) weist, wie auch Dehaene (1999), darauf hin, dass die Entwicklung des Zählprinzips sprachkulturellen Besonderheiten unterliegt. So ist die Zahlwortbildung im Deutschen oder Englischen durch ihre vom Stellenwertsystem abweichende Grammatik für Kinder nachweislich schwerer zu verstehen als dies zum Beispiel für chinesische Kinder der Fall ist, da im Chinesischen die Bildung der Zahlwörter einheitlich und systematisch aufgebaut ist. Im Deutschen birgt auch die Schreibung der Zahlwörter durch die inverse Zehner-Einer-Schreibung häufig Schwierigkeiten in sich.

Die 4. Stufe beschreibt den Aufbau der mentalen Zahlenraumvorstellung, die im Gegensatz zu der vorschulischen an konkrete Repräsentationen gebundenen Mengenvorstellung, abstrakte und komplexe Operationen ermöglicht.

In den bei Aster & Lorenz (2013) angeführten neurowissenschaftlichen Studien konnte mittels funktioneller bildgebender Verfahren aufgezeigt werden, wie sich diese Entwicklung durch eine Umstrukturierung in verschiedenen Gehirnarealen vollzieht. So kommt es bei Erwachsenen zu einer Aktivierung im parietalen Kortex, welche bei Kindern noch kaum vorhanden ist, eine erhöhte Frontalhirnaktivität zeigte sich hingegen nur im Kindesalter. Diese Beobachtungen veranlassen zu der Annahme, dass die durch Übung und Wiederholung erworbenen Automatismen beim (Ab-)Zählen zu einer parietalen, im Langzeitgedächtnis repräsentierten Form des mentalen Zahlenstrahls führen.

3.7 Wie das kindliche Gehirn rechnet

Dehaene (1999) und Kucian & von Alster (2013) führen neben zahlreichen anderen Veröffentlichungen an, dass der Mensch bereits als Säugling über einen Zahlensinn verfügt. Von Geburt an verfügen Babys über die Fähigkeit Anzahlen zu erkennen. Eine bei Grond et al. (2013) angeführte Studie von Izard, Sann,

Spelke & Streri aus dem Jahr 2009 lieferte den Beweis dafür, indem sie nachwies, dass Säuglinge in der Lage sind, visuelle Anzahlen mit auditorischen Sequenzen zu assoziieren.

Weitere Studien befassen sich mit der simultanen Erfassung von Anzahlen, dem von Mandler & Shebo (1982, zit. n. Grond et al., 2013) sogenannten „Subitizing“. Kleinkinder können hierbei sicher Mengen bis drei Elemente simultan erfassen, die Anzahl steigert sich bis ins Erwachsenenalter auf mindestens vier.

Grond et al. (2013) führen an, dass die Fähigkeit zum Vergleich von großen und kleinen Mengen, welche über das Subitizing hinausführen, für Kinder möglich ist, wenn die größere Menge mindestens ein Vierfaches der kleineren Menge darstellt.

Bei Kindern zeigen sich laut Kucian & von Aster (2013) beim Rechnen auch neuronale Unterschiede zu Erwachsenen. Die bei Kindern darstellbaren Hirnfunktionen spielen sich hauptsächlich im Bereich des präfrontalen Kortex und im anterioren Cingulum ab, wohingegen bei Erwachsenen vorrangig Aktivierung im Bereich der posterioren Parietallappen, sowie im linken inferioren Parietalkortex und dem intraparietalen Sulcus gefunden werden kann, es findet sozusagen eine Spezialisierung der Parietalregion statt. Die Reduzierung der präfrontalen Aktivität kann darauf zurückgeführt werden, dass mit zunehmendem Alter weniger kognitive Kontroll- und Aufmerksamkeitsprozesse für die Bewältigung arithmetischer Aufgaben benötigt werden.

Auch die Rolle des Langzeitgedächtnisses für arithmetische Aufgaben kann aufgrund der im Alter abnehmenden Aktivierung in den Basalganglien und dem Hippocampus vermutet werden.

4 Sprache und Mathematik

Wie hängen Sprache und Mathematik zusammen? Ist die mathematische Kompetenzentwicklung an Sprache gebunden? Ist Denken generell an Sprache gebunden?

Der Zusammenhang von Denken und Sprache ist vieldiskutiert, so zeigen Beller & Bender (2010) auf, dass bereits im Alten Griechenland Platon und Aristoteles darüber philosophierten und die Sprachphilosophen Johann Gottfried Herder (1744–1803) oder Wilhelm von Humboldt (1767-1835) bezogen dazu eindeutig gegensätzliche Standpunkte.

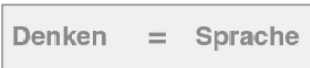


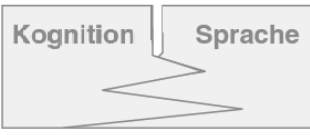

Angenommene Beziehung zwischen Denken und Sprache		Vertreter
	Denken ist innere Sprache.	Watson
	Die kognitive Entwicklung determiniert die sprachliche Entwicklung.	Piaget
	Kognition und Sprache sind unabhängig voneinander.	Chomsky
	Kognition und Sprache entwickeln sich unabhängig voneinander, verschränken sich aber später in einer komplexen Beziehung.	Wygotski
	Sprache beeinflusst bzw. determiniert Kognition.	Sapir & Whorf

Abbildung 20: Verschiedene Beziehungen zwischen Denken und Sprache, Beller & Bender, 2010, S. 252

Sprachproduktion und -verstehen erfordert neurobiologische Verarbeitung und interagiert dabei mit anderen kognitiven Fähigkeiten.

Inwiefern Sprache auf die Vorgänge beim Entwickeln mathematischer Kompetenzen Einfluss nimmt, beziehungsweise ob überhaupt ein Zusammenhang besteht, soll im Folgenden erörtert werden

4.1 Sprachkompetenz

Sprache wird als Bedingung zum Erwerb des Anzahlkonzepts gesehen, nicht ursächlich, aber als Instrument zum Aufbau sprachlicher Repräsentationen. Mit Sprache kann das nonverbale Zahlenwissen abgebildet werden und dieses Versprachlichen in der Interaktion dient dazu, dass die inneren mathematischen Konzepte erweitert oder auch korrigiert werden können.

Die sprachliche Interaktion über mathematische Inhalte erfordert nach Schröder & Ritterfeld (2014) sprachliche Kompetenz - ausreichend Wortschatz, Wortverständnis, Grammatik und Pragmatik.

Paetsch, Radmann, Felbrich, Lehmann und Stanat (2016) weisen auf zahlreiche empirische Studien hin, die sprachliche Kompetenz als Prädiktor für die spätere mathematische Kompetenzentwicklung angeben.

Schröder & Ritterfeld (2014) führen an, dass Sprache für die Entwicklung der Mathematikkompetenz somit drei Funktionen erfüllen kann, als Mittel für den Erwerb, als Vermittler und zur Speicherung mentaler, sprachgebundener Repräsentationen.

Das von Schilcher, Röhl & Krauss (2017) zitierte Projekt SOKKE, eine Längsschnittstudie zum Zusammenhang mathematischer Kompetenzen, Sprachkompetenz und Leseleistung ergab, dass mathematische Leistungen, die konzeptionell-inhaltliches Denken erfordern, durch den Stand der Sprachkompetenz in hohem Maß beeinflusst werden, deutlicher als durch den Faktor der Intelligenz.

Das von LeFevre, Fast, Skwaruch, Smith-Chant, Bisanz, Kamawar & Penner-Wilger (2010, zit. n. Schneider et al. 2013) entwickelte „Pathways“-Modell benennt linguistische Kompetenzen ebenfalls als starken Einflussfaktor auf die mathematische Kompetenzentwicklung, hauptsächlich auf das symbolische Zahlensystem und somit dem Erwerb des Zahlwort-Wissens im Kindergartenalter.

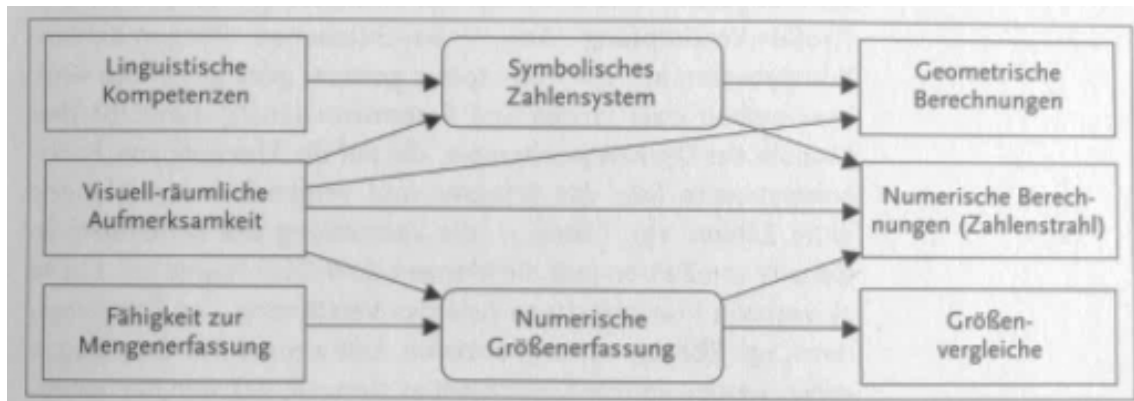


Abbildung 21: „Pathways“-Modell nach LeFevre et al., Schneider et al., 2013, S. 73

Die deutsche Sprache stellt nach Schneider et al. (2013) Kinder vor spezielle linguistische „Probleme“. Zum einen die Inversion von Einern und Zehnern, zweistellige Ziffernfolgen werden nicht entsprechend der Leserichtung benannt, und zum anderen das unregelmäßige Notationssystem. So müsste entsprechend einer Regelmäßigkeit die Zahl 11 mit dem Zahlwort „einundeinszig“ benannt werden. Ebenso ist das zehnerbasierte Stellenwertsystem nicht in den Zahlworten ersichtlich, etwa ist beim Zahlwort „zwanzig“ nicht ersichtlich, dass es mit den Ziffern 2 und 0 notiert wird, „zweizig“ würde hierbei wieder der regelmäßigen Notation entsprechen. Diese nicht immer leicht nachzuvollziehenden Bildungsregeln stellen somit für Lernende häufig eine erhebliche Hürde dar.

Einen weiteren Aspekt zum Zusammenhang zwischen sprachlicher Kompetenz und der Lösungskompetenz für mathematische Probleme führen Schneider et al. (2013) für die Bearbeitung von Sachaufgaben an. Hierfür müssen in laut- oder schriftsprachlich beschriebenen (Alltags-)Situationen mathematisch relevante Strukturen erkannt und in Symbole der mathematischen Sprache übersetzt werden. So müssen zum Beispiel die in den Textaufgaben sprachlich umschriebenen Mengenbeziehungen (mehr/weniger als) in mathematische Operationen übertragen werden.

So konnte in der bei Schneider et al. (2013) dargestellten Längsschnittstudie von Stern aus dem Jahr 1998 aufgezeigt werden, dass die Lösungshäufigkeit bei

Sachaufgaben stark mit der Art der Formulierungen zusammenhängt und deutlich niedriger ist, wenn nach Mengenrelationen gefragt wird.

In ihrer Studie zu Effekten von Sprachstand, sozialer Herkunft und Bilingualität auf die mathematische Kompetenz stellten Ufer, Reiss & Mehringer (2013) fest, dass neben den kognitiven Grundfähigkeiten einzig der Sprachstand sich als signifikanter Prädiktor für mathematische Leistungen darstellen lässt. Hierbei wird jedoch herausgestellt, dass sich die Ergebnisse nur auf Aufgaben mit Lösungsschemata beziehen, welche auf konzeptuell-inhaltliches Wissen zurückgreifen.

4.2 Phonologische Bewusstheit

Die Phonologische Bewusstheit ist die Fähigkeit der Lautwahrnehmung, das heißt, lautliche Aspekte und Strukturen der gesprochenen Sprache erfassen und verarbeiten zu können.

Es wird gemäß Weinrich & Zehner (2008) zwischen Phonologischer Bewusstheit im weiteren Sinne, dazu zählen zum Beispiel Reimerkennung und Silbensegmentierung, sowie Phonologischer Bewusstheit im engeren Sinne, der Fähigkeit Anlaute zu identifizieren oder zur Lautsynthese, unterschieden.

Die Phonologische Bewusstheit gilt als Vorläuferfähigkeit für den Schriftspracherwerb, doch wird sie auch zunehmend im Zusammenhang mit der Entwicklung mathematischer Kompetenzen gesehen.

Nicht zuletzt ist die phonologische Bewusstheit, als Voraussetzung für die Diskriminations- und Differenzierungsfähigkeit in Bezug auf gesprochene Sprache, von Bedeutung, wenn es um die differenzierte Wahrnehmung der Zahlworte geht. So erwähnen Schneider et al. (2013), dass die Sinndifferenzierung der Zahlfolge für Kinder mit gut entwickelter phonologischer

Bewusstheit deutlich erleichtert scheint und sich somit positive Effekte auf den basalen Erwerb der Zahlenkompetenz ergeben.

Die Ergebnisse einer Langzeitstudie von Krajewski und Schneider (2009; zit. n. Aster & Lorenz, 2013) zeigen ebenfalls, dass es Zusammenhänge zwischen der schriftsprachlichen und der mathematischen Entwicklung gibt und die phonologische Bewusstheit den Erwerb basaler Zahlenkompetenzen und der der Zahlwortreihe beeinflusst. Dieser Einfluss ist jedoch nicht für höhere Zahl-Größen-Kompetenzen zu finden.

4.3 Verbaler Speicher

Der verbale Speicher ist Teil des Gedächtnisnetzwerks, genauer des Arbeitsgedächtnisses, und für die phonologische Speicherung, die Verarbeitung semantischer Inhalte und der Syntax, zuständig. Zudem beschreiben Schröder & Ritterfeld (2014), wird über einen aktiven Rehearsal-Prozess die Zugriffsdauer auf verbale Inhalte verlängert.

Die Rolle des Arbeitsgedächtnisses für den Erwerb mathematischer Kompetenzen ist nicht eindeutig geklärt, jedoch wurde in mehreren Studien eine Beeinflussung festgestellt.

Noch weniger eindeutig zeigen sich die Befunde in Bezug auf den Einfluss der phonologischen Schleife auf den Mathematikerwerb.

Grube (2006) sieht den Zusammenhang darin, dass die Kurzzeitspeicherung verbaler Inhalte eine bedeutende Funktion für das Bearbeiten komplexer Aufgaben hat und zitiert eine Studie von Logie und Baddeley von 1987, welche aufzeigt, dass die phonologische Schleife beim verbalen Zählen teilhat. In einer eigenen Studie zeigt Grube (2006), dass die Größe der phonologischen Speicherkapazität mit der Bearbeitungsgeschwindigkeit einfacher Additionsaufgaben korreliert. Ebenso wurde hier ein signifikanter Einfluss der

phonologischen Gedächtnisspanne auf die Lösungsqualität bei Sachaufgaben festgestellt.

Eine bei Heine et al. (2012) zitierte Studie von Swanson und Kollegen aus dem Jahr 2005 weist ebenfalls auf die Bedeutung des verbalen Arbeitsspeichers für die numerische Informationsverarbeitung hin, begründet durch das Auftreten von Aktivitäten in der linkshemisphärischen inferioren Frontalregion, im Bereich des Broca-Areals.

Schneider et al. (2013) erläutern die Bedeutung der auditiv-verbale Gedächtnisspanne zusammenfassend damit, dass Zahlwörter auditiv aufgenommene, sprachliche Einheiten darstellen, welche ins Langzeitgedächtnis überführt werden müssen. Somit erleichtert ein gut entwickeltes phonologisches Arbeitsgedächtnis das Erlernen und die Speicherung der Zahlwortreihe.

4.4 Mathematik und Sprachentwicklungsstörungen

Zahlreiche Studien belegen die Unterschiede bezüglich der mathematischen Leistungen von Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen (SES) und Kindern ohne sprachliche Auffälligkeiten. Besonders häufig werden Studien von Barbara B. Fazio zitiert, deren Ergebnisse zeigten, dass Kinder mit SES bereits früh im Vorschulalter Schwierigkeiten beim Erwerb mathematischer Vorläuferfähigkeiten zeigen.

Die Problematik zeigt sich nach Schröder & Ritterfeld (2014) in den Bereichen Zahlwörterwerb, Zählfertigkeit, Faktenspeicherung und -abruf, Automatisierung, sowie Seriation und auditiver Differenzierung, z. B. bei Zahlwörtern.

Schröder (2014) führt an, dass je ausgeprägter die sprachlichen Defizite auftreten, desto geringer sind auch die mathematischen Leistungen.

Mayer (2016) führt eine 2015 durchgeführte Studie der Universität Köln an, die den Einfluss expressiver lexikalischer Fähigkeiten auf mathematische Leistungen

ermitteln sollte. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wortschatzleistung signifikant mit der Zahlverarbeitung und der Rechenperformanz korreliert und enger assoziiert ist als die Faktoren nonverbale Intelligenz und Arbeitsgedächtnis.

Das Modell von Ritterfeld, Starke, Röhm, Latschinske, Wittich und Moser Opitz (2013), beschreibt den Zusammenhang zwischen SES und mathematischem Kompetenzerwerb damit, dass entweder die sprachlichen Einschränkungen, wie mangelnde Sprachrezeption oder gestörte auditive Figur-Grund-Wahrnehmung, dem unzureichenden mathematischen Kompetenzerwerb zugrunde liegen, die sogenannte *Epiphänomen-Hypothese*, oder, dass Faktoren, die sowohl für das sprachliche als auch das mathematische Lernen von Bedeutung sind, die Schwierigkeiten in beiden Bereichen bedingen. Als Einflussfaktor in dieser *Drittfaktor-Hypothese* wird das Arbeitsgedächtnis genannt, das beide Entwicklungsbereiche mitbestimmt.

Schröder und Ritterfeld (2014) nennen mentale Repräsentationen als ursächlich, deren Erwerb durch Sprache beeinflusst ist und bei Kindern mit SES eingeschränkt erworben werden.

4.5 Zusammenhang zwischen mathematischen und sprachlichen Fähigkeiten

Ausgehend von zahlreichen Veröffentlichungen, stellt Schröder (2014, S.94) fest, dass „mathematisches Lernen niemals ohne Sprache stattfinden kann“.

Im Zusammenhang mit Kindern mit umschriebener Spracherwerbsstörung (USES), stellten Ritterfeld, Starke, Rohm, Latschinske, Wittich, & Moser Opitz (2013) zwei Hypothesen auf.

Der Epiphänomenhypothese geht davon aus, dass bei Kindern mit USES Schwierigkeiten beim mathematischen Lernen direkt auf die

Sprachbeeinträchtigung zurückzuführen sind, wohingegen der Drittfaktorhypothese die Annahme zugrunde liegt, dass es einen weiteren gemeinsamen Faktor gibt, der Einfluss hat auf das sprachliche und mathematische Lernen. Die Autoren benennen das Arbeitsgedächtnis als diesen dritten Faktor.

Die Epiphänomenhypothese baut darauf auf, dass die Verknüpfung Sprache und Mathematik neben dem Erwerb der Zahlwortreihe auch dadurch gegeben ist, dass nonverbales Zahlenwissen durch Sprache rekonstruiert werden kann. Sprache ermöglicht das Herstellen von semantischen Bezügen und damit auch den mathematischen Diskurs in der sozialen Interaktion. Somit sind nach Schröder (2014) sprachliche Fähigkeiten einerseits Grundlage für das mathematische Lernen, andererseits wird die Sprachkompetenz auch durch den Erwerb der mathematischen Fachsprache ausgeweitet.

Paetsch, Radmann, Felbrich, Lehmann & Stanat (2016) führen in ihrer Studie zur „Sprachkompetenz als Prädiktor mathematischer Kompetenzentwicklung“ an, dass Sprachförderung von Kindern mit nicht-deutscher Erstsprache und Kindern mit deutscher Familiensprache, aber geringer Sprachkompetenz, erfolgversprechend sein können. Jedoch wird einschränkend festgestellt, dass es nicht geklärt ist, wie diese sprachliche Förderung im Mathematikunterricht zu gestalten ist, damit es zu einer Verbesserung der mathematischen Kompetenzen kommt.

Zusammenfassend kann gemäß Meyer & Prediger (2012) angeführt werden, dass Sprache für den Erwerb mathematischer Kompetenzen und im Unterricht 3 Funktionen erfüllt.

Sprache ist Medium des Lernens, aber auch eine Lernvoraussetzung, sie ist aber auch Gegenstand des Lernens und muss als Fachsprache gezielt erworben werden.

4.6 Alltags-, Bildungs- und Fachsprache und mathematisches Lernen

Wie im vorangegangenen Abschnitt dargestellt, gibt es beim (mathematischen) Lernen verschiedene sprachliche Einflussfaktoren, welche es zu berücksichtigen gilt.

Der Schulunterricht bedient sich dreier sprachlicher Register: der Alltagssprache, der Bildungssprache und der Fachsprache.

Im Mathematikunterricht stellt die Fachsprache mit spezifischen Begriffen und Satzstrukturen laut Meyer & Prediger (2012) eine besondere Herausforderung dar.

4.6.1 Begriffsklärung

Alltags-, Bildungs- und Fachsprache sind im linguistischen Sinne keine eigenen Sprachen, sondern sprachliche Register, womit nach Meyer & Prediger (2012) funktionsspezifische Sprachweisen gemeint sind, die optimierte Bedeutungen hervorbringen.

Alltagssprache ist jenes sprachliche Register, welches im näheren sozialen Umfeld und in Alltagssituationen Anwendung findet. Der Erwerb verläuft gemäß Buttler, Fuchs, Linsmeier & Sampl (2017) ungesteuert und innerhalb kurzer Zeit. Die Alltagssprache bildet die Verstehensbasis, an der die Bildungs- und Fachsprache anknüpfen können.

Unter Bildungssprache ist jene Sprache zu verstehen, derer sich bei der Wissensvermittlung im Bildungskontext bedient wird. In der Schule wird die Bildungssprache im Beschreiben oder Verbalisieren von schulischen Situationen, zum Beispiel beim Experimentieren, angewendet.

Die Bildungssprache enthält nach Buttler et al. (2017) klare linguistische Merkmale. Auf morphologischer und syntaktischer Ebene enthält sie deutlich komplexere Strukturen als die Alltagssprache. Es werden gehäuft bestimmte Konnektoren, Satzverknüpfungen, zum Beschreiben oder Gegenüberstellung bei Argumentationen, Modalverben zur Formulierung von Annahmen, sowie Nominalisierungen und Passivkonstruktionen eingesetzt. Der Einsatz von Bildungssprache erfordert meist auch ein abstrahierendes Sprachdenken, um kontextentbundene Inhalte kognitiv erfassen zu können.

Schmölzer-Eibinger (2013, S. 27) beschreibt diese konzeptionell schriftliche Sprache gekennzeichnet durch „Komplexität, Abstraktheit, Kontextentbundenheit, Explizitheit und Kohärenz“ und weist ihr damit einen hohen Grad an sprachlicher Kompetenz nach, deren Erwerb Schulkinder immer wieder vor große Herausforderungen stellt.

Die Fachsprache als drittes sprachliches Register in Bildungskontexten ist nach Meyer & Prediger (2012) geprägt durch spezifische Begriffsdefinitionen, deren Bedeutungen deutlich voneinander abgegrenzt sind. Auf Satz- und Textebene stehen wie beim Register Bildungssprache Dekontextualisierungen im Vordergrund.

4.6.2 Fachsprache Mathematik

Ufer, Reiss & Mehringer (2013) führen an, dass sich die mathematische Fachsprache deutlich von der Alltagssprache unterscheidet. So haben Begrifflichkeiten zum Teil andere Bedeutungen als in der alltäglichen Kommunikation und ein entsprechendes Sprachniveau nötig ist, um im Mathematikunterricht teilhaben zu können. Um tragfähige mathematische Konzepte entwickeln zu können bedarf es daher neben der handlungs- und anschauungsorientierten Vermittlung mathematischer Inhalte, immer auch der

sprachlichen Auseinandersetzung mit komplexeren mathematischen Sprachkonstruktionen und Begrifflichkeiten.

Studien mit Kindern mit semantisch-lexikalischen Sprachstörungen zeigen, dass sich ein gestörter Wortschatzerwerb auch auf den mathematischen Kompetenzerwerb auswirkt. Mayer (2016) gibt hierzu an, dass die Wortschatzleistung nicht nur mit der Zahlverarbeitung sondern auch mit der Rechenfertigkeit korreliert. Spracherwerbsgestörte Kinder haben demnach nicht nur Schwierigkeiten beim Erlernen der Zahlwortreihe, aufgrund von Inversion und unregelmäßiger Bildung, sondern auch bei der Speicherung und beim Abruf von mathematischem Faktenwissen.

Der Erwerb von Fachwörtern und Fachsprache bereitet jedoch nicht nur Kindern mit Spracherwerbsstörung Schwierigkeiten. So ist doch der enorme Fachwortschatz, welcher nach Lauter (1997, zit. n. Schröder, 2014) im Fach Mathematik in der Grundschule etwa 500 Wörter umfasst, auch für Kinder mit schwacher Sprachkompetenz oder einer nicht-deutschen Erstsprache häufig eine große Herausforderung.

Zudem ist die Bedeutung mathematischer Begrifflichkeiten häufig eine andere als die der Alltagsbegriffe und beziehen sich meistens auf abstrakte Beziehungen und Muster, was nach Nolte (2007) bei Lernenden zu Missverständnissen und Verwechslungen führen kann.

5 Empirische Forschung

5.1 Forschungsfragen und Hypothesen

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Frage nach der Bedeutung der Sprache für das Beherrschen mathematischer Operationen. Im Detail soll geklärt werden, welchen Stellenwert verbale-mathematische Repräsentationen gegenüber räumlich-numerischen haben und welche mathematischen Fähigkeiten und rechnerischen Fertigkeiten sich wovon abhängiger zeigen.

Die Bedeutung des „mentalen Zahlenstrahls“, das Wissen um numerische Größenordnungen und deren Zusammenhang im mentalen Zahlenraum, für die Entwicklung mathematischer Kompetenzen ist bereits vielfach erforscht und belegt.

Nach Daroczy et al. (2015) können mathematische Lösungsstrategien sowohl durch sprachliche Faktoren wie Formulierungen, semantische Kategorien und Sätze, als auch durch numerische Faktoren wie die Zahlengröße beeinflusst werden. Mathematische Leistungen ergeben sich somit aus der Verknüpfung sprachrelevanter und räumlicher Prozesse im Gehirn.

Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist nun, wie sich die Transferleistung der Verbalisierung arithmetischer Operationen auf die mathematische Kompetenz darstellt und wie sich die Gewichtung sprachlicher und numerisch-räumlicher Faktoren beim Erwerb mathematischer Kompetenzen gestaltet bzw. gestalten sollte.

Über die Quantifizierung der Effektstärken der beiden trainierten Fähigkeiten, numerisch-räumliche Vorstellung und verbale Verhältnisbeschreibung, und in Kontrast zur Kontrollgruppe, soll untersucht werden, wie und auf welche mathematischen Fertigkeiten, sich die Förderung jeweils auswirkt.

Hierbei wird, wie in der Studie von Daroczy et al. (2015) „gefordert“, zwischen arithmetisch- und verbal-komplexen Aufgabentypen unterschieden, um den Einfluss der jeweiligen Trainings in Bezug zur Aufgabentype zu setzen, womit die Abgrenzung der räumlich-numerischen zur verbal-numerischen Fähigkeit und ein Erkenntnisgewinn zur notwendigen Gewichtung beider Bereiche in einem mathematischen Lernsetting möglich wird.

Aus den dargelegten Fragestellungen ergeben sich folgende Hypothesen

- Das verbal-strategische Training führt zu einem signifikanten Zuwachs rechnerischer Fertigkeiten.
- Die Schülerinnen und Schülern der verbal-strategischen Trainingsgruppe erzielen im Posttest ein signifikant besseres Ergebnis als die der Kontrollgruppe.
- Die Schülerinnen und Schülern der räumlich-numerisch Trainingsgruppe erzielen im Posttest ein signifikant besseres Ergebnis als die der Kontrollgruppe.
- Der Leistungszuwachs in den einzelnen Aufgabenkategorien unterscheidet sich bei der verbal-strategischen und der räumlich-numerischen Trainingsgruppe:
Die Ergebnisse der Kinder der räumlich-numerischen Trainingsgruppe erzielen signifikant bessere Ergebnisse bei den Items der Bereiche „Zahlbeziehungen“ und „Räumliche Zahlrepräsentation“, als die der Kontroll- und der verbal-strategische Trainingsgruppe.
Die verbal-strategische Trainingsgruppe erzielt im Nachtest signifikant bessere Ergebnisse in der Strategieranwendung und den Aufgaben zum Operationsverständnis als die Kontroll- und räumlich-numerische Trainingsgruppe.

5.2 Methode

Die, dieser Masterthesis zugrundeliegende, quantitative Forschung wird als quasi-experimenteller Versuch durchgeführt. Die Probandinnen und Probanden werden nicht in Versuchsgruppen zugeteilt, sondern es liegt bereits eine Einteilung durch bestehende Gruppen, in diesem Fall Schulklassen, vor.

Es gibt 2 Versuchsgruppen und eine Kontrollgruppe.

Die Ausgangsdaten werden in allen Gruppen mit einem Wortschatztest und einem mathematischen Test zur Überprüfung der Ausgangslage erhoben.

Nach der Durchführung der Interventionen in den beiden Versuchsgruppen, kommt ein mathematischer Posttest zur Anwendung. Hierbei soll über das Ausweisen der Effektstärke des durchgeführten Trainings, die von den Gruppen erzielten Resultate miteinander verglichen werden.

5.2.1 Beschreibung der Stichprobe

Alle Probandinnen und Probanden sind Schülerinnen und Schüler der dritten Klasse einer Grazer Volksschule.

Die Klassengruppen setzen sich wie folgt zusammen:

Die Klasse A, dies ist die Kontrollgruppe, besuchen 20 Kinder, von 18 konnten die Daten ausgewertet werden. Es sind 10 Jungen und 8 Mädchen, für 6 Kinder ist Deutsch nicht die Erstsprache.

Die Klasse B, Versuchsgruppe 1, besuchen 22 Kinder, alle Daten konnten ausgewertet werden. Es sind 13 Mädchen und 9 Jungen, für 3 Kinder ist Deutsch nicht die Erstsprache.

Die Klasse C, Versuchsgruppe 2, besuchen 21 Kinder, von 20 konnten die Daten ausgewertet werden. Es sind 9 Mädchen und 11 Jungen, für 13 Kinder ist Deutsch nicht die Erstsprache. Die Klasse wird als 2-sprachige Schwerpunktklasse geführt, alle Schülerinnen und Schüler erhalten integrativen BKS-Unterricht, die 13 Kinder, die Deutsch als Zweitsprache sprechen, haben Bosnisch, Kroatisch oder Slowenisch als Erstsprache.

5.2.2 Forschungsdesign und Durchführungsmodalitäten

Das Forschungsdesign ist eine Längsschnittstudie mit 2 Messzeitpunkten, Pre- und Posttests, welche als Panelstudie mit der gleichen Stichprobe durchgeführt werden.

Die Einteilung der Gruppen erfolgt durch regionale Bedingungen, ist also nicht randomisiert.

Die Intervention findet nur in den beiden Versuchsgruppen statt, somit kann die Effektstärke im direkten Vergleich mit der Kontrollgruppe ermittelt werden.

In der Kontrollgruppe (KG) wird der Unterricht in gewohnter Weise durch die Klassenlehrperson durchgeführt. Im Interventionszeitraum wird der Zahlenraum auf 1000 ausgeweitet und entsprechend diesem Zahlenraumem die Grundrechenarten gefestigt.

In der Versuchsgruppe 1 (VTG) wird ein Interventionstraining mit 9 Einheiten zu je 100 Minuten durchgeführt (siehe Kapitel Interventionsmaßnahmen), dies

entspricht 2 Schulstunden. Alle Einheiten werden gemeinsam mit der Autorin und der Klassenlehrperson durchgeführt.

Die Versuchsgruppe 2 (RTG) erhält Trainingsmaterialien (siehe Kapitel Interventionsmaßnahmen), welche über einen Zeitraum von 9 Wochen, jeweils 2-3-mal pro Woche, für circa 15 Minuten, im Unterricht zum Einsatz kommen. Nach einer Einschulung wird das Training selbstständig durch die Schülerinnen und Schüler, unter Begleitung der Klassenlehrperson, durchgeführt.

5.2.3 Interventionsmaßnahmen

Die Versuchsgruppe 1 erhält ein verbal-strategisches Rechentraining, während das Trainingsmaterial für die Versuchsgruppe 2 aus Übungen zur Schulung räumlich-numerischer Fähigkeiten besteht.

5.2.3.1 Verbal-strategisches-Rechentraining (VT)

Die zentralen Inhalte dieser Interventionsmaßnahme stellen der Aufbau eines aktiven mathematischen Fachwortschatzes, als semantisches Training, und die Schulung der mathematischen Diskursfähigkeit dar.

Das Training vollzieht somit den Bogen von der Alltagssprache zur Fachsprache durch Erarbeitung von mathematischen Begriffen und die Arbeit mit Schlüsselbegriffen und Wortspeichern.

Das Bewusstmachen der Funktion von Sprache zur Verbalisierung und dem Diskurs von und über mathematische Probleme und Lösungen ist dabei ein zentraler Bestandteil der Intervention.

Die Schülerinnen und Schüler werden gemäß den geforderten Kompetenzen im Bereich „Kommunizieren“ darin geschult, ihre Überlegungen und Lösungswege zu verbalisieren, um Vergleiche untereinander zu ermöglichen.

„Kommunizieren ist eine mathematische Grundtätigkeit, wenn Mathematik als ein System von Kommunikationssymbolen verstanden wird. Dazu gehört es, eigene Gedanken und Lösungswege zu verbalisieren, zu protokollieren, Sachverhalte auf verschiedene Weise darzustellen und mit anderen zu erörtern“ (BIFIE & BMUKK, 2009, S. 12).

Zu Beginn der Intervention stehen Übungen zum Auf- und Ausbau der Fachsprache. Hier werden Begrifflichkeiten für arithmetische Operationen immer zusammen mit der entsprechenden Handlungskette eingeführt und gefestigt. Die Begriffe werden, wie von Götze (2013) empfohlen, in einem Wortspeicher gesammelt und in Alltags- bzw. Unterrichtssprache übersetzt und, sofern möglich, bildlich dargestellt.

Ein weiterer Schwerpunkt des semantischen Trainings ist das Erkennen von Schlüsselwörtern, die auf eine bestimmte Operation hinweisen und somit richtungsweisend für die anzuwendende Rechenart sind. Mittels des eingeführten Wortschatzes können eigene Lösungswege erklärt oder Lösungen von anderen hinterfragt werden.

Neue Fachbegriffe werden gemäß dem WEGE-Konzept, welches im Rahmen des Projekts „PIKAS“ des Deutschen Zentrums für Lehrerbildung Mathematik entstanden ist, direkt nach deren Einführung in Übungssequenzen angewendet. Dabei werden im Sinne des „Mikro-Scaffolding“ nach Gibbons & Hammond (2005) anfänglich noch Satz-Modelle zur Orientierung vorgegeben. Diese sprachlichen „Stützen“ werden schrittweise minimiert, bis der Fachwortschatz innerhalb von Satzstrukturen korrekt reproduziert werden kann.

Um mathematische Operationen handlungsorientiert zu erfassen und verbal zu verankern, werden Handlungen in den Trainingssequenzen stets sprachlich begleitet. Zur Festigung der Inhalte wird auf kooperative Lernmethoden gesetzt,

welche die Erprobung der erworbenen Fachsprache ermöglichen und die Diskursfähigkeit weiter steigern.

Der „Höhepunkt“ der Intervention ist die Durchführung einer Mathematik-Konferenz. Hierbei müssen alle erworbenen Kompetenzen eigenproduktiv Einsatz finden, um sich über individuelle Lösungsstrategien und -wege austauschen zu können. Dieses Vorgehen entspricht den Basiselementen des kooperativen Lernens. Die Lernenden vollziehen dabei mit vorbereiteten Materialien ihre individuellen Lösungswege, diese werden in der Kleingruppe analysiert, verglichen und bei Bedarf adaptiert. Die Diskussion soll einen gemeinsamen Lösungsweg hervorbringen, dessen Auswahl im Plenum begründet werden muss. Von Bedeutung sind deswegen vor allem das verbale Erläutern und Argumentieren des Lösungsweges, um eventuell unterschiedliche, aber korrekte Strategien zu erkennen. Im Anschluss werden die Ergebnisse präsentiert, wobei jedes Gruppenmitglied das jeweilige individuelle Ergebnis und die Gruppe gesamt den gemeinsam gewählten Lösungsweg samt Begründung zur Diskussion stellt. Im Plenum werden Rückmeldungen zur gewählten Lösungsstrategie der Gruppe und der einzelnen Mitglieder gegeben. Somit erfahren alle Lernenden eine Einschätzung zur Gruppenaktivität und zu ihrer individuellen Arbeit und.

Das Ziel der Intervention ist es, Sprache nicht nur zur Vermittlung mathematischen Wissens zu verwenden, sondern durch wiederholte Verbalisierung mathematischer Operationen, sich der verbalen Speicherebene zu bedienen und so mentale, sprachgebundene Repräsentationen neuronal zu verankern. Die gewählten Methoden des kognitiven und sozialen Lernens dienen zur Motivation und sollen durch ihr interaktives Setting einerseits den Lernzuwachs begünstigen und zugleich den Rahmen für Anwendung und Festigung der mathematischen Sprache bieten.

5.2.3.2 Räumlich-numerisches Training (RT)

Das räumlich-numerische Training erfolgt mittels einer von der Autorin erstellten Lernkartei.

Die Kartei enthält, in Anlehnung an den „mentalen Zahlenstrahl“ von Dehaene (1999), Aufgaben zur Förderung des Verständnisses von Zahleigenschaften, Zahl- und Größenbeziehungen und dient somit dem Aufbau des Zahl- und Mengensystems.

Enthalten sind 5 verschiedene Aufgabentypen auf wiederbeschreibbaren Karteikarten:

- Zahlwortreihe im Zahlenraum 100
- Zehnerschritte im Zahlenraum 100
- Vorgänger-, Nachfolgerzahlen/-zehner
- Zuordnungen am Zahlenstrahl
- Zahlbeziehungen

Die Aufgabekarten zu den Bereichen Zahlwortreihe, Vorgänger-, Nachfolgerzahlen, Zuordnungen am Zahlenstrahl und Zahlbeziehungen sind in bis zu drei, sich steigernden, Schwierigkeitsstufen vorhanden. Der Wechsel zum nächsthöheren Aufgabenniveau erfolgt immer nach Bearbeitung aller Aufgaben des niedrigeren Schwierigkeitslevels.

Die Lösungen sind zur Selbstkontrolle auf der Rückseite der Karteikarten angegeben.

Jede Schülerin und jeder Schüler erhält einen Kartei-Pass, in diesem werden die erledigten Aufgabennummern abgekreuzt, wodurch nachvollzogen werden kann, welche Aufgaben noch fehlen.

Nach Bearbeitung aller Karteikarten einer Aufgabenkategorie können die Schülerinnen und Schüler als „Profis“ selbst Karteikarten erstellen. Hierfür werden zu jeder Kategorie Blanko-Karten zur Verfügung gestellt. Die selbst erstellten Aufgaben werden durch die Lehrperson kontrolliert und in die Kartei

eingefügt. Fortan können alle Mitschülerinnen und Mitschüler auch diese Aufgaben wählen.

Zur weiteren Motivation dienen die Kartei-Pässe, die gesammelten Punkte können in einem Belohnungssystem eingetauscht werden.

5.2.4 *Deskription der Messinstrumente*

Vor der eigentlichen Datenerhebung werden mittels eines standardisierten Wortschatztests und einer Erhebung zur Feststellung der mathematischen Kompetenzen aller Probandinnen und Probanden durchgeführt. Dies ermöglicht im Vergleich mit einem Posttest nach der Intervention den Trainingseffekt zu messen.

5.2.4.1 *GraWo – Grazer Wortschatztest*

Der von Seifert, Paleczek, Schwab & Gasteiger-Klicpera (2017) herausgegebene Wortschatztest dient der Messung des rezeptiven Wortschatzes bei Kindern mit Deutsch als Erst- und als Zweitsprache. Der angegebene Anwendungszeitraum ist die erste bis dritte Schulstufe, die Normierung hat mit 1415 Kindern dieser Klassenstufen im Schuljahr 2015 stattgefunden.

Die Autorinnen definieren den rezeptiven Wortschatz dabei als Fähigkeit mündlich oder schriftlich dargebotene Wörter verarbeiten zu können und deren Bedeutung zu erfassen. Dabei gehen sie davon aus, dass Wörter in einem mentalen Lexikon gespeichert werden, wobei die Informationen der verschiedenen linguistischen Ebenen als einzelne Repräsentationen miteinander verknüpft sind.

Die Sprachrezeption ist Voraussetzung für die gesprochene Sprache und ermöglicht so erst Kommunikation. Aus diesem Grund ist die Vorerhebung des Wortverständnisses vor allem für die geplante verbal-strategische Intervention von großer Bedeutung. Nach Meyer & Prediger (2012) kann nur bei ausreichendem Verständnis der (Alltags-) Sprache, ein Fachwortschatz implementiert werden und in das mentale Lexikon Einzug finden und so Teil des sprachlichen Registers werden.

Der GraWo besteht aus 30 Aufgaben zur Wort-Bild-Zuordnung, wobei vorgegebene Wörter jeweils einer entsprechenden bildlichen Darstellung zugeordnet werden sollen. Jedes Zielwort hat dabei drei Distraktoren, welche als semantische oder phonologische „Ablenker“ dienen. Die Testitems überprüfen fünf Wortarten, Nomen, Verben, Adjektive und Präpositionen.

Der Test wird im Klassensetting durchgeführt, die testende Person bespricht vorab zwei Beispielitems, um das Aufgabenverständnis zu gewährleisten. Die Schülerinnen und Schüler kreuzen pro Item ein zum präsentierten Wort passendes Bild an. Der Durchführungszeitraum beträgt je nach Klassenstufe 15-30 Minuten.

Bei der Auswertung wird gemäß Seifert et al. (2017) der Rohwert über die Gesamtheit der korrekt gelösten Aufgaben berechnet und der entsprechende Prozentrang anhand der Normtabelle ermittelt.

Gemessen am Testgütekriterium der Reliabilität stellt sich der GraWo als sehr zuverlässig dar. Die internen Konsistenzwerte für die Gesamtstichprobe (N = 1415) liegt nach Cronbach Alpha bei 0.79 bis 0.88. Die Mittelwerte sind gesondert für die österreichischen und deutschen Schulen angegeben, $M(\text{Ö}) = 25.92$ mit $SD = 4.19$ bei $N = 1172$, $M(\text{D}) = 24.16$ mit $SD = 5.04$ bei $N = 243$. Der Unterschied zwischen den österreichischen und deutschen Schulen ist bei Cohen $d = -0.36$, eher gering. Für das Gütekriterium Validität konnte eine mittlere bis hohe Korrelation von $r = 0.55$ bis 0.89 zwischen GraWo und WWT 6-10 (Glück, 2011, Wortschatz- und Wortfindungstest für 6- bis 10-Jährige) nachgewiesen werden.

Die Erhebung des Wortschatzes der Probandinnen und Probanden wird gemäß einer Studie von Mayer (2016) damit begründet, dass die Wortschatzleistung erheblich mit der Zahlenverarbeitung und der Rechenfertigkeit korreliert.

5.2.4.2 KompTe – Kompetenzorientierter Test mathematischer Fähigkeiten

Vor Beginn der Intervention und nach deren Abschluss kommt ein Test zum Einsatz, welchen die Autorin in Anlehnung an den von Wieneke & Kwapis (o. J.) am Zentrum zur Therapie von Rechenschwäche konzipierten „Förderdiagnostischen Rechentest“ erstellt hat.

Auf den Einsatz eines standardisierten Rechentests wurde verzichtet, da für die Ermittlung der Effektstärke eine qualitative Erhebung notwendig ist und der Vergleich mit Altersnormtabellen nicht im Sinne des Forschungsgegenstandes ist.

Der Vorabtest wird im Zahlenraum 100 (KompTe A), der Pretest im Zahlenbereich bis 1000 (KompTe B) durchgeführt. Es werden Grundrechenkenntnisse, sowie deren Anwendung in Sachaufgaben gefordert und Aufgaben zur Orientierung im jeweiligen Zahlenraum gestellt.

Stern (2013) beschreibt das Lösen von mathematischen Sachaufgaben als einen Vorgang, der ein hohes mathematisches Verständnis ausdrückt. So führt sie in ihrer Studie an, dass das Vermögen eine Textaufgabe zu lösen auf der 2. Schulstufe höher mit der mathematischen Leistung auf der 11. Stufe korreliert als alle anderen Leistungen.

Die Testitems sind den folgenden Kategorien zugeordnet:

- Inverse Zahlwortbildung und Mengenbegriff
- Seriation bei der Addition
- Zusammenhang zwischen Addition und Subtraktion
- Operationslogik der Multiplikation

- Operationslogik bei additive Rechenverfahren
- Zusammenhang zwischen Addition und Multiplikation
- Zusammenhang zwischen Multiplikation und Division
- Zahlbeziehungen
- Räumliche Zahlrepräsentation
- Funktionen/Beziehungen von Zahlen in Gleichungen
- Mathematisches Modellieren

5.2.4.2.1 Inverse Zahlwortbildung

Die Aufgaben zielen auf die Kenntnisse in Bezug der inversen Zehner-Einer-Schreibung in der deutschen Sprache ab.

5.2.4.2.2 Mengenbegriff

Das Verständnis für die Menge „hinter“ einem Zahlwort, der kardinale Aspekt einer Zahl, ist elementare Bedingung für den Erwerb der Rechenfertigkeiten.

5.2.4.2.3 Räumliche Zahlrepräsentation

Hierbei werden Aufgaben zur räumlichen Anordnung numerischer Größen gestellt, welche sich gemäß Dehaene (1999) bei kompetenten Rechnerinnen und Rechnern als mentale räumliche Repräsentationen verankert haben.

5.2.4.2.4 Operationslogik und Zusammenhänge zwischen den mathematischen Operationen

Eine Voraussetzung für die Einsicht in mathematische Operationen ist nach Schäfer (2013) das Verstehen des Teile-Ganzes-Konzeptes. Bei der Addition werden Teile zu einem Ganzen zusammengesetzt, während bei der Subtraktion Teile vom Ganzen weggenommen werden. Somit ist auch die Umkehrung dieser beiden Operationen durch die jeweils andere gegeben. Werden gleiche Teile zu einem Ganzen zusammengefügt, wird multipliziert wohingegen beim Dividieren das Ganze in gleiche Teile zerlegt, aufgeteilt, wird.

Anhand von kommutativen Aufgaben soll die Einsicht in diese operativen Zusammenhänge geprüft werden.

5.2.4.2.5 Funktionen und Beziehungen von Zahlen in Gleichungen

Bei diesen Items geht es um das Verständnis für die Zusammenhänge bzw. Abhängigkeit von Größen in Gleichungen und somit dafür, dass sich bei Änderung einer Größe die andere, abhängige, auch ändern muss.

5.2.4.2.6 Mathematisches Modellieren

Bei den Aufgaben zum mathematischen Modellieren soll Mathematik in Realsituationen bzw. Situationen mit Realitätsbezug erkannt werden und in „mathematischer Sprache“, also mit Zahlen und mathematischen Operationen, beschrieben werden.

Im Unterschied zu normierten Testungen, wie dem Eggenberger Rechentest von Schaupp, Holzer & Lenart (2008) oder dem Deutschen Mathematiktest, DEMAT, von Krajewski, Küspert & Schneider (2002), werden verbale Erklärungen zu den Lösungsansätzen gefordert. Die Auswertung dieser Antworten ist für die Aussage über den Effekt des verbalen-strategischen Trainings relevant.

Insgesamt müssen im KompTe A 10 und im KompTe B 12 Aufgaben bearbeitet werden.

Die Auswertung erfolgt einerseits hinsichtlich der Rechenperformanz und andererseits in Bezug auf die Anwendung und Nachvollziehbarkeit der angewendeten Strategie. Das heißt, ob es den Probandinnen und Probanden gelingt ihre Lösungen verbal zu erklären und die zugrundeliegenden Operationen zu erkennen. Diese Auswertung geschieht in Hinblick auf die von Stern (2013) angeführten Unterschiede zwischen intuitivem und kulturellem mathematischem Verständnis. Textaufgaben weisen häufig die Notwendigkeit eines mentalen Modells auf, welches zum Beispiel für das Erkennen von Relationen zwischen Mengen hergestellt werden muss und auf Aufgaben, die sich nicht auf eine konkret existierende Menge beziehen, welche intuitiv erfasst werden kann.

5.3 Auswertung der Daten

5.3.1 GraWo

Die beim Grazer Wortschatztest erhobenen Ergebnisse wiesen in allen drei Gruppen ähnliche Werte auf, somit gibt es hier keine Einschränkungen in Bezug auf die Wortschatzkompetenz zwischen den Gruppen.

5.3.1.1 Ergebnisse KG

Der für die Kontrollgruppe ermittelte T-Mittelwert liegt bei 55,2.

3 Kinder zeigen unterdurchschnittliche Leistungen, 17 Kinder durchschnittliche.

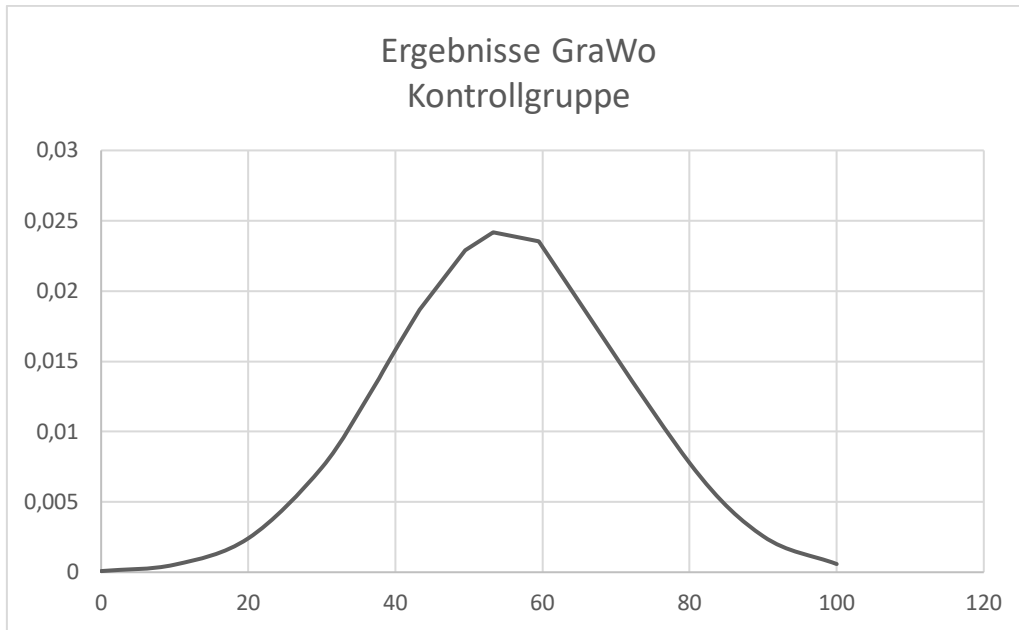


Abbildung 22: Ergebnisse GraWo, Kontrollgruppe

5.3.1.2 Ergebnisse RTG

Der für die Kontrollgruppe ermittelte T-Mittelwert liegt bei 47,3.

4 Kinder zeigen unterdurchschnittliche Leistungen, 11 Kinder durchschnittliche.

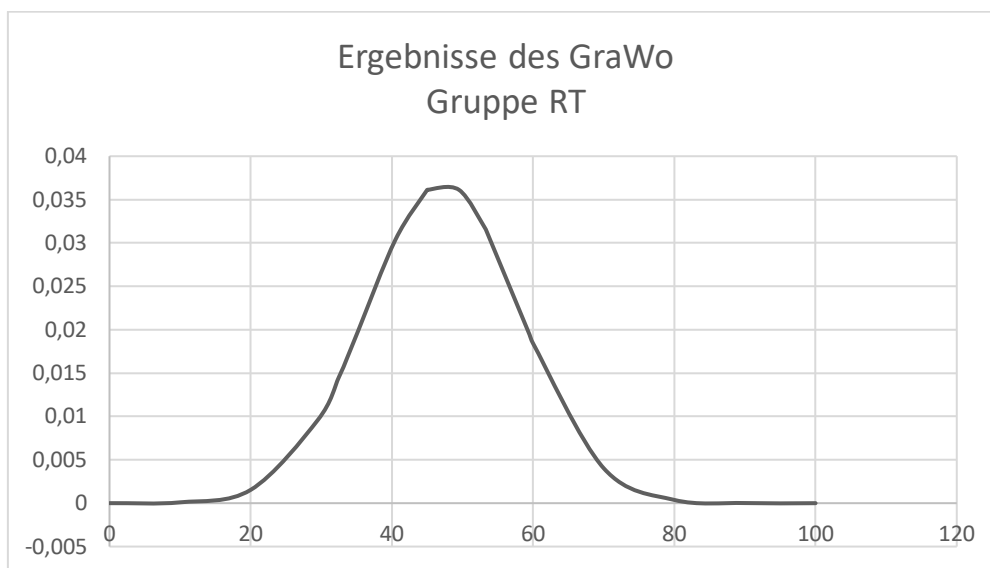


Abbildung 23: Ergebnisse GraWo, räumlich-numerische Trainingsgruppe

5.3.1.3 Ergebnisse VTG

Der für die Kontrollgruppe ermittelte T-Mittelwert liegt bei 54,9.

3 Kinder zeigen unterdurchschnittliche Leistungen, 19 Kinder durchschnittliche bis überdurchschnittliche Ergebnisse.

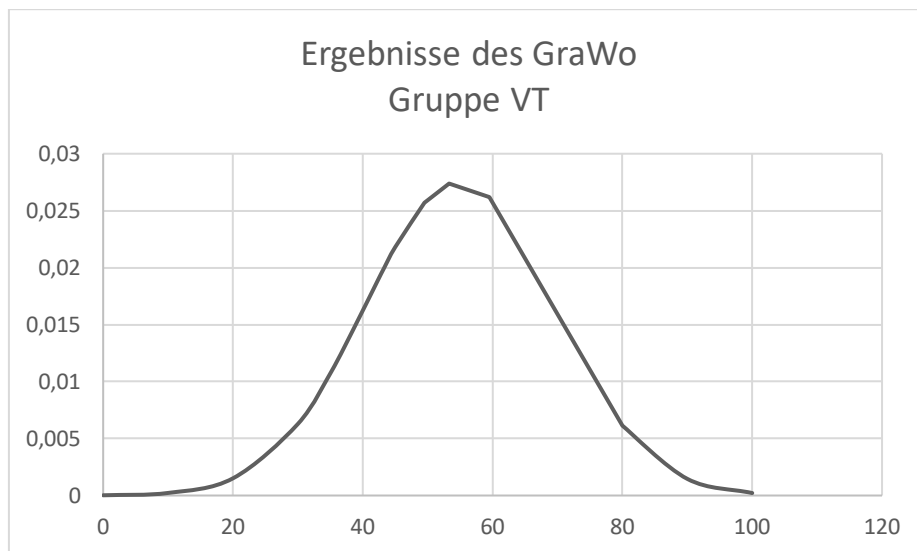


Abbildung 24: Ergebnisse GraWo, verbal-strategische Trainingsgruppe

5.3.2 KompTe A und KompTe B

Insgesamt wurden 17 Parameter vor und nach der Studienperiode bestimmt, davon zielen 9 Werte auf die Rechenperformanz und 8 Parameter auf die verwendeten Rechenstrategie ab:

- Inverse Zahlwortbildung und Mengenbegriff
- Seriation in der Addition
- Strategieranwendung zur Seriation in der Addition
- Zusammenhang zwischen Addition und Subtraktion
- Strategieranwendung im Zusammenhang zwischen Addition und Subtraktion

- Operationslogik in der Multiplikation
- Strategieranwendung in der Operationslogik der Multiplikation
- Strategische Operationslogik in additiven Rechenverfahren
- Zusammenhang zwischen Addition und Multiplikation
- Strategieranwendung im Zusammenhang zwischen Addition und Multiplikation
- Zusammenhang zwischen Multiplikation und Division
- Strategieranwendung im Zusammenhang zwischen Multiplikation und Division
- Funktionen und Beziehungen von Zahlen in Gleichungen
- Strategieranwendung in Funktionen und Beziehungen von Zahlen in Gleichungen
- Räumliche Zahlenrepräsentation
- Zahlbeziehungen
- Strategieranwendung des mathematischen Modellierens

Rein deskriptiv zeigte sich bei beiden Interventionen ein Zuwachs beim Erreichen korrekter Lösungen, die Kontrollgruppe konnte ihr Leistungsniveau in etwa halten.

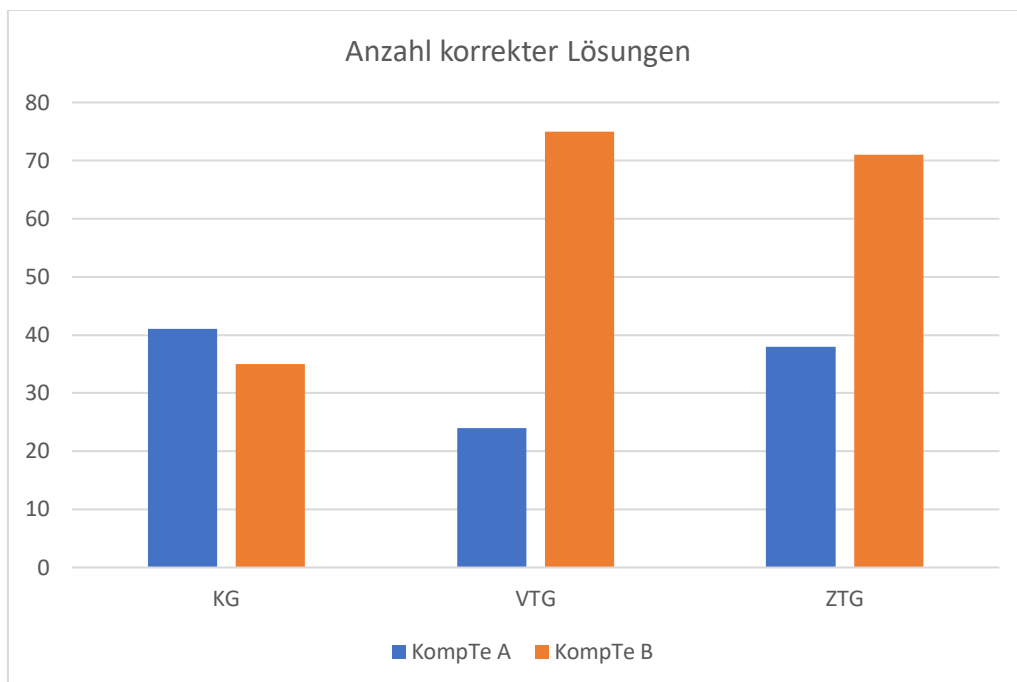


Abbildung 25: Rechenperformanz, Anzahl korrekter Lösungen

5.3.3 Gesamtergebnisse

Der durch das Training erreichte Zuwachs wird für jeden Parameter über die Subtraktion von B-Test minus A-Test bestimmt, die Summe aller 17 Differenzen wird sodann als Teilmenge des Gesamtfortschritt addiert.

Die Parametrisierung erfolgt aufgrund einer „richtig/falsch“-Notation, wobei dem korrekten Ergebnis der Wert = 1 und einem falschen Ergebnis der Wert = 0 zugeordnet wird.

Durch diese „Aufteilung“ der Parameter in 0 oder 1, kann davon ausgegangen werden, dass die Werte nicht normalverteilt sind, weswegen „nicht-parametrische“ Testverfahren zum Einsatz kommen:

Der Wilcoxon-Test testet die Grundgesamtheit der zentralen Tendenzen abhängiger Stichproben und prüft in diesem Fall, ob einer der Parameter unterschiedlich zu Null ist.

Mit dem Mann-Whitney-U-Test werden die zentralen Tendenzen unabhängiger Stichproben überprüft. Der Test wird in dieser Auswertung verwendet, um zu erheben, ob zwei Gruppen verschiedene Niveaus in einem Parameter erreichen.

Das Berechnen des Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten dient der Ermittlung des Zusammenhangs, der Korrelation, zwischen zwei Parametern.

Die beiden Teilbereiche des Gesamtfortschritts, leistungsbezogene und strategiebezogene Parameter, korrelieren leicht miteinander (Spearman-Korrelation: $Rho=0,31$; $p<0,05$), womit von einem Zusammenhang zwischen Strategieanwendung und Performanz ausgegangen werden kann.

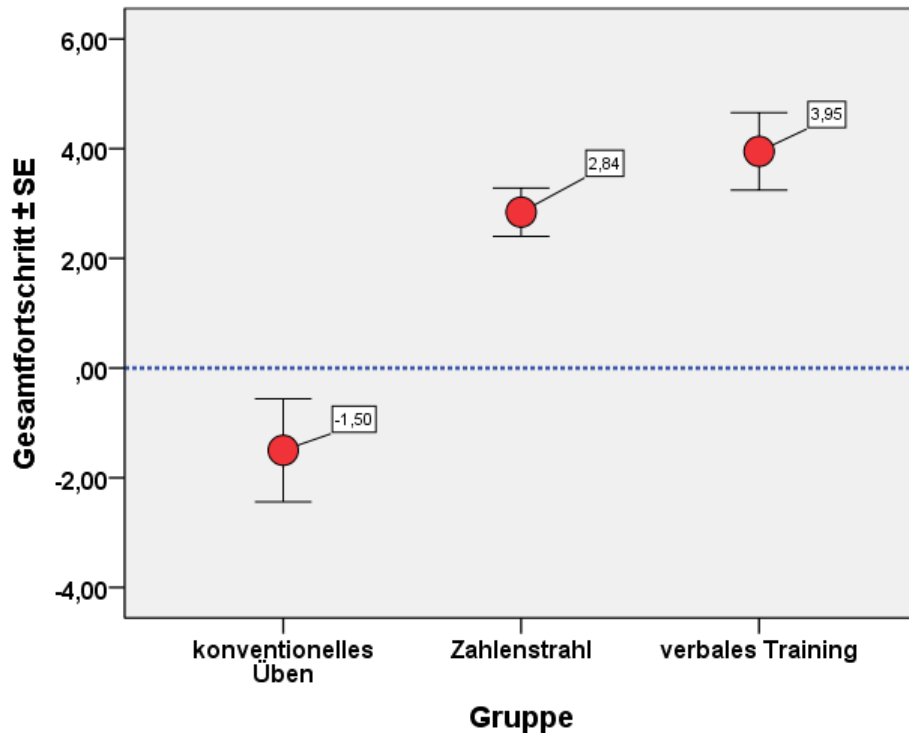


Abbildung 26: Gesamtfortschritt aus der Summendifferenz aller Parameter für die drei Gruppen

Beide Trainingsgruppen zeigen einen messbaren Zuwachs an Kompetenz beim KompTe B (Zahlenstrahl: $p < 0,005$; verbales Training: $p < 0,005$).

Die Kontrollgruppe verliert etwas an Performanz im B-Test (Trend). Die Null-Linie symbolisiert den Null-Zuwachs.

Der Gesamtfortschritt, aus der Summendifferenz aller 17 Parameter, fiel innerhalb der drei Gruppen unterschiedlich aus. Es ist ersichtlich, dass es bei beiden Trainingsgruppen erhebliche Fortschritte gab, sowohl das Gesamtergebnis als auch den Teilbereich Strategieranwendung betreffend. In diesem Teilbereich konnte sich vor allem die verbal-strategische Trainingsgruppe verbessern.

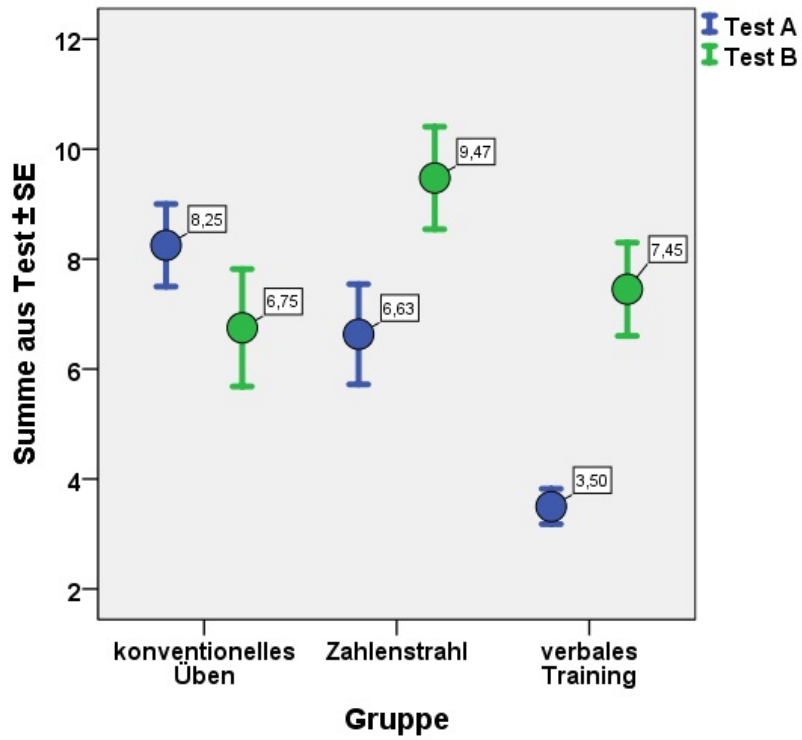


Abbildung 27: Vergleich Prä- Posttest über alle Gruppen

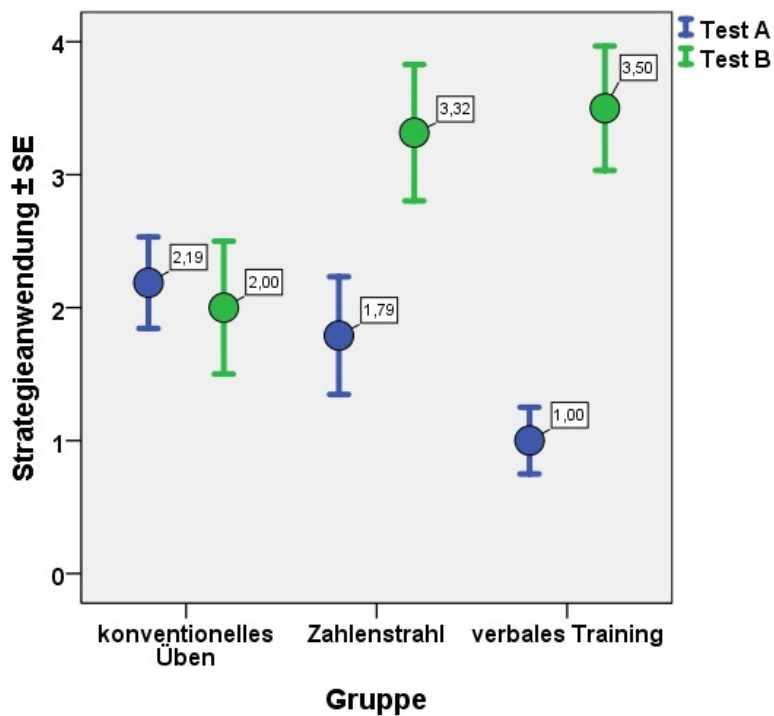


Abbildung 28: Vergleich Strategieanwendung Prä- und Posttest über alle Gruppen

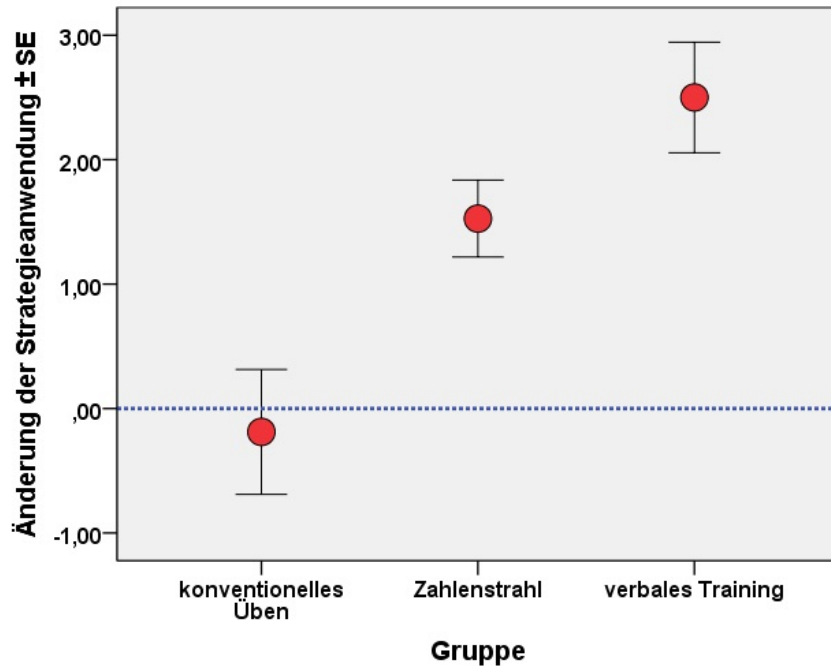


Abbildung 29: Fortschritt bei der Strategieanwendung

5.3.3.1 Kontrollgruppe

Die Ergebnisse des Posttests lagen in der Kontrollgruppe hinter denen des Prätests (-1,5), wobei statistisch gesehen sich dieser Wert nicht von Null unterscheidet (Wilcoxon-Test gegen Null: $Z=-1,43$; $p>0,15$). Auch die Teilmengen des Gesamtfortschritts aus Leistung und Strategieanwendung waren nicht von Null verschieden. Somit konnte in der Studienperiode kein messbarer Trainingsfortschritt in der Kontrollgruppe festgestellt werden.

Test bei einer Stichprobe: Kontrollgruppe

	Testwert = 0					
	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
Gesamtfortschritt	-2,028	17	,058	-1,22222	-2,4936	,0491

Abbildung 30: One-Sample T-Test: Statistisches Maß der Abstände zwischen Nulllinie und den Mittelwerten, KG

5.3.3.2 Räumlich-numerische Trainingsgruppe

Die räumlich-numerische Trainingsgruppe zeigt einen positiven Trainingsfortschritt (2,84), der signifikant messbar war (Wilcoxon-Test gegen Null: $Z=3,72$; $p<0,001$). Dieser Effekt rührt sowohl aus den Leistungsparametern (Wilcoxon-Test gegen Null: $Z=2,42$; $p<0,05$) als auch aus der gewachsenen Kompetenz der Strategieanwendung (Wilcoxon-Test gegen Null: $Z=3,35$; $p<0,001$).

Test bei einer Stichprobe: verbale Trainingsgruppe

	Testwert = 0					
	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
Gesamtfortschritt	3,220	21	,004	1,81818	,6440	2,9923

Abbildung 31: One-Sample T-Test: Statistisches Maß der Abstände zwischen Nulllinie und den Mittelwerten, VTG

5.3.4 Verbal-strategischen Trainingsgruppe

Auch in der verbal-strategischen Trainingsgruppe konnte ein signifikanter Gesamtfortschritt gezeigt werden (Wilcoxon-Test gegen Null: $Z=3,66$; $p<0,001$), der sich aus den Teilbereichen der Leistungsparametern (Wilcoxon-Test gegen Null: $Z=2,43$; $p<0,05$) und aus der verbesserten Strategieanwendung (Wilcoxon-Test gegen Null: $Z=3,64$; $p<0,001$) ergibt.

Test bei einer Stichprobe: Zahlenstrahlgruppe

	Testwert = 0					
	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
Gesamtfortschritt	3,885	18	,001	1,36842	,6285	2,1083

Abbildung 32: One-Sample T-Test: Statistisches Maß der Abstände zwischen Nulllinie und den Mittelwerten, RTG

5.3.5 Teilergebnisse

Zum Errechnen der Einflussgrößen verschiedener Parameter auf den Vergleich zwischen zwei Gruppen, bzw. der Zugehörigkeit zu einer oder mehreren Gruppen, kommt die Diskriminanzanalyse zum Einsatz.

Die Diskriminanzanalyse gewichtet die einfließenden Parameter nach dem Einfluss auf den Unterschied zwischen zwei Gruppen. Die Effektgrößen eines Parametereinflusses können Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Effektgrößen oberhalb 0,2 werden hier (im Falle einer insgesamt signifikanten Diskriminanz) als erklärend und damit berichtenswert klassifiziert. Ziel ist es somit, wesentliche Unterschiede in Bezug auf die Merkmalsvariablen zu identifizieren und Erklärungsmodelle zu generieren (vgl. Decker et al., 2010).

Die Trennschärfe einer Diskriminanzanalyse wird als Quotient aus zwei Determinanten aus den Quadratsummen von Abweichungen innerhalb der Gruppen und den Quadratsummen der Gesamtabweichungen errechnet. Der resultierende Quotient wird als „Wilk’s Lamda“ bezeichnet.

5.3.5.1 Räumlich-numerische Trainingsgruppe

Die Räumlich-numerische Trainingsgruppe hatte schon über den Test gegen Null einen signifikanten Gesamtfortschritt gezeigt. Auch die Diskriminanzanalyse gegenüber der Kontrollgruppe ist daher signifikant (Wilk's Lamda = 0,27; $p < 0,05$).

Effekte oberhalb 0,2 aus der Diskriminanzanalyse zwischen Zahlenstrahl- und Kontrollgruppe	Funktion
Strategie zum Zus. Addition - Subtraktion B-A	,416
Zus. Addition und Multiplikation B-A	,369
Räumliche Zahlenrepräsentation B-A	,260
Strategie zum Zus. Multiplikation und Division B-A	,243

Abbildung 33: Diskriminanzanalyse räumlich-numerische Trainingsgruppe und Kontrollgruppe

Die maßgeblichen Ergebnisse wurden hierbei, wie in den folgenden Abbildungen ersichtlich, vor allem in den Bereichen Strategie zum Zusammenhang von Addition und Subtraktion, Zusammenhang von Addition und Multiplikation, Räumliche Zahlenrepräsentation und Strategie zum Zusammenhang von Multiplikation und Division erzielt.

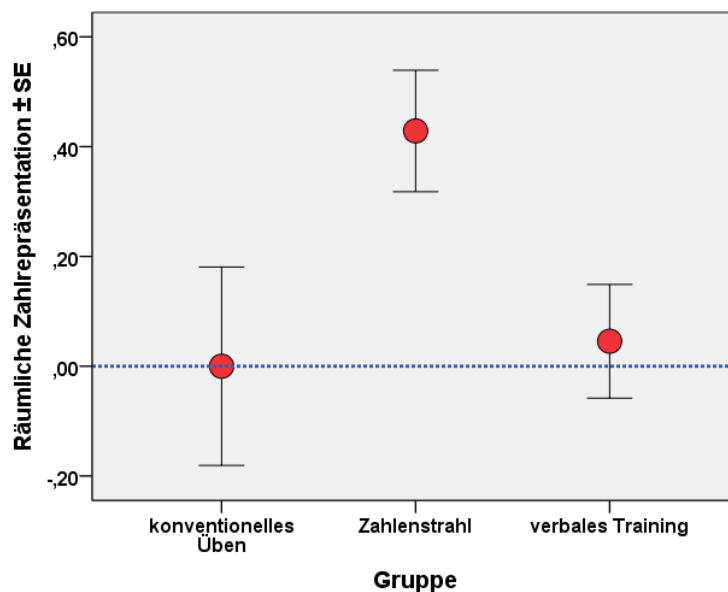


Abbildung 34: Räumliche Zahlenrepräsentation

5.3.5.2 Verbal-strategischen Trainingsgruppe

Die verbal-strategische Trainingsgruppe hatte ebenfalls schon über den Test gegen Null einen signifikanten Gesamtfortschritt gezeigt. Auch die Diskriminanzanalyse gegenüber der Kontrollgruppe ist daher signifikant (Wilk's Lamda = 0,156; $p < 0,001$).

Effekte oberhalb 0,2 aus der Diskriminanzanalyse zwischen verbal-strategischer- und Kontrollgruppe	Funktion
Strategie Seriation Addition B-A	,348
Zus. Addition und Multiplikation B-A	,288
Operationslogik Additive Rechenverfahren B-A	,223
Strategie zum Zus. Addition und Multiplikation B-A	,217
Strategie zum Zus. Addition - Subtraktion B-A	,201

Abbildung 35: Diskriminanzanalyse verbal-strategische Trainingsgruppe und Kontrollgruppe

Die maßgeblichen Ergebnisse wurden hierbei, wie in den folgenden Abbildungen ersichtlich, vor allem in den Bereichen Strategie zur Seriation bei Additionen, Zusammenhang von Addition und Multiplikation, Operationslogik bei Additive Rechenverfahren, Strategie zum Zusammenhang von Addition und Multiplikation sowie Strategie zum Zusammenhang von Addition und Subtraktion erzielt.

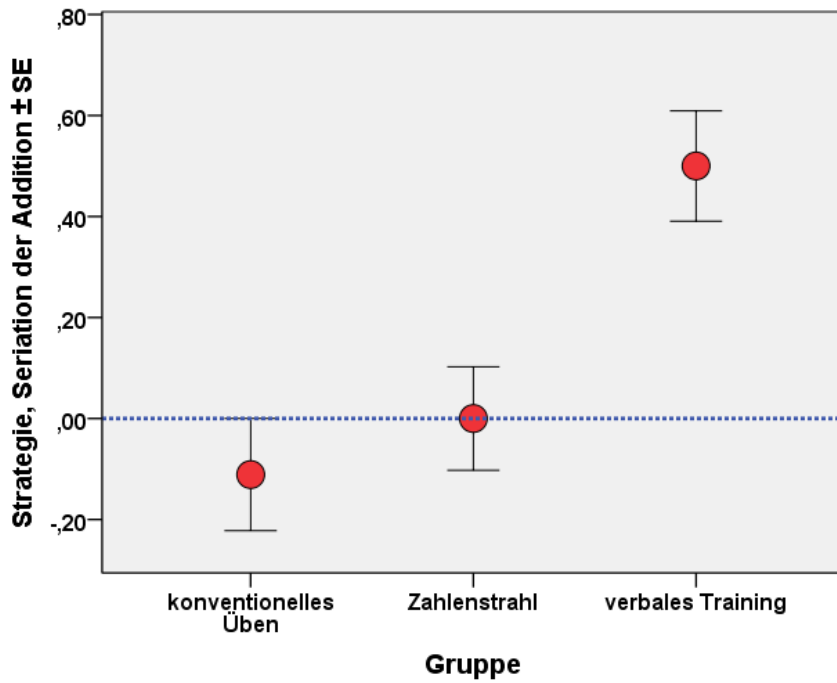


Abbildung 36: Strategie zur Seriation bei Additionen

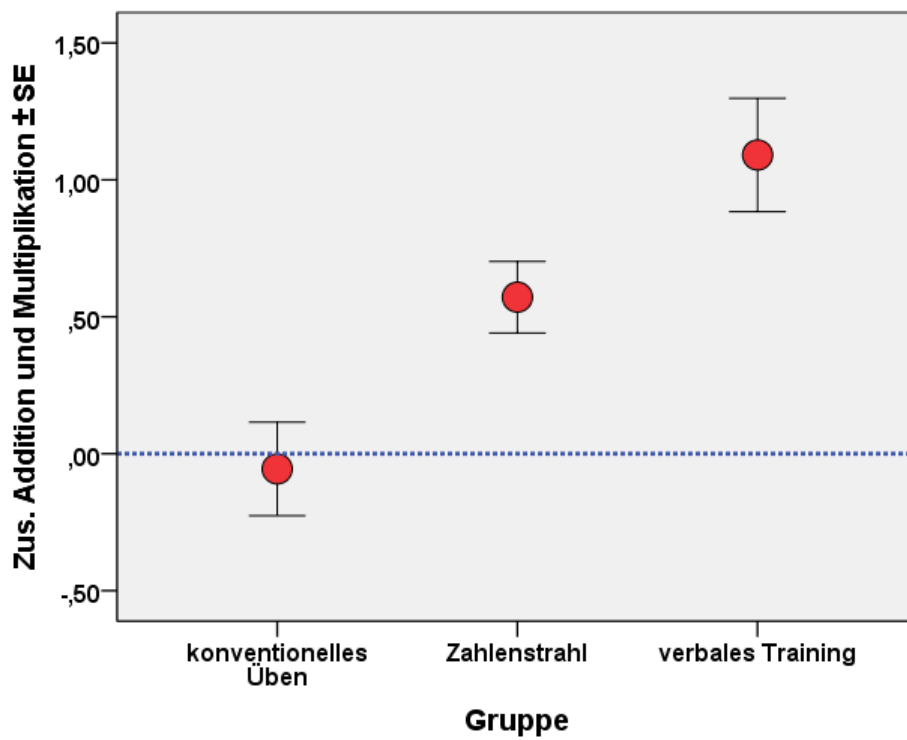


Abbildung 37: Zusammenhang von Addition und Multiplikation

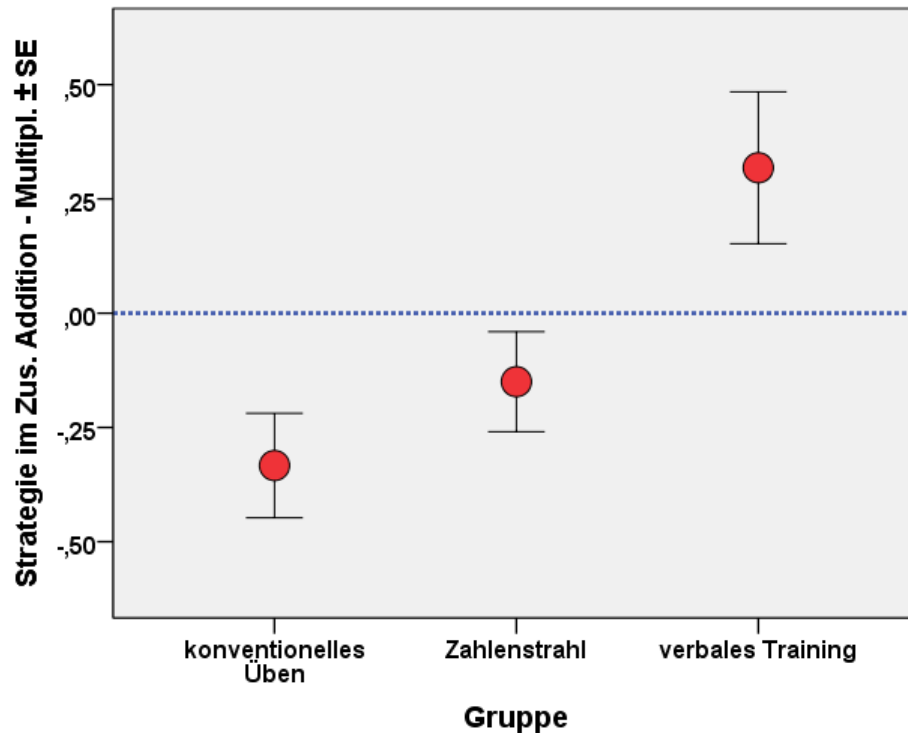


Abbildung 38: Strategie zum Zusammenhang von Addition und Multiplikation

5.3.5.3 Räumlich-numerische versus verbal-strategische Trainingsgruppe

Aus dem Mann-Whitney-U-Test ergibt sich kein Unterschied im Gesamtfortschritt zwischen verbal-strategischer Trainingsgruppe und räumlich-numerischer Trainingsgruppe.

Die Frage nach den speziellen, sich unterscheidenden Trainingseffekten der beiden Interventionen soll mit der Diskriminanzanalyse untersucht werden.

Diese zeigt signifikante Differenzen in den Parametern zwischen räumlich-numerischem und verbal-strategischem Training (Wilk's Lamda = 0,2; $p < 0,001$).

Daraus lässt sich postulieren, dass die zwei Interventionen auf unterschiedlichen Wegen zum Gesamterfolg geführt haben.

Effekte oberhalb 0,2 aus der Diskriminanzanalyse zwischen verbal-strategischer- und Zahlenstrahl-Gruppe; minus=Zahlenstrahl, plus=verbal-strategisch	Funktion
	1
Strategie Seriation Addition B-A	,287
Operationslogik Additive Rechenverfahren B-A	,243
Räumliche Zahlenrepräsentation B-A	-,200

Abbildung 39: Diskriminanzanalyse verbal-strategische und räumlich-numerischer Trainingsgruppe

Anhand des Mann-Whitney-U-Tests für jede einzelne Variable werden die Unterschiede zwischen verbal-strategische und räumlich-numerischer Trainingsgruppe im Einzelnen ermittelt.

Einige Parameter unterscheiden sich im Vorher-Nachher-Vergleich signifikant ($p < 0,05$).

Im Folgenden sind die signifikanten Unterschiede im Einzelnen über alle drei Gruppen, Kontrollgruppe (= "konventionelles Üben"), räumlich-numerische Trainingsgruppe (= „Zahlenstrahl“) und verbal-strategische Trainingsgruppe (= „verbales Training“), graphisch dargestellt.

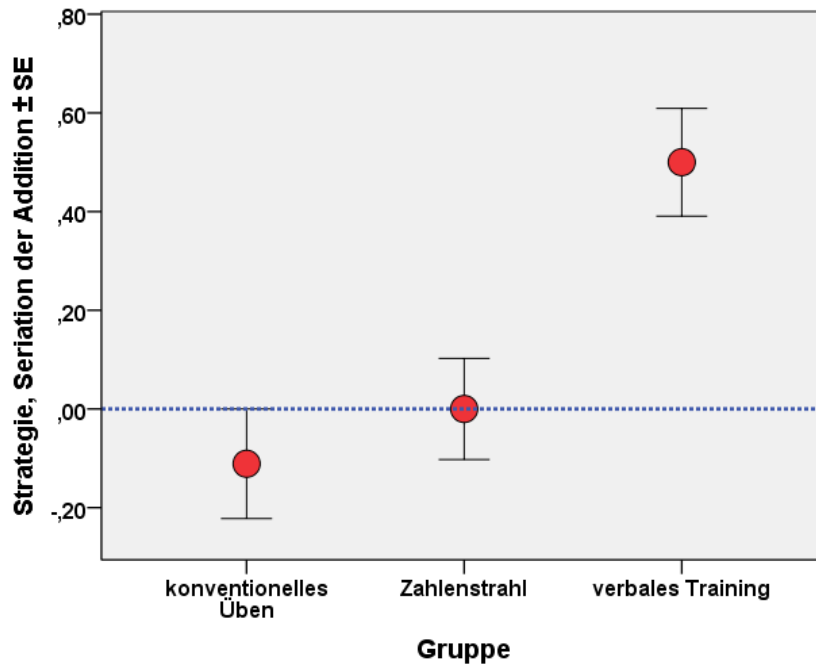


Abbildung 40: Strategie bei der Seriation bei Additionen

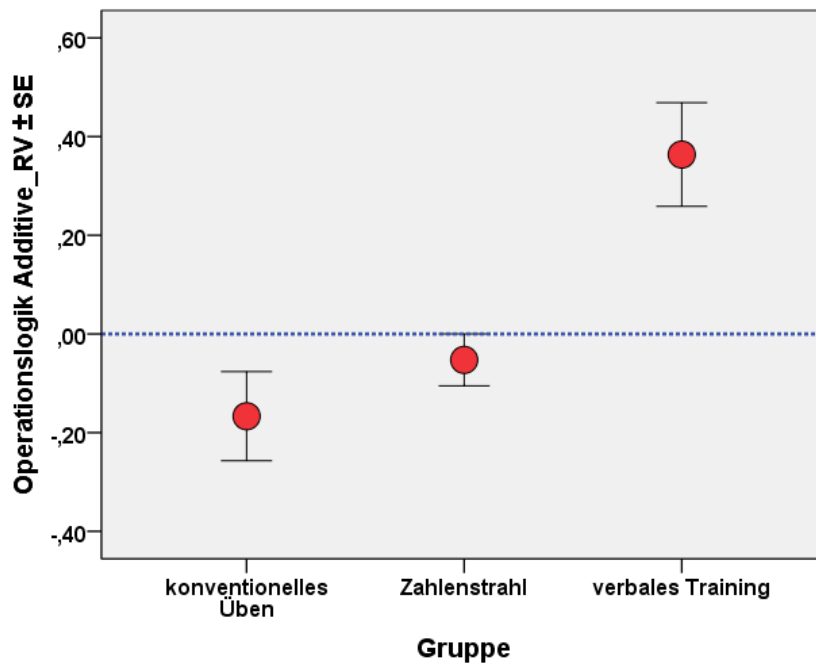


Abbildung 41: Operationslogik bei der Addition

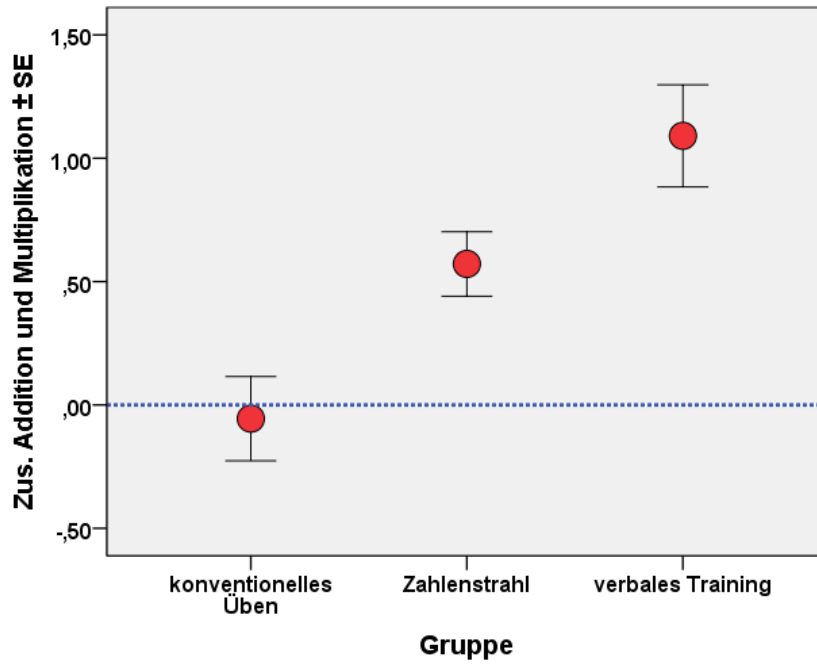


Abbildung 42: Zusammenhang von Addition und Multiplikation

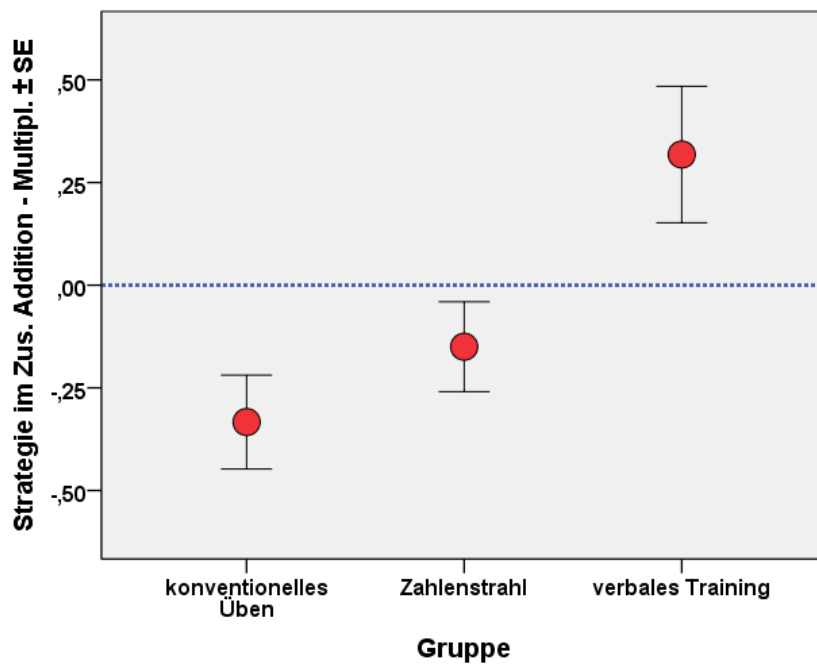


Abbildung 43: Strategie zum Zusammenhang zwischen Addition und Multiplikation

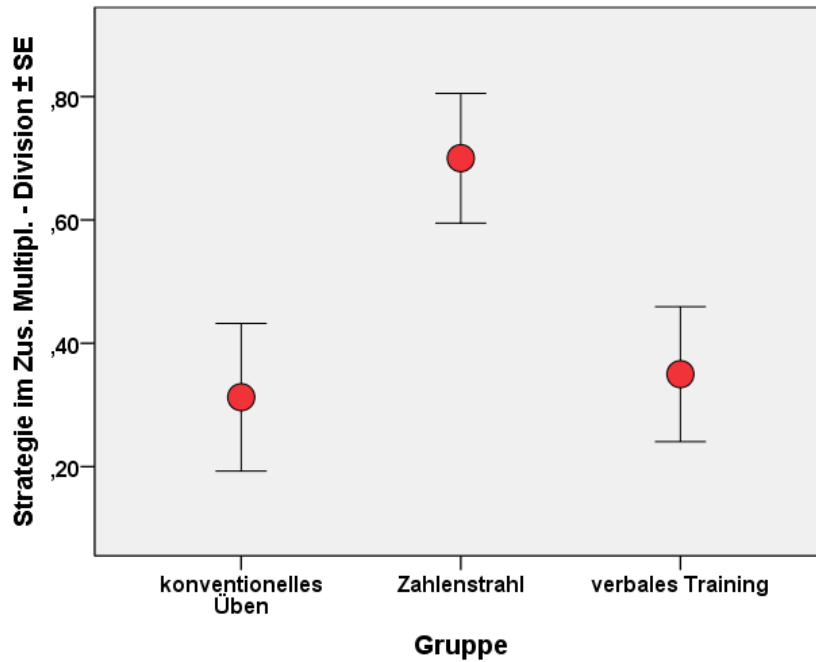


Abbildung 44: Strategie zum Zusammenhang zwischen von Multiplikation und Division

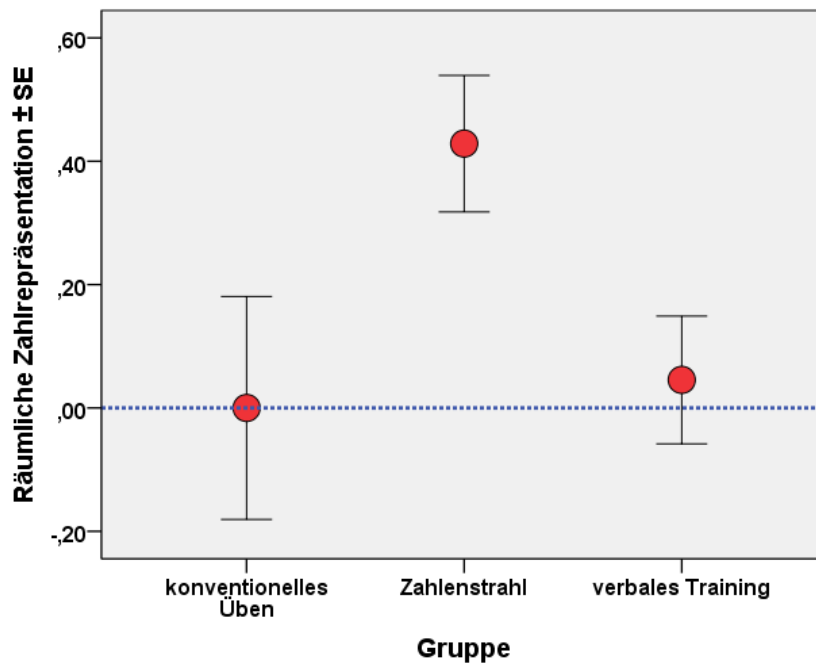


Abbildung 45: Räumliche Zahlenrepräsentation

Beim Rechnen des Zusammenhangs zwischen Addition und Multiplikation zeigt sich auch ein gewisser statistischer Trend ($p < 0,1$) bezüglich der Performanz.

	Z_Addition_und_Multiplikation_Strat_Diff	Z_Multiplikation_und_Division_Strat_Diff	Strategie Seriation Addition B-A	Räumliche_Zahlrepräsentation_Diff	Operationslogik_Additive_Rechenverfahren_Diff	Z_Addition_und_Multiplikation_Diff
Mann-Whitney-U	135,000	126,500	115,500	128,500	126,000	142,000
Wilcoxon-W	325,000	336,500	305,500	381,500	316,000	332,000
Z	-2,142	-2,060	-2,894	-2,534	-3,017	-1,864
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,032	,039	,004	,011	,003	,062
Exakte Signifikanz [2*(1-seitige Sig.)]		,074 ^b				

a. Gruppenvariable: Gruppe

b. Nicht für Bindungen korrigiert.

Abbildung 46: Signifikante Parameter beim Mann-Whitney-U-Tests

5.3.6 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Die Datenlage zeigt, dass sowohl das räumlich-numerische als auch das verbal-strategische Training einen positiven Effekt auf die mathematischen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler haben. Die Interpretation der Ergebnisse lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Interventionen, bzw. deren Inhalte unterschiedliche Wege zum Erfolg bringen.

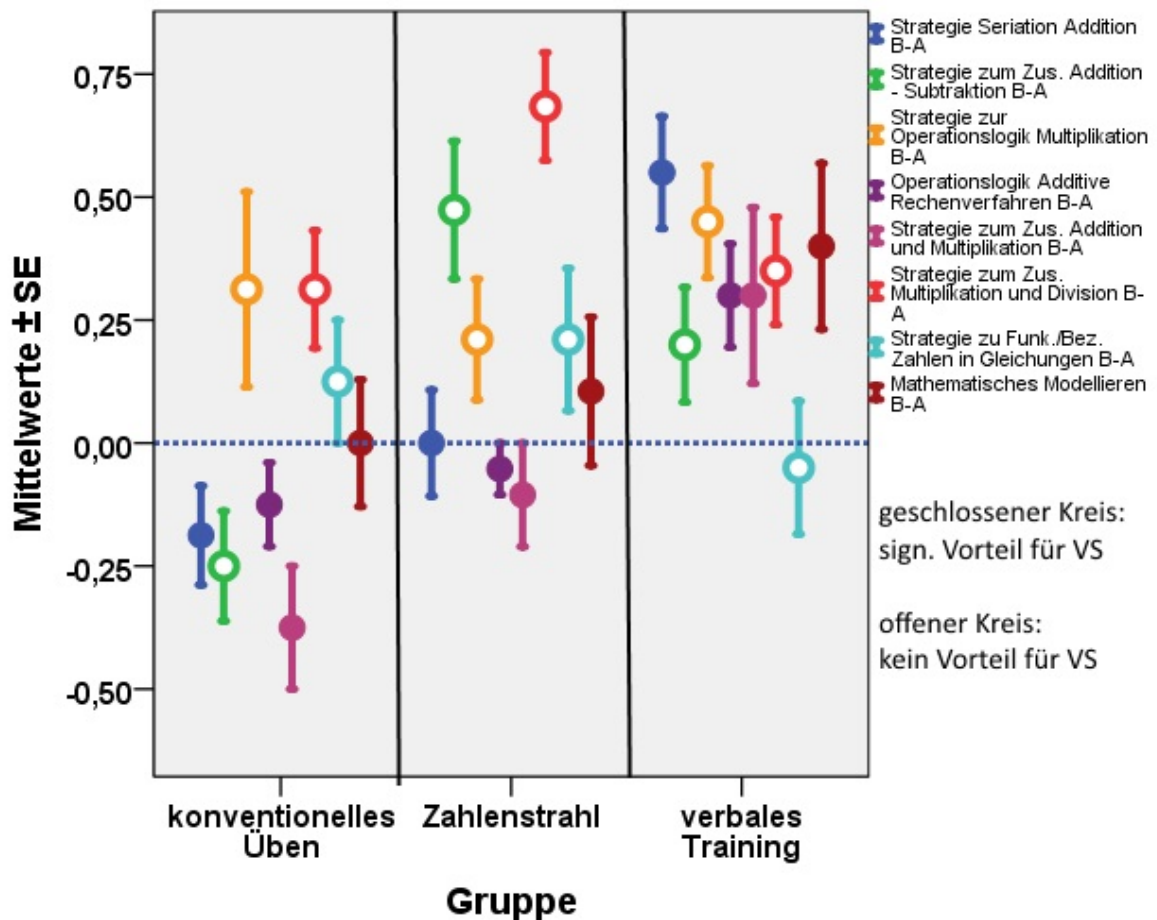


Abbildung 47: Signifikante Effekte des verbal-strategischen Trainings

Bei der Kontrollgruppe konnte kein messbarer Fortschritt festgestellt werden. Dieses Resultat lässt sich wahrscheinlich darauf zurückführen, dass der Posttest einen anderen Zahlenraum, gemäß dem Lehrplan dieser Schulstufe, umfasst. Damit können die Ergebnisse so interpretiert werden, dass die Schülerinnen und Schüler ihr Niveau halten konnten und der Zuwachs bei dem Transfer ihrer mathematischen Kompetenzen in den höheren Zahlenraum liegt.

Das räumlich-numerische Training erweist sich als besonders effektiv beim Auf- und Ausbau von Kompetenzen in Bereichen der Grundrechenarten Addition, Multiplikation und Division, sowie mentale Zahlenrepräsentationen.

Diese Ergebnisse decken sich mit zahlreichen Studien zu mentalen Zahlenrepräsentationen. Die Steigerung bei den grundlegenden Rechenoperationen, kann gemäß Lorenz (2013) darauf zurückgeführt werden,

dass es sich beim Rechnen um Bewegungen im vorgestellten Zahlenraum handelt und somit die Förderung der mentalen Zahlenrepräsentationen zu mehr „Beweglichkeit“ führt. Somit zeigen die Ergebnisse der Gruppe des räumlich-numerischen Trainings ein erwartetes Ergebnis.

Bei der verbal-strategischen Gruppe zeigen sich vor allem bei der Strategieanwendung zur Seriation bei Additionen und beim Zusammenhang von Addition und Multiplikation, sowie bei der Operationslogik bei additiven Rechenverfahren und dem mathematischen Modellieren positive Effekte und es zeigt sich hierbei ein signifikanter Vorteil gegenüber den anderen beiden Gruppen.

Diese Ergebnisse lassen die Interpretation zu, dass Sprache beim mathematischen Kompetenzerwerb nicht nur eine Funktion in Bezug auf den Erwerb der Zahlwortreihe hat, sondern auch auf der Vermittlungs- und Speicherebene essenziell ist. Darüber hinaus lässt sich ableiten, dass, wie auch bei Schröder und Ritterfeld (2014) erwähnt, der symbolische Sprachgebrauch als Motor für den Erwerb von Zahlkonzepten gesehen werden kann. Somit ist davon auszugehen, dass die mentale Zahlenverarbeitung und Speicherung, so wie auch bei Lorenz (2014) angeführt, durch verbale Repräsentationen unterstützt wird.

Die Ergebnisse lassen aber auch den Schluss zu, dass die Sprache das Verstehen mathematischer Operationen und Relationen auf- bzw. ausbauen kann. Kwapis (2015) nennt das Beschreibenkönnen von numerischen Eigenschaften als Möglichkeit zur mentalen Kategoriebildung und somit zur Möglichkeit, Konkretes zu abstrahieren. Situative Zusammenhänge können somit reflektiert und ein- bzw. zugeordnet werden.

Sprachgebundenes Denken, um Zusammenhänge beschreiben zu können und Lösungen zu begründen oder zu widerlegen, steht somit als zentraler Bestandteil des mathematischen Denkens im Fokus.

Dieser Punkt wird, durch die in der vorliegenden Studie aufgezeigten Effekte, bekräftigt.

Für die schulische Praxis lässt sich nun schlussfolgern, dass sowohl die Förderung mentaler numerischer Repräsentationen als auch ein verbal-strategisch angeleiteter Mathematikunterricht sich als erfolgsweisend zeigen und Anwendung finden sollten. Die Gestaltung des Unterrichts mittels kooperativer Methoden ermöglicht den Schülerinnen und Schülern, wie auch bei Lorenz (2013) erwähnt, die Möglichkeit, sich über mathematische Inhalte auszutauschen, wobei mathematische Fähigkeiten sprachlich ausgedrückt und umgekehrt, sprachliche Codes in mathematische übersetzt werden müssen. Nicht zuletzt wegen der mathematischen Fachsprache, ist Sprache und das Sprechen über Mathematik als Bestandteil des Mathematikunterrichts von elementarer Bedeutung.

Der Anteil des erzielten Effekts, der bei der verbal-strategische Trainingsgruppe auf die eingesetzte Methode des kooperativen Lernens zurückzuführen ist, könnte durch eine entsprechende Vergleichsgruppe erhoben werden, indem die Intervention mittels einer lehrpersonenzentrierten Methode in einer zweiten verbalen-strategischen Trainingsgruppe durchgeführt wird.

Weiterführend können Fragestellungen ersehen werden, welche sich mit dem Einfluss der Mehrsprachigkeit von Schülerinnen und Schülern auseinandersetzen, dies könnte die einzelnen Bestandteile des verbal-strategischen Trainings betreffen. Hierbei könnte erhoben werden, welche Inhalte sich bei Kindern mit nicht-deutscher Muttersprache sich am besten eignen, um einen Fördereffekt zu erreichen.

Aus neurowissenschaftlicher Sicht ließe sich, gemäß der Darstellung von Dehaene (1999), das Analysieren mathematischer Aufgabenstellungen als Zusammenspiel von Leistungen mehrerer neuronaler Systeme, in Bezug auf die verbal-strategischen Leistungen beim Bearbeiten von Sachaufgaben weiter untersuchen.

Eine Fragestellung könnte sich auf die Funktionen und Beteiligung des linken Gyrus angularis beim Verbalisieren von mathematischen Lösungsprozessen

beziehen. Dieser Bereich ist laut Kucian & von Aster (2013) neben generellen sprachvermittelnden Prozessen auch am mathematischen, sprachlich-kodierten Faktenabruf beteiligt.

LITERATURVERZEICHNIS

Aster, M. von (2013). Wie kommen Zahlen in den Kopf? In: M. von Aster & H. Lorenz (Hrsg.), *Rechenstörungen bei Kindern: Neurowissenschaft, Psychologie, Pädagogik* (S. 15 - 38). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Aster, M. von & Lorenz, J. H. (2005). *Rechenstörung bei Kindern*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Beller S. & Bender, A. (2010). *Allgemeine Psychologie Denken und Sprache*. Göttingen: Hogrefe.

Bickes, H. & Pauli, U. (2009). *Erst- und Zweitspracherwerb*. Paderborn: W. Fink.

BIFIE (Hrsg.) (2010). *Themenheft Mathematik zum allgemeinen Kompetenzbereich „Kommunizieren“*. Graz: Leykam.

Buchner, A. (2006) Funktionen und Modelle des Gedächtnisses. In: H.-O. Karnath & P. Thier (Hrsg.), *Neuropsychologie* (S. 437 – 447). Heidelberg: Springer

Dehaene, St. (1999). *Der Zahlensinn oder Warum wir rechnen können*. Basel: Birkhäuser.

Dehaene, S. & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. In: *Mathematical Cognition*, 1 (S. 83 – 120).

Dietrich, R. (2007). *Psycholinguistik*. Stuttgart: J. B. Metzler.

Friedrich, G., Bigenzahn, W. & Zorowka, P. (2000) *Phoniatrie und Pädaudiologie. Einführung in die medizinischen, psychologischen und linguistischen Grundlagen von Stimme, Sprache und Gehör*. Bern: Hans Huber.

Fritz, A., & Ricken, G. (2008). *Rechenschwäche*. München: Reinhardt.

Grube, D. (2006). *Entwicklung des Rechnens im Grundschulalter*. Münster: Waxmann.

Gruber, T. (2011). *Gedächtnis*. Wiesbaden: Springer.

Hasselhorn, M. (2011). Lernen im Vorschul- und frühen Schulalter. In: F. Vogt, M. Leuchter, A. Tettenborn, U. Hottinger, M. Jäger, E. Wannack (Hrsg.), *Entwicklung und Lernen junger Kinder* (S. 11 – 22). Münster: Waxmann.

Hasselhorn, M. & Gold, A. (2009). *Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren*. Stuttgart: Kohlhammer.

Hasselhorn, M., Mähler, C., Grube, D., Büttner, G. & Gold, A. (2010). Die Rolle von Gedächtnisdefiziten bei der Entstehung schulischer Lern- und Leistungsstörungen. In: H.-P. Trolldenier, W. Lenhard & P. Marx (Hrsg.), *Brennpunkte der Gedächtnisforschung: Entwicklungs- und pädagogisch-psychologische Perspektiven* (S. 247 – 262). Göttingen: Hogrefe.

Heidler, M.-D. (2013). *Das Arbeitsgedächtnis. Ein Überblick für Sprachtherapeuten, Linguisten und Pädagogen*. Bad Honnef: Hippocampus.

Heine, A., Engl, V., Thaler, V. M., Fussenegger, B. & Jacobs, A. M. (2012). *Neuropsychologie von Entwicklungsstörungen schulischer Fertigkeiten*. Göttingen: Hogrefe.

Kauschke, Ch. (2012). *Kindlicher Spracherwerb im Deutschen. Verläufe, Forschungsmethoden, Erklärungsansätze*. Berlin: de Gruyter.

Klann-Delius, G. (2008). *Spracherwerb*. Stuttgart: J. B. Metzler.

Krajewski, K. (2013). Wie bekommen die Zahlen einen Sinn? In: M. von Aster & H. Lorenz (Hrsg.), *Rechenstörungen bei Kindern: Neurowissenschaft, Psychologie, Pädagogik* (S. 155-179). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Krajewski, K., Grüßing, M., & Peter-Koop, A. (2009). Die Entwicklung mathematischer Kompetenzen bis zum Beginn der Grundschulzeit. In: A. Heinze & M. Grüßing (Hrsg.), *Mathematiklernen vom Kindergarten bis zum Studium. Kontinuität und Kohärenz als Herausforderung für den Mathematikunterricht* (S. 17 - 34). Münster: Waxmann.

Lander, K., & Kaufmann, L. (2008). *Dyskalkulie – Modelle, Diagnostik, Intervention*. München: Ernst Reinhardt

Mayer, A. (2016). *Zusammenhänge zwischen sprachlichen Fähigkeiten und mathematischen Kompetenzen*. Verfügbar unter:
<http://www.edu.lmu.de/shp/forschung/forschung/sprache-und-mathematik/index.html> (10.09.2018).

Mayer, A. (2016). Sprachliche Lernbarrieren beim Erwerb mathematischer Kompetenzen. In: U. Stitzinger, St. Sallat & U. Lüdtke, U. (Hrsg.), *Sprache und Inklusion als Chance?! Expertise und Innovation für Kita, Schule und Praxis* (S. 269 – 277). Idstein: Schulz-Kirchner.

Markowitsch, H. J. (2006) Neuroanatomie und Störungen des Gedächtnisses. In: H.-O. Karnath & P. Thier (Hrsg.). *Neuropsychologie* (S. 448 – 462). Heidelberg: Springer

Nußbeck, S. (2007). *Sprache - Entwicklung, Störungen und Intervention*. Stuttgart: W. Kohlhammer.

Piaget, J. & Inhelder, B. (1977). *Die Psychologie des Kindes*. Frankfurt/Main: Fischer

Ritterfeld, U., Starke, A., Röhm, A., Latschinske, S., Wittich, C. & Moser Opitz, E. (2013). Über welche Strategien verfügen Erstklässler mit Sprachstörungen beim Lösen mathematischer Aufgaben? In: *Zeitschrift für Heilpädagogik* 4 (S.136 – 143).

Rohlfing, K. J. (2013). *Frühkindliche Semantik*. Tübingen: Narr Francke Attempo.

Rohlfing, K. J. (2019). *Frühe Sprachentwicklung*. Tübingen: Narr Francke Attempo.

Röhm, A. (2020). Sprache, Arbeitsgedächtnis und mathematische Kompetenz von Schulkindern mit SES. In: *Lernen und Lernstörungen*, 9 (2) (S. 85 – 96). Göttingen: Hogrefe.

Schilcher, A., Röhl, S. & Krauss St. (2017). Sprache im Mathematikunterricht – eine Bestandsaufnahme des aktuellen didaktischen Diskurses. In: D. Leiss, M. Hagena, A. Neumann & K. Schwippert (Hrsg.), *Mathematik und Sprache. Emoirischer Forschungsstand und unterrichtliche Herausforderung* (S. 11 – 42). Münster: Waxmann.

Schneider, W., Küspert, P., & Krajewski, K. (2016). *Die Entwicklung mathematischer Kompetenzen*. Paderborn: Schöningh.

Sodian, B. (2002). Entwicklung begrifflichen Wissens. In: R. Oerter & L. Montada (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (S. 443 - 468). Weinheim: Beltz

Schrader, F.-W. & Helmke, A. (2010). Schulische Leistungen und individuelle Determinanten. In: H.-P. Trollenier, W. Lenhard & P. Marx (Hrsg.), *Brennpunkte der Gedächtnisforschung: Entwicklungs- und pädagogisch-psychologische Perspektiven* (S. 233 – 246). Göttingen: Hogrefe.

Schröder, A. (2014). Förderung mathematischen Lernens mit Kindern mit Spracherwerbsstörungen. In: St. Sallat, M. Spreer, Ch. W. Glück (Hrsg.), *Sprache professionell fördern - kompetent, vernetzt, innovativ* (S. 91 - 97). Idstein: Schulz-Kirchner.

Schröder, A. & Ritterfeld, U. (2014). Zur Bedeutung sprachlicher Barrieren im Mathematikunterricht der Primarstufe. Wissenschaftlicher Erkenntnisstand und Reflexion in der (Förder-)Schulpraxis. In: *Forschung Sprache*, 2 (1) (S. 49 – 69). Idstein: Schulz-Kirchner

Szagun, G. (2016). *Sprachentwicklung beim Kind*. Ein Lehrbuch. Weinheim: Beltz.

Tücke, M. (2007). *Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters für (zukünftige) Lehrer*. Berlin: LIT Verlag

Weinert, S. (2010). Beziehungen zwischen Sprachentwicklung und Gedächtnisentwicklung. In: H.-P. Trollenier, W. Lenhard & P. Marx (Hrsg.), *Brennpunkte der Gedächtnisforschung: Entwicklungs- und pädagogisch-psychologische Perspektiven* (S. 147 – 170). Göttingen: Hogrefe.

Weinrich, M. & Zehner, H. (2008). *Phonetische und phonologische Störungen bei Kindern*. Heidelberg: Springer.

Zollinger, B. (2008). *Spracherwerbsstörungen*. Grundlagen zur Früherfassung und Frühtherapie. Bern: Haupt.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abbildung 1: INVO-Modell: INdividuelle VOraussetzungen erfolgreichen Lernens, Hasselhorn & Gold, 2009, S. 68</i>	14
<i>Abbildung 2: Zeitliche Dimension der Gedächtnisleistung, Gruber, 2011, S. 9</i>	16
<i>Abbildung 3: 3-Komponentenmodell nach Baddeley & Hitch, Heidler, 2013, S. 30</i>	18
<i>Abbildung 4: Neuronale Implementierung der Komponenten des Arbeitsgedächtnismodells nach Baddeley & Hitch, Heidler, 2013, S. 14</i>	19
<i>Abbildung 5: Kognitiver Erklärungsansatz der Habituation, Petermann & Petermann, 2018, S. 75</i>	22
<i>Abbildung 6: Theorie von Thondike, Bodenmann et al., 2016, S. 99</i>	25
<i>Abbildung 7: Operante Verstärker, Petermann & Petermann, 2015, S. 42</i>	27
<i>Abbildung 8: Matrix der Verstärkung nach Holland & Skinner (1971), Bodenmann et al., 2016, S. 109</i>	28
<i>Abbildung 9: Theorien zum assoziativen Lernen, Petermann & Petermann, 2018, S. 124</i>	30
<i>Abbildung 10: Lernen durch Einsicht, Petermann & Petermann, 2018, S. 131</i>	33
<i>Abbildung 11: Phasen des Beobachtungslernens nach Bandura, Petermann & Petermann, 2018, S. 154</i>	35
<i>Abbildung 12: Kooperative vs. nicht-kooperative Lerngruppen nach Johnson & Johnson (1999), Borsch, 2015, S. 26</i>	42
<i>Abbildung 13: Dimensionen kooperativer Fähigkeiten nach Johnson & Johnson, Borsch, 2015, S. 33</i>	45
<i>Abbildung 14: Sprachzentren, Böttger, 2016, S. 50</i>	53
<i>Abbildung 15: Wortartenentwicklung im zweiten und dritten Lebensjahr mit ungefähren Altersangaben, Kauschke, 2012, S. 64</i>	63
<i>Abbildung 16: Erwerb grammatischer Formen, Szagun, 2013, S. 71 f.</i>	66
<i>Abbildung 17: Entwicklungsmodell der Zahl-Größen-Verknüpfung nach Krajewski, Schneider et al., 2013, S. 25</i>	69
<i>Abbildung 18: Dehaenes Triple-Code-Modell, Heine et al., 2012, S. 55</i>	72

<i>Abbildung 19: Vier-Stufen-Modell der Entwicklung zahlenverarbeitender Hirnfunktionen, Aster, 2005, S. 21.....</i>	<i>75</i>
<i>Abbildung 20: Verschiedene Beziehungen zwischen Denken und Sprache, Beller & Bender, 2010, S. 252.....</i>	<i>78</i>
<i>Abbildung 21: „Pathways“-Modell nach LeFevre et al., Schneider et al., 2013, S. 73.....</i>	<i>80</i>
<i>Abbildung 22: Ergebnisse GraWo, Kontrollgruppe.....</i>	<i>103</i>
<i>Abbildung 23: Ergebnisse GraWo, räumlich-numerische Trainingsgruppe</i>	<i>103</i>
<i>Abbildung 24: Ergebnisse GraWo, verbal-strategische Trainingsgruppe</i>	<i>104</i>
<i>Abbildung 25: Rechenperformanz, Anzahl korrekter Lösungen</i>	<i>105</i>
<i>Abbildung 26: Gesamtfortschritt aus der Summendifferenz aller Parameter für die drei Gruppen.....</i>	<i>107</i>
<i>Abbildung 27: Vergleich Prä- Posttest über alle Gruppen</i>	<i>108</i>
<i>Abbildung 28: Vergleich Strategieranwendung Prä- und Posttest über alle Gruppen</i>	<i>108</i>
<i>Abbildung 29: Fortschritt bei der Strategieranwendung.....</i>	<i>109</i>
<i>Abbildung 30: One-Sample T-Test: Statistisches Maß der Abstände zwischen Nulllinie und den Mittelwerten, KG</i>	<i>109</i>
<i>Abbildung 31: One-Sample T-Test: Statistisches Maß der Abstände zwischen Nulllinie und den Mittelwerten, VTG</i>	<i>110</i>
<i>Abbildung 32: One-Sample T-Test: Statistisches Maß der Abstände zwischen Nulllinie und den Mittelwerten, RTG</i>	<i>111</i>
<i>Abbildung 33: Diskriminanzanalyse räumlich-numerische Trainingsgruppe und Kontrollgruppe.....</i>	<i>112</i>
<i>Abbildung 34: Räumliche Zahlenrepräsentation.....</i>	<i>112</i>
<i>Abbildung 35: Diskriminanzanalyse verbal-strategische Trainingsgruppe und Kontrollgruppe.....</i>	<i>113</i>
<i>Abbildung 36: Strategie zur Seriation bei Additionen</i>	<i>114</i>
<i>Abbildung 37: Zusammenhang von Addition und Multiplikation</i>	<i>114</i>
<i>Abbildung 38: Strategie zum Zusammenhang von Addition und Multiplikation</i>	<i>115</i>

<i>Abbildung 39: Diskriminanzanalyse verbal-strategische und räumlich- numerischer Trainingsgruppe.....</i>	<i>116</i>
<i>Abbildung 40: Strategie bei der Seriation bei Additionen.....</i>	<i>117</i>
<i>Abbildung 41: Operationslogik bei der Addition.....</i>	<i>117</i>
<i>Abbildung 42: Zusammenhang von Addition und Multiplikation</i>	<i>118</i>
<i>Abbildung 43: Strategie zum Zusammenhang zwischen Addition und Multiplikation.....</i>	<i>118</i>
<i>Abbildung 44: Strategie zum Zusammenhang zwischen von Multiplikation und Division.....</i>	<i>119</i>
<i>Abbildung 45: Räumliche Zahlenrepräsentation.....</i>	<i>119</i>
<i>Abbildung 46: Signifikante Parameter beim Mann-Whitney-U-Tests.....</i>	<i>120</i>
<i>Abbildung 47: Signifikante Effekte des verbal-strategischen Trainings</i>	<i>121</i>

ANHANGSVERZEICHNIS

ANHANG 1: Kompetenzorientierter Test, Form A – KompTe A

ANHANG 2: Kompetenzorientierter Test, Form B – KompTe B

ANHANG 3: Zahlenstrahl-Kartei, exemplarisch

ANHANG 4: Zahlenstrahl -Pass

ANHANG 5: Klassenrätsel

ANHANG 1: Kompetenzorientierter Test, Form A – KompTe A

Datum : _____

KompTe A

Meine Geheimnummer:

Anfangsbuchstabe der Lieblingsfarbe		Zum Beispiel B für Blau
Anfangsbuchstaben vom Namen deiner Mutter		Zum Beispiel M für Maria
Tag an dem du geboren bist		Zum Beispiel 15 , wenn du am 15. Mai geboren bist

Viel Spaß beim Knobeln!

1. Welche Menge ist größer? Kreise jeweils die größere Menge ein!

25

oder

zwei-und-fünzig

3 Zehner und 7 Einer

oder

73

zwei-und-dreißig

oder

3 + 20

2. **Rechne aus! Löse die Aufgaben nacheinander. Notiere deine Rechenschritte, wenn du nicht im Kopf rechnest. Dafür hast du unter den Aufgaben Platz.**

$17 + 18 =$

$17 + 28 =$

Ist eine der Aufgaben einfacher zu lösen?

Nein

Ja

Warum? _____

$25 + 29 =$

$54 - 29 =$

Ist eine der Aufgaben einfacher zu lösen?

Nein

Ja

Warum? _____

3. **Rechne aus! Überlege, wie du leichter rechnen kannst. Notiere deinen Rechenweg!**
Dafür hast du unter den Aufgaben Platz.

$$6 + 6 + 6 + 6 + 6 + 6 + 6 + 6 + 20 =$$

$$41 + 23 + 19 + 7 =$$

$$72 - 8 - 8 - 8 - 8 - 8 - 8 - 8 - 8 =$$

4. Rechne die Aufgaben! Welche Rechnungen könntest du auch noch anders aufschreiben?

$9 \cdot 9 =$

$8 \cdot 9 =$

$81 - 9 =$

: 10 = 9

$8 \cdot$ $= 24$

5. Löse das Zahlenrätsel! Adam denkt sich eine Zahl. Er addiert zu der ausgedachten Zahl 12 und erhält 80. Welche Zahl hat er sich gedacht?

Kannst du das ausrechnen?

Nein

Antwort: Das kann man nicht ausrechnen, weil

Ja

Schreibe hier eine passende Rechnung auf:

Antwort: Adam hat sich die Zahl _____ gedacht.

6. Wie wurde gerechnet? Beschreibe die Rechenwege!

45 + 29 =

**45 + 20 = 65
65 + 9 = 74**

45 + 29 =

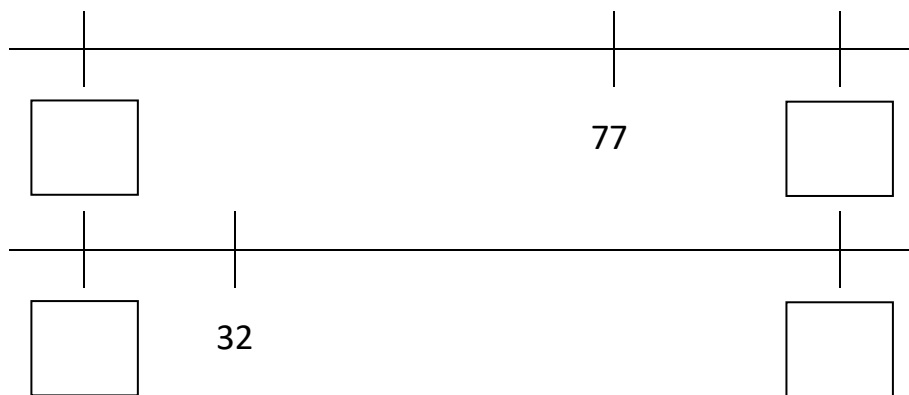
**45 + 5 = 50
50 + 20 = 70
70 + 4 = 74**

Wie rechnest du?

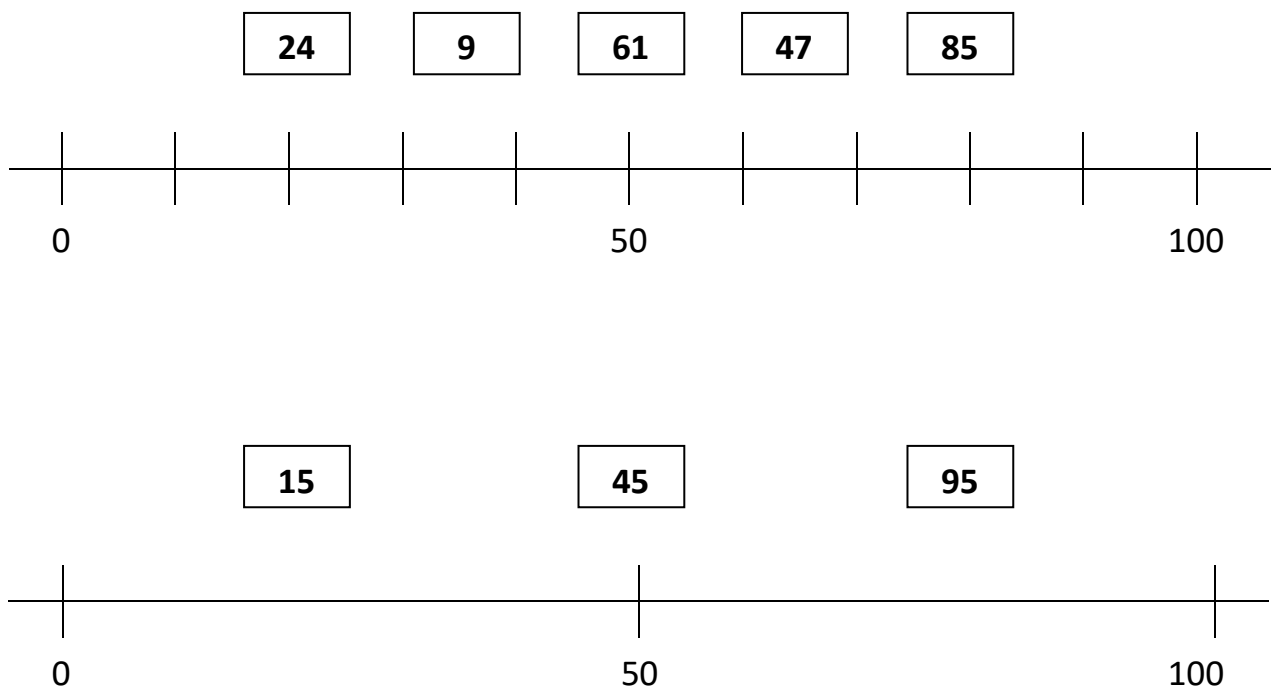
45 + 29 =

Beschreibe deinen Rechenweg:

7. Wie heißen die Zehner-Nachbarn?



8. Verbinde die Zahlen mit der passenden Stelle am Zahlenstrahl.



ANHANG 2: Kompetenzorientierter Test, Form B – KompTe B

Klasse: _____

KompTe B

Meine Geheimnummer:

Anfangsbuchstabe der Lieblingsfarbe		Zum Beispiel B für Blau
Anfangsbuchstaben vom Namen deiner Mutter		Zum Beispiel M für Maria
Tag an dem du geboren bist		Zum Beispiel 15 , wenn du am 15. Mai geboren bist.

Auf die Plätze – fertig – LOS!

1. Welche Menge ist größer? Kreise ein!

89

oder

achtundneunzig

6 Hunderter und 2 Einer

oder

6 Einer und 2 Hunderter

$1 + 10 + 300$

oder

$100 + 100 + 90 + 8$

2. Schreibe bitte neben die folgenden Zahlennamen die Zahl in Ziffern.

achtundneunzig

siebenundvierzig

vierhundertzwei

neunhundertachtundneunzig

3. Rechne und beantworte dann die Frage!

❄ 215 + 335 = _____

☀ 235 + 315 = _____

Frage: Warum ist die Sonnen-Rechnung einfach?

❄ 628 + 217 = _____

☀ 845 - 217 = _____

Frage: Warum ist die Sonnen-Rechnung einfach?

4. Wie wurde gerechnet? Beschreibe die Rechenwege mit Worten!

R: 743 - 239 = 504

743 - 200 = 543

543 - 30 = 513

513 - 9 = 504

R: 211 + 359 = 570

211 + 300 = 511

511 + 60 = 571

571 - 1 = 570

5. **Rechne aus! Überlege, wie du leichter rechnen kannst und schreibe eine einfachere Rechnung auf! Dafür hast du unter den Aufgaben Platz.**

$$9+9+9+9+9+9+36 =$$

$$138+401+262+99 =$$

$$263-7-7-7-7-7-7-7-7 =$$

6. **Schreibe die passenden Rechnungen auf!**

a. Ermittle die Differenz aus 360 und 47.

b. Bilde die Summe von 106 und 852.

7. Rechne die Aufgaben!

Schreibe die Rechnungen auch noch anders auf! Schreibe in das Feld darunter!

$7 \cdot 8 = \underline{\quad}$

$8 \cdot 8 = \underline{\quad}$

Welche Rechnungen können helfen? Schreibe in das Feld darunter!

$\underline{\quad} : 8 = 7$

$8 \cdot \underline{\quad} = 48$

8. Löse das Zahlenrätsel!

Maja denkt sich eine Zahl. Sie subtrahiert von der ausgedachten Zahl 43, das Ergebnis ist 203. Welche Zahl hat sie sich gedacht? Kannst du das ausrechnen?

Nein

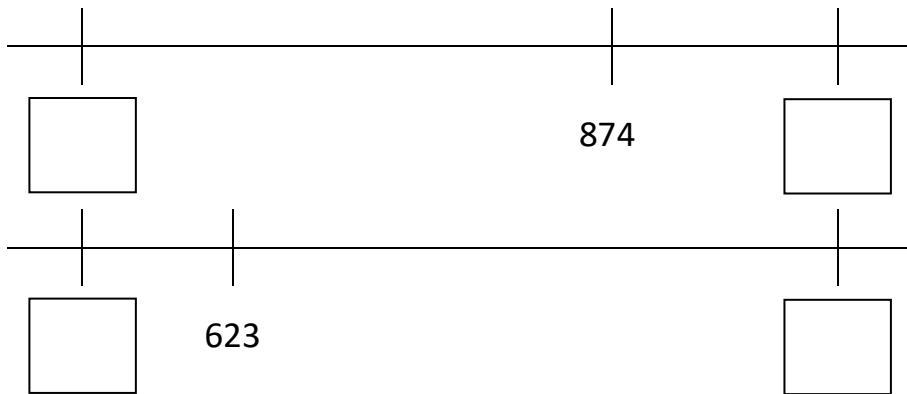
Antwort: Das kann man nicht ausrechnen, weil

Ja

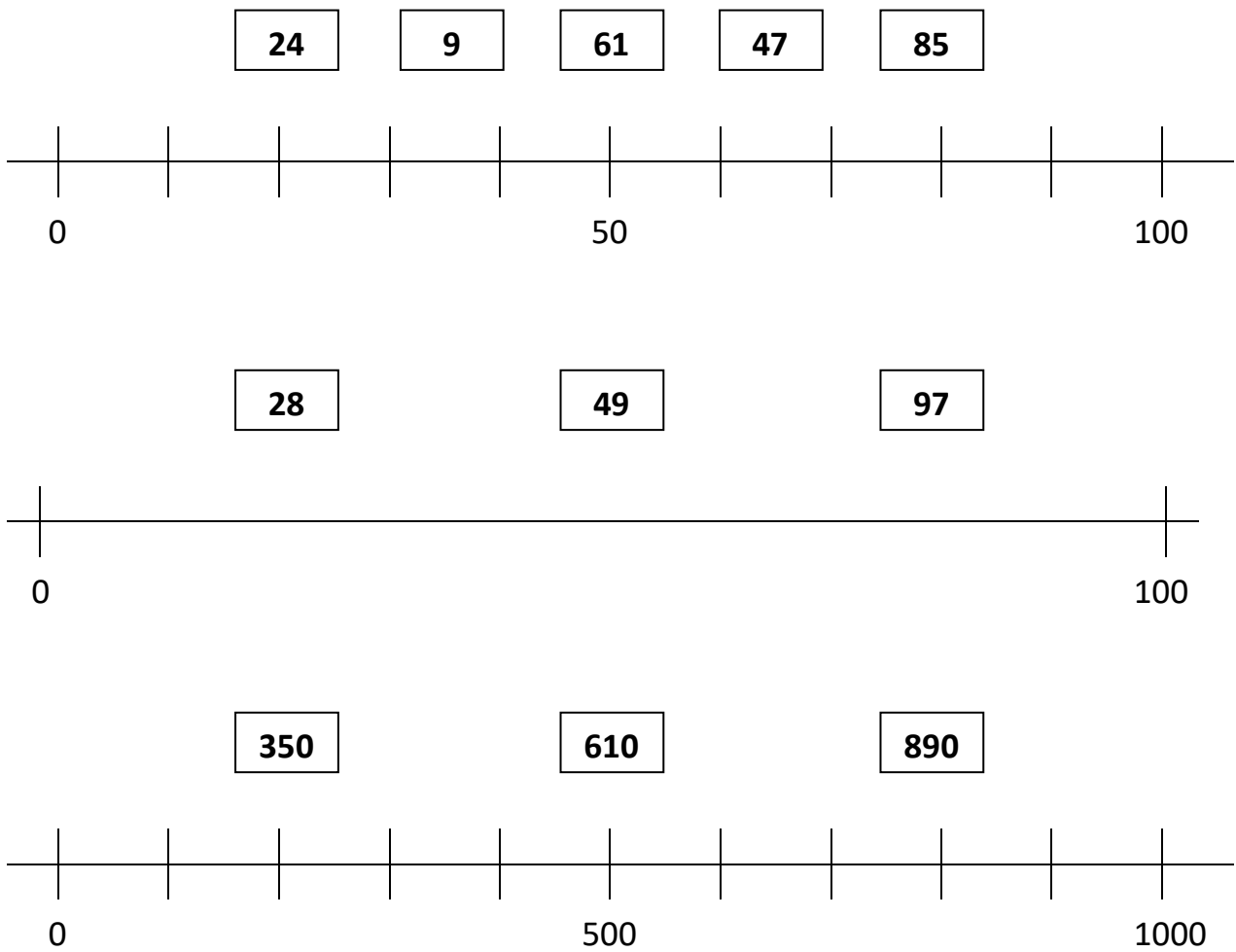
Rechnung:

Antwort: Maja hat sich die Zahl gedacht.

9. Wie heißen die Nachbar-Hunderter?



10. Verbinde die Zahlen mit der passenden Stelle am Zahlenstrahl.



11. Welche Rechnung passt zu diesem Rechenweg? Kreuze an

Rechenweg:

Als Erstes addiere ich die reinen Hunderterzahlen. Danach addiere ich nur die Einer.
 Als Letztes addiere ich die Ergebnisse der beiden Additionen.

$560 + 37 =$

$100 + 364 =$

$503 + 209 =$

$700 + 4 =$

12. Einkaufen – schreibe eine eigene Rechengeschichte passend zu dem Bild. Schreibe eine Frage dazu – die passende Rechnung darf nicht nur eine Addition sein! Rechne aus!

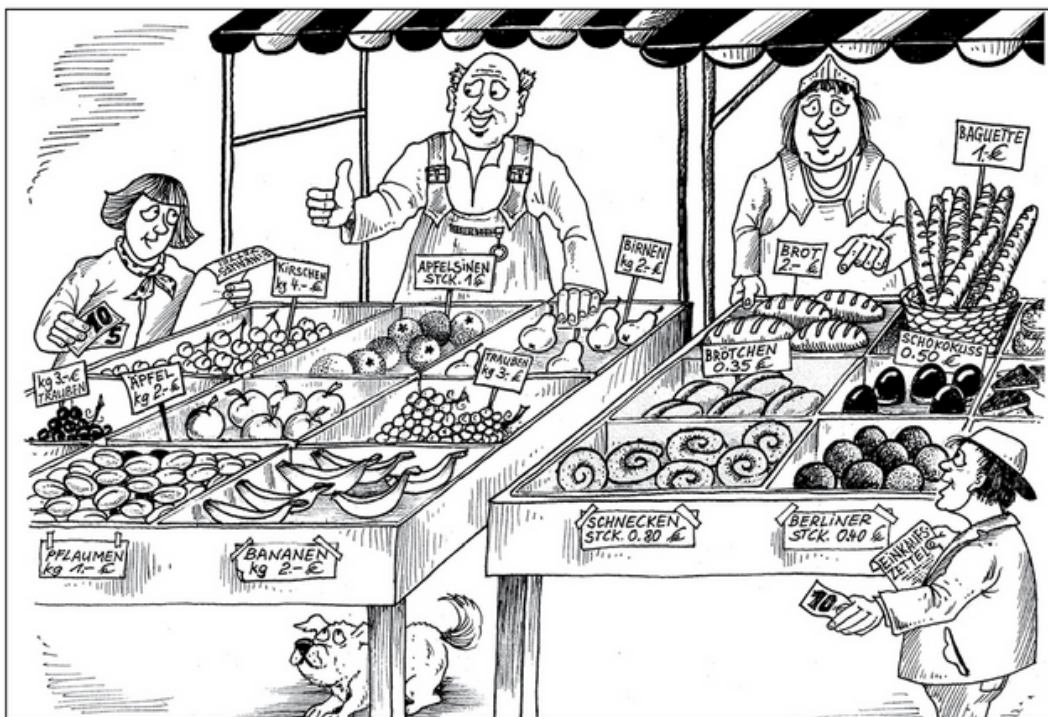


Abbildung 1: Mandzel & Tille-Koch, 2020

Meine Rechengeschichte:

Frage:

Rechnungen:

Antwort:

Datum : _____

KompTe A

Meine Geheimnummer:

Anfangsbuchstabe der Lieblingsfarbe		Zum Beispiel B für Blau
Anfangsbuchstaben vom Namen deiner Mutter		Zum Beispiel M für Maria
Tag an dem du geboren bist		Zum Beispiel 15 , wenn du am 15. Mai geboren bist

Viel Spaß beim Knobeln!

1. Welche Menge ist größer? Kreise jeweils die größere Menge ein!

25

oder

zwei-und-fünzig

3 Zehner und 7 Einer

oder

73

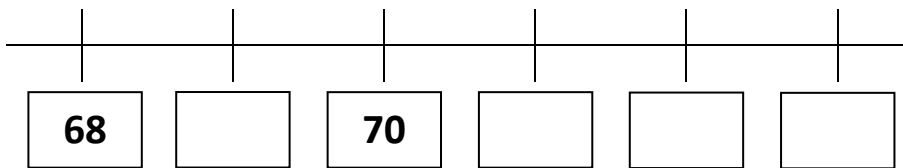
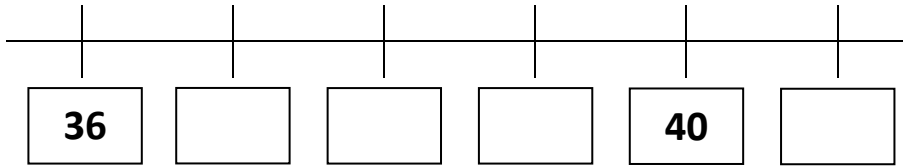
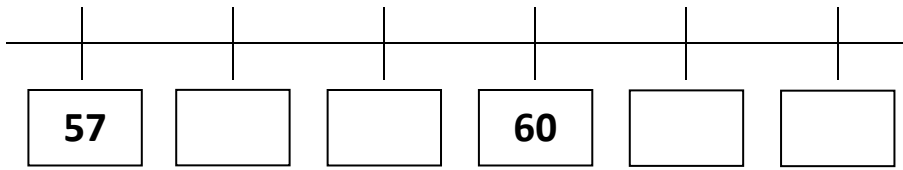
zwei-und-dreißig

oder

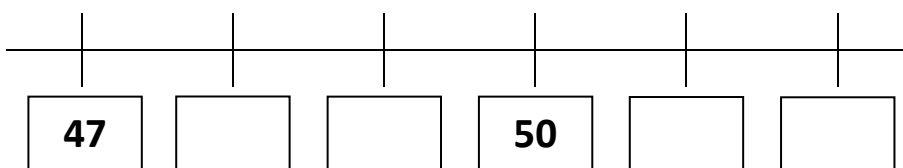
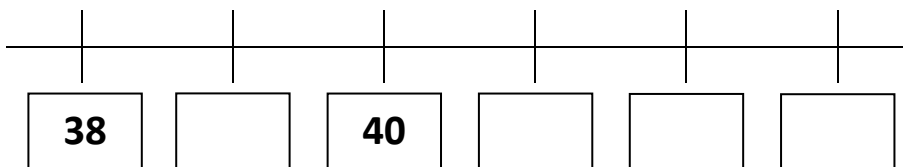
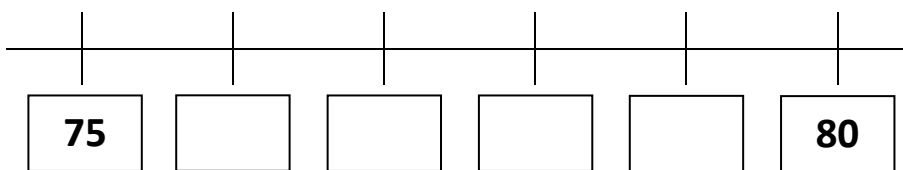
3 + 20

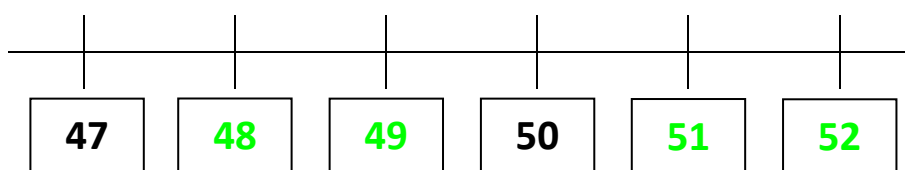
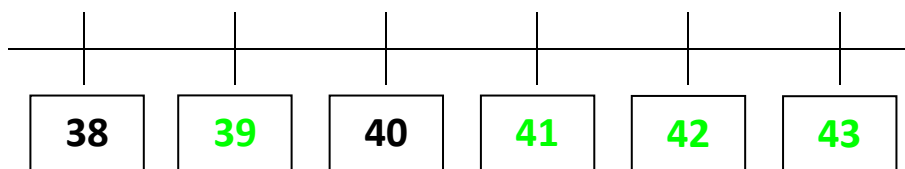
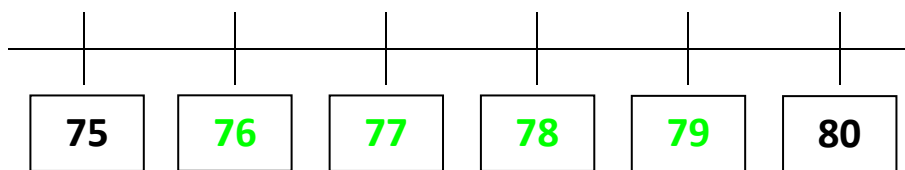
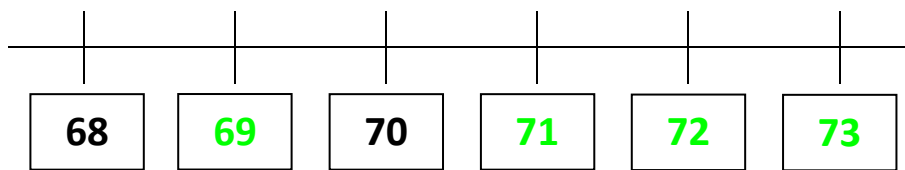
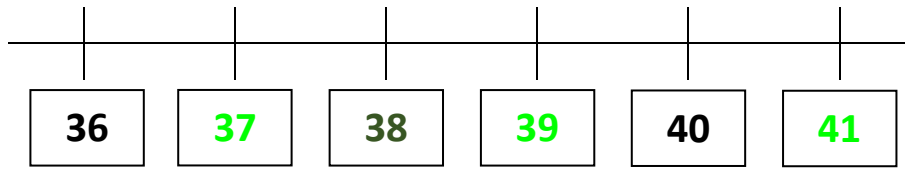
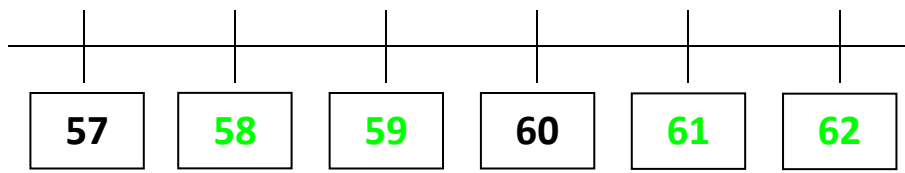
ANHANG 3: Zahlenstrahl-Kartei, exemplarisch

Welche Zahlen fehlen? Schreibe in die freien Felder.

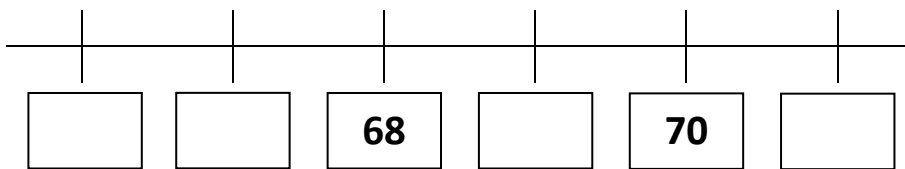
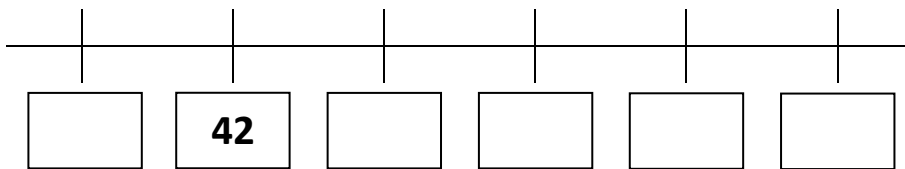
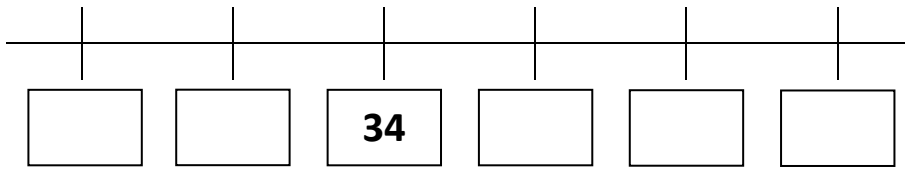


Welche Zahlen fehlen? Schreibe in die freien Felder.

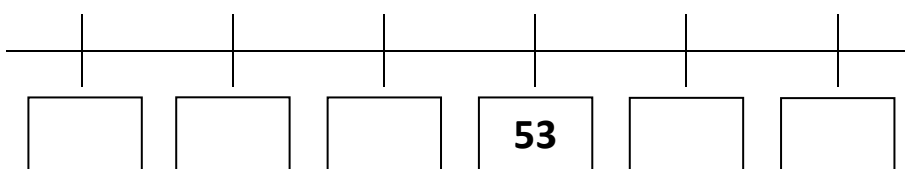
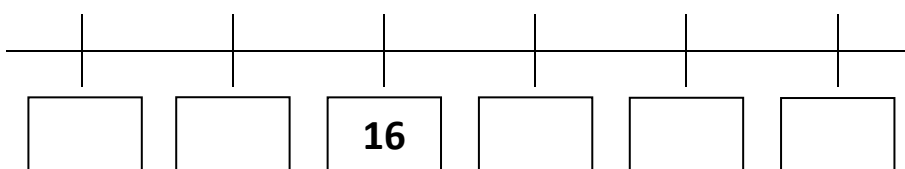
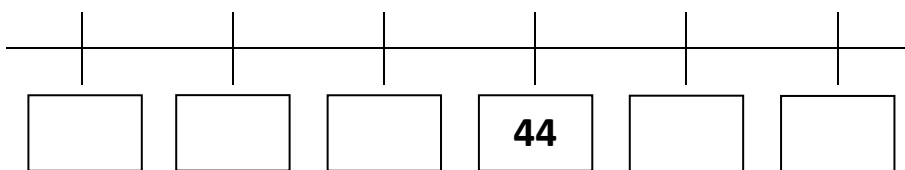


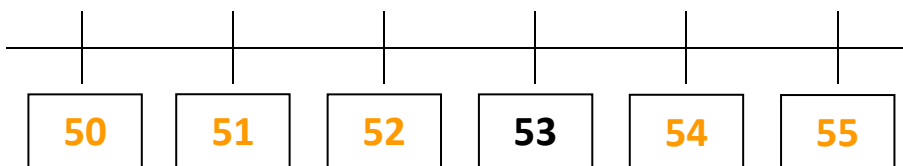
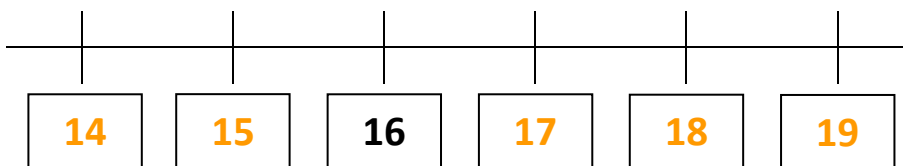
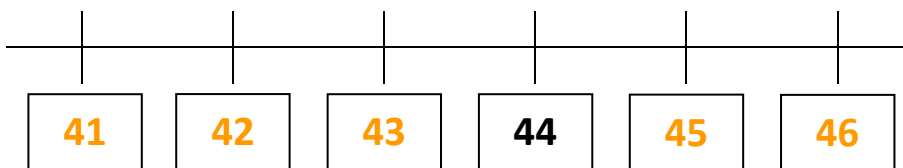
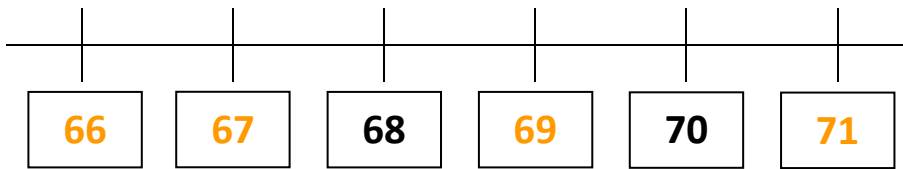
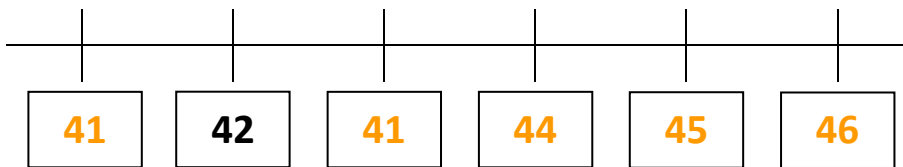
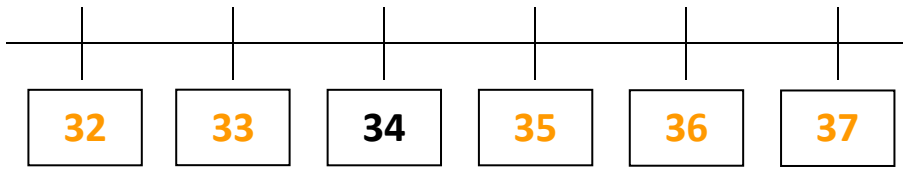


Welche Zahlen fehlen? Schreibe in die freien Felder.

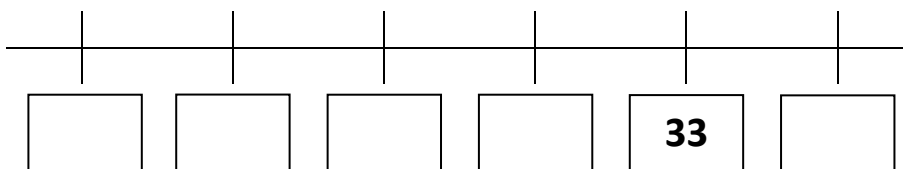
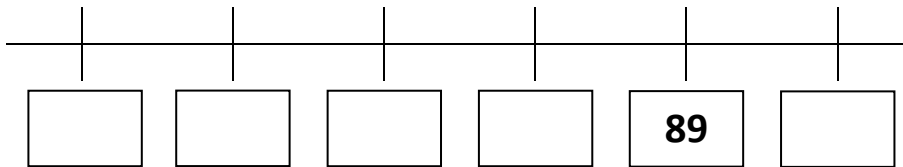
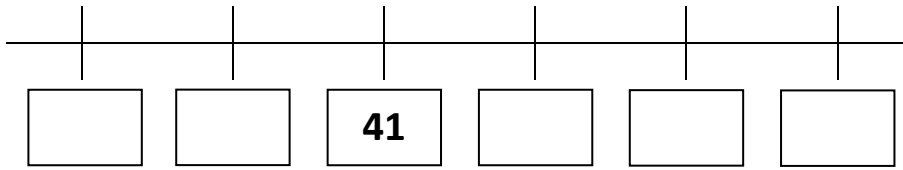


Welche Zahlen fehlen? Schreibe in die freien Felder.

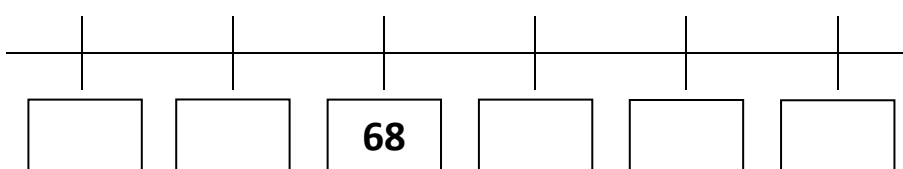
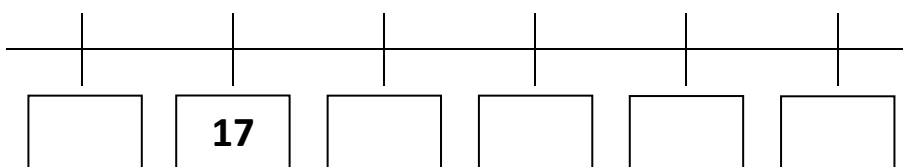
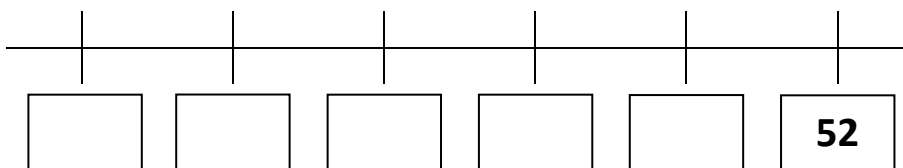


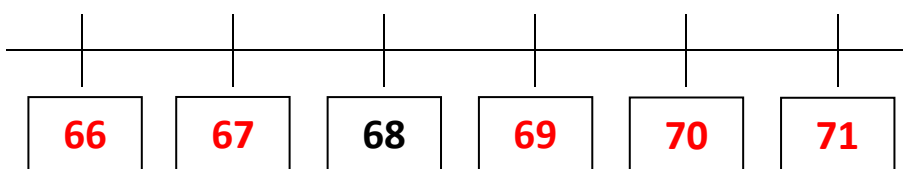
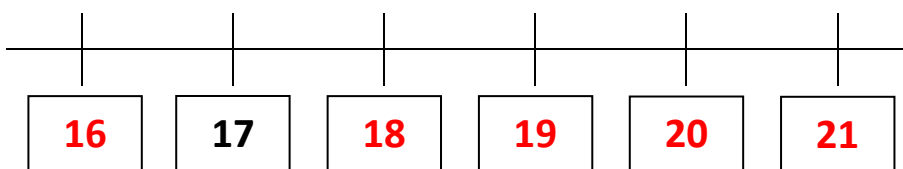
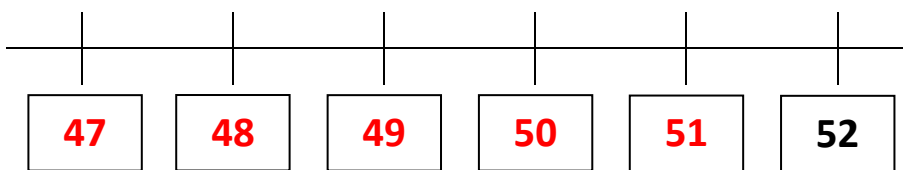
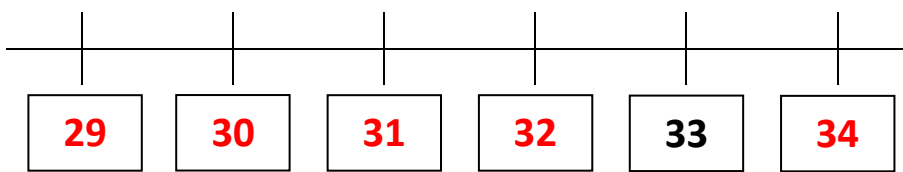
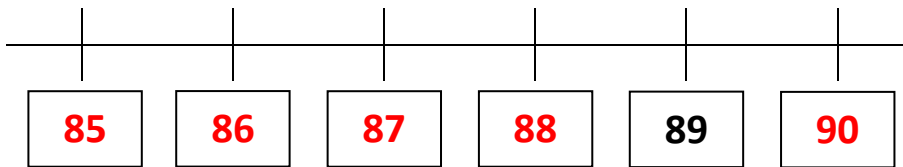
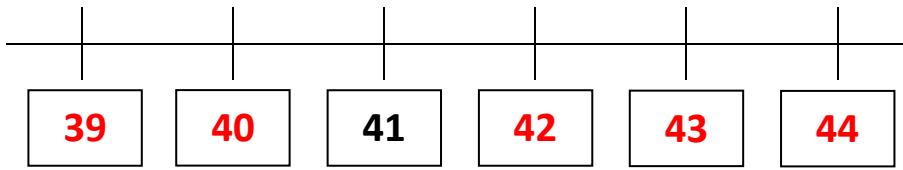


Welche Zahlen fehlen? Schreibe in die freien Felder.

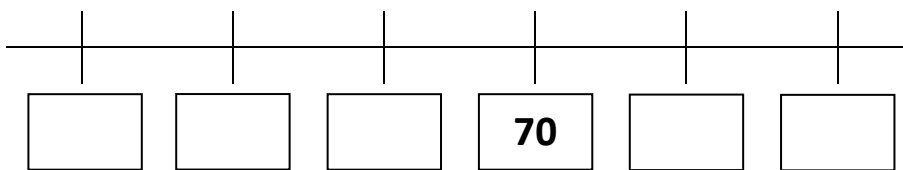
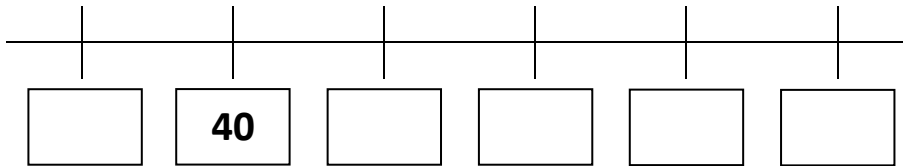
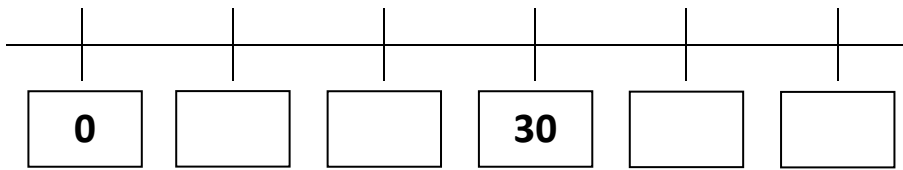


Welche Zahlen fehlen? Schreibe in die freien Felder.

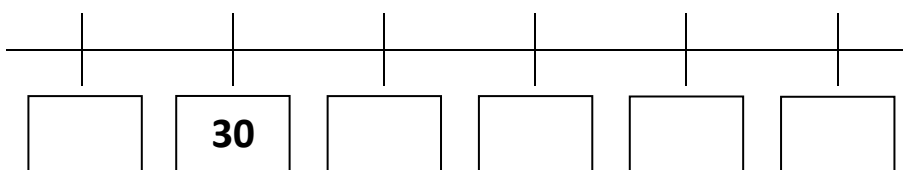
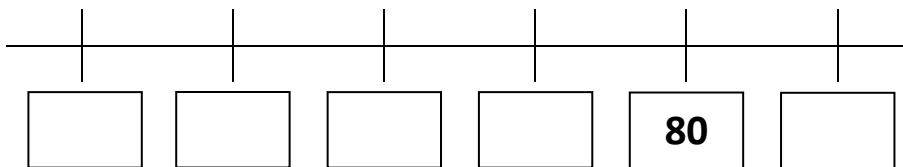
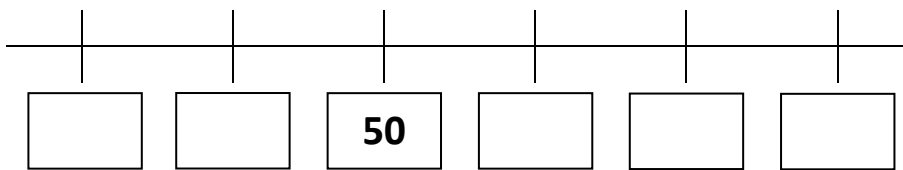


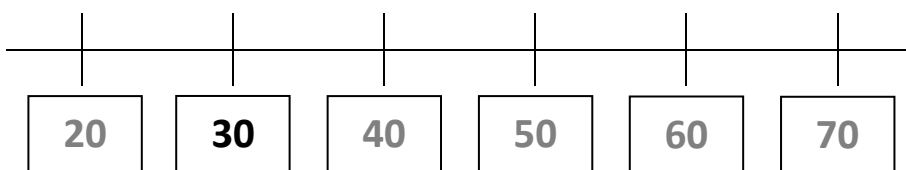
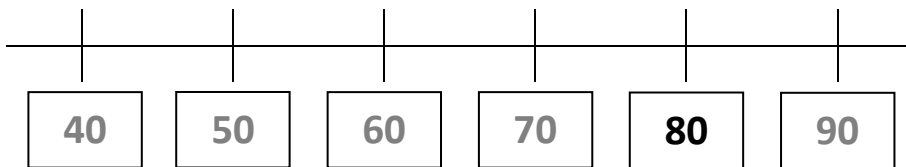
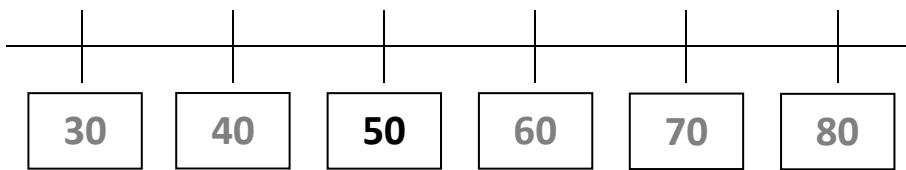
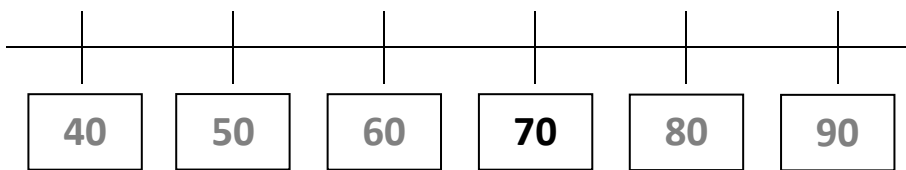
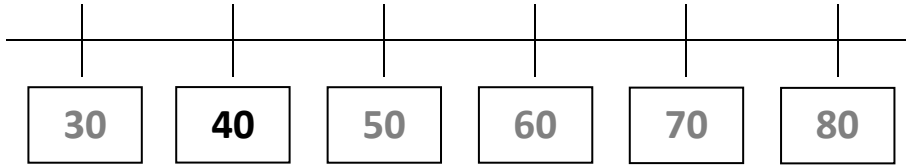
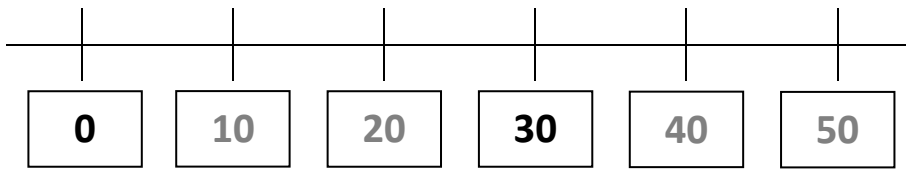


Trage die fehlenden Zehnerzahlen ein.

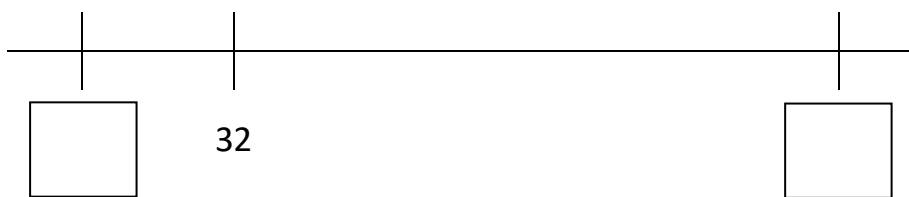
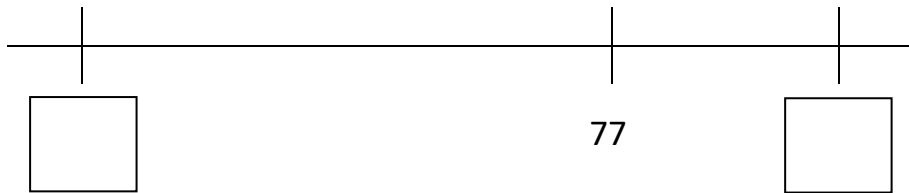
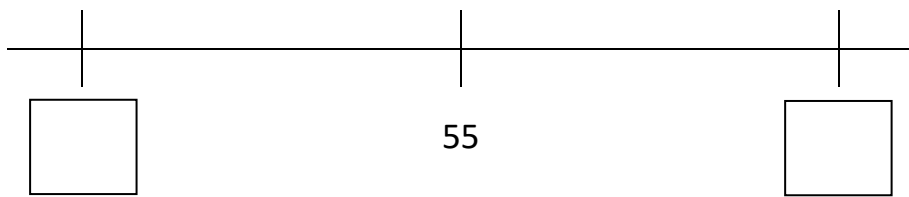


Trage die fehlenden Zehnerzahlen ein.

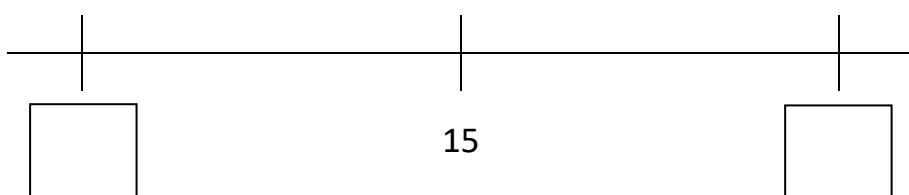
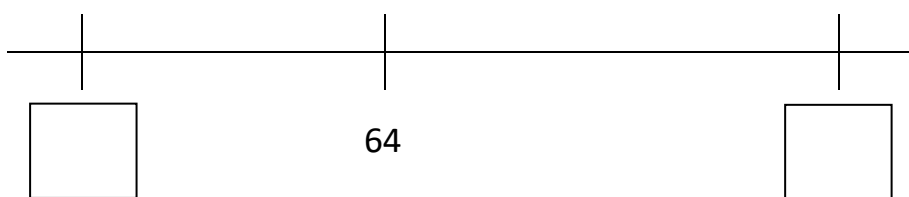


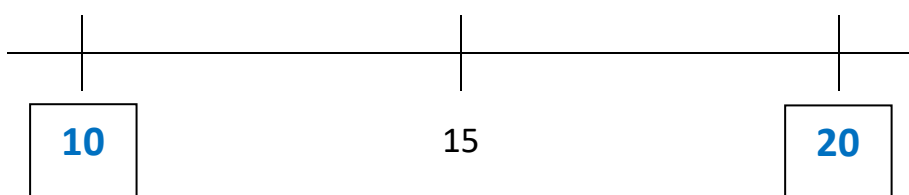
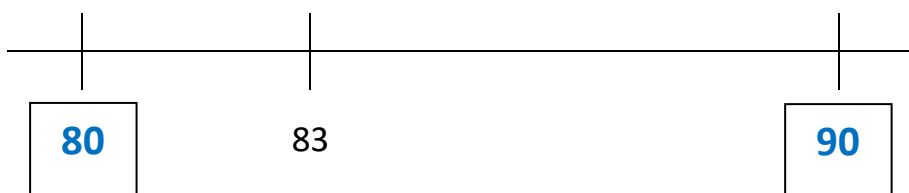
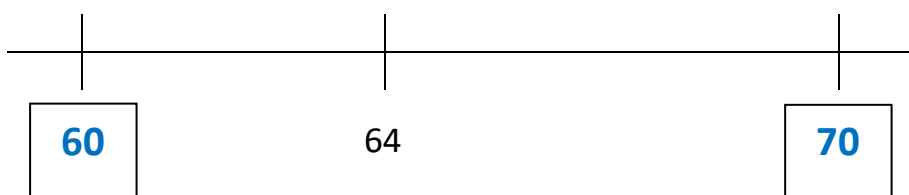
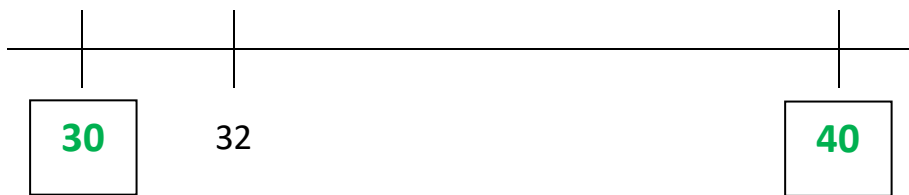
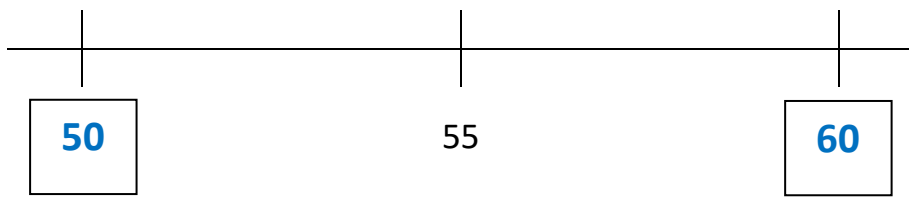


Wie heißen die Nachbarzehner? Schreibe in die freien Felder.

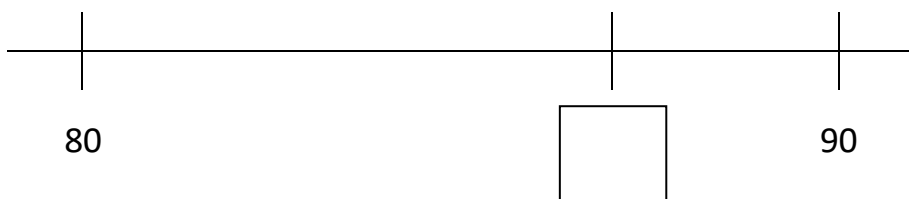
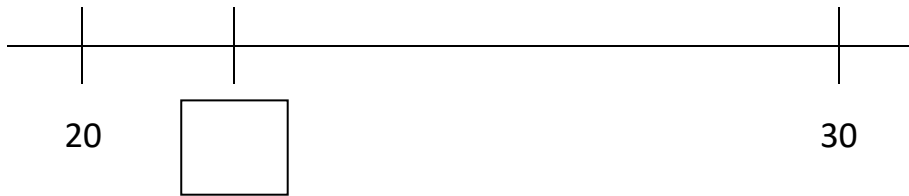
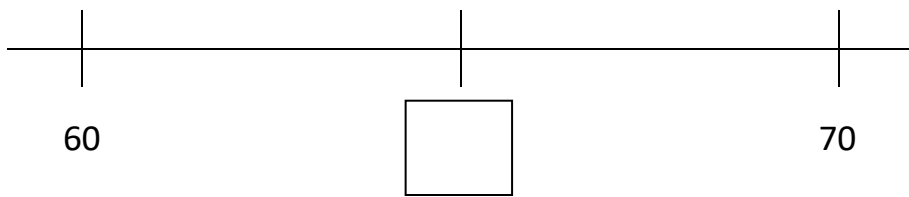


Wie heißen die Nachbarzehner? Schreibe in die freien Felder.

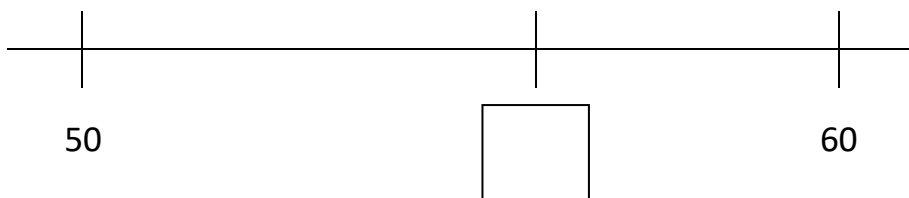
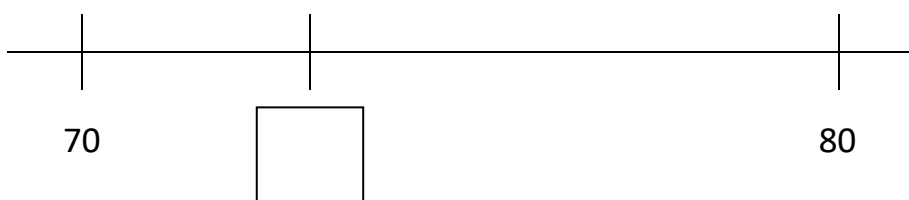


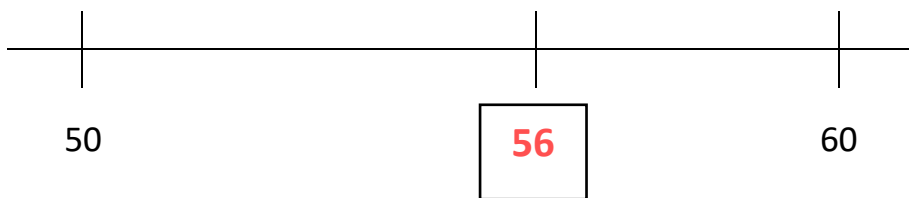
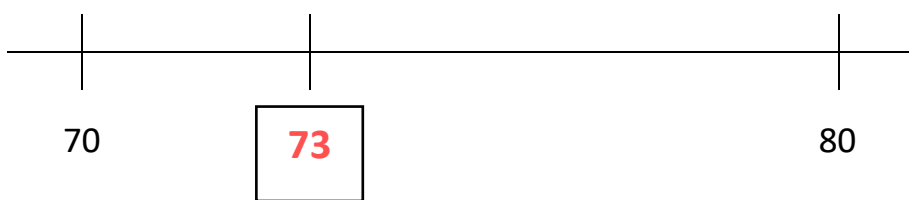
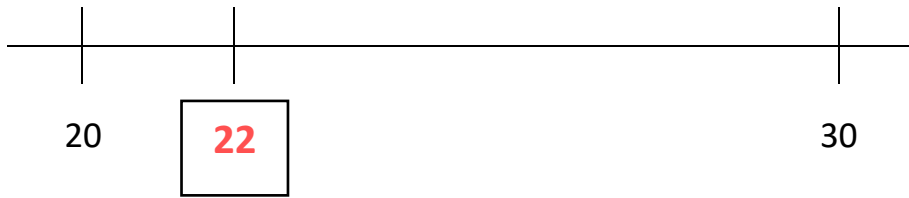
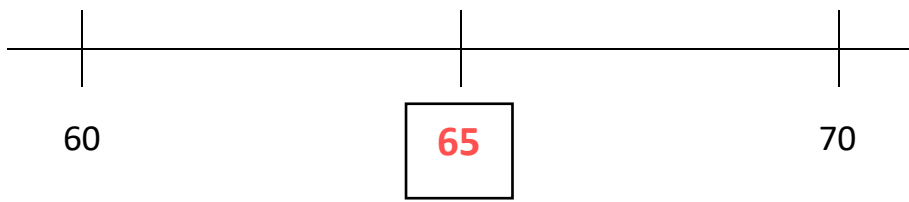


Welche Zahl könnte hier stehen?



Welche Zahl könnte hier stehen?

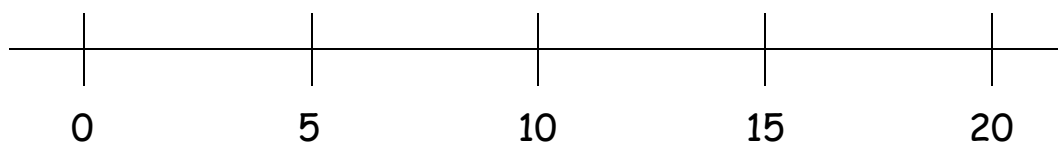




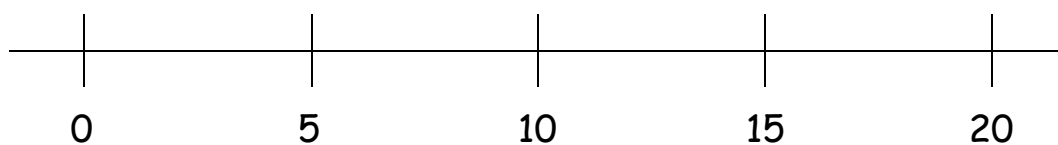
Verbinde die Zahl mit der passenden Stelle am Zahlenstrahl.



3 8 14 18 16



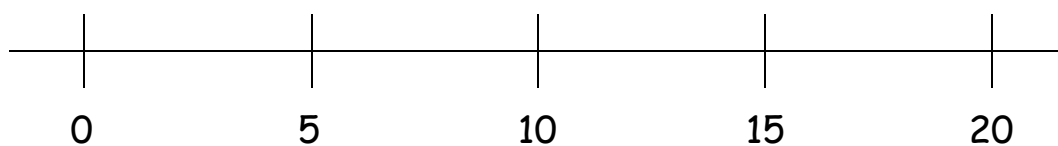
9 2 6 17 12



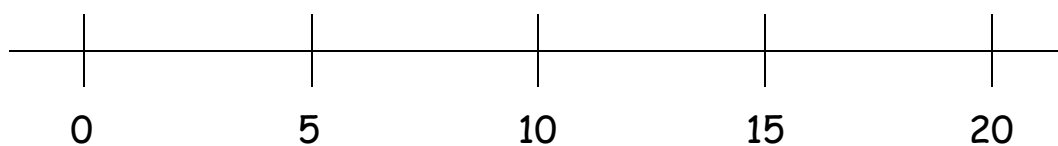
Verbinde die Zahl mit der passenden Stelle am Zahlenstrahl.

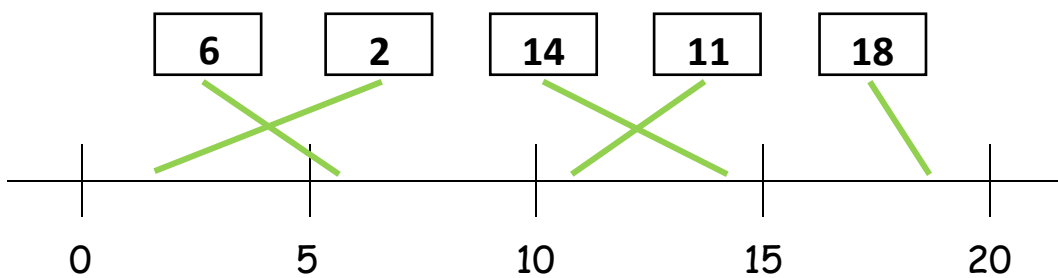
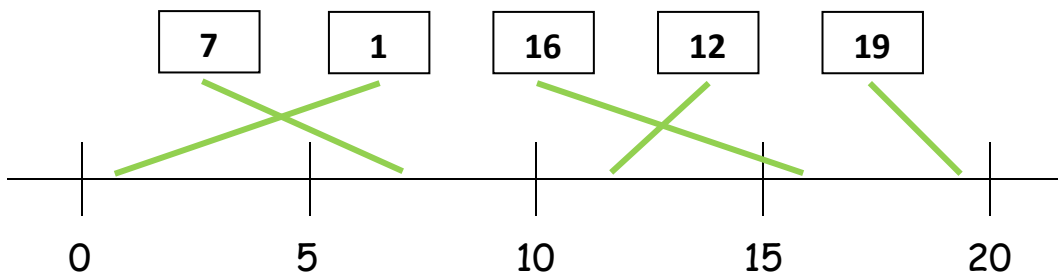
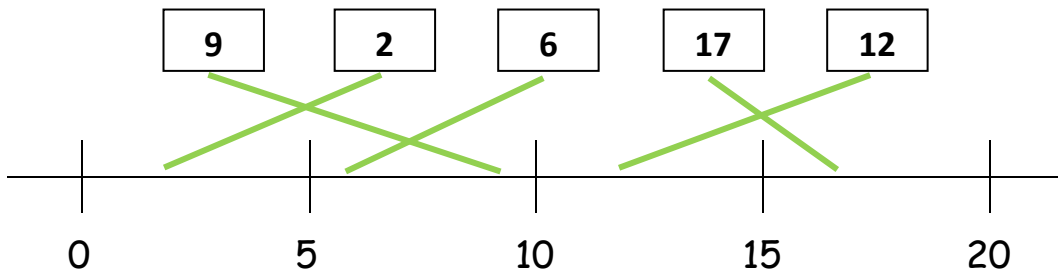
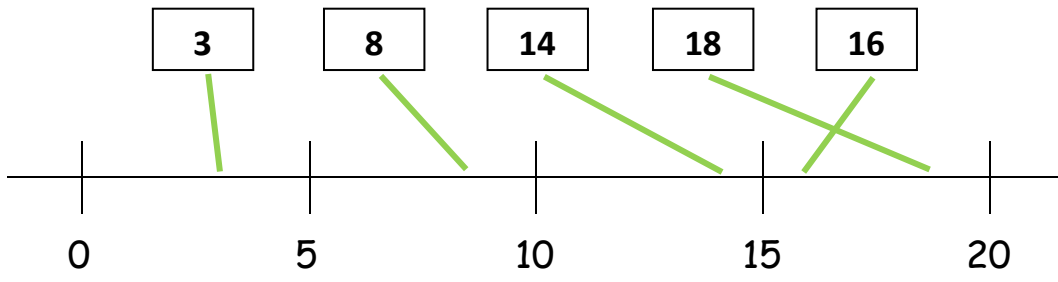


7 1 16 12 19



6 2 14 11 18

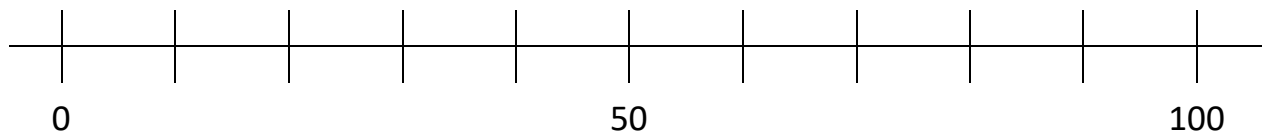




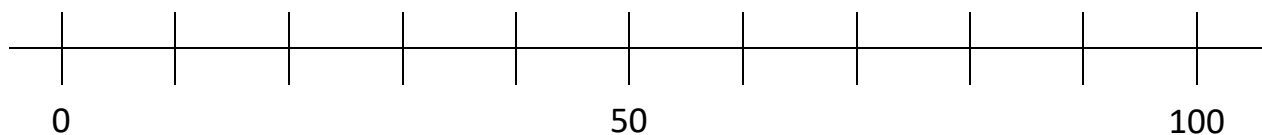
Verbinde die Zahl mit der passenden Stelle am Zahlenstrahl.



20 40 55 70 90



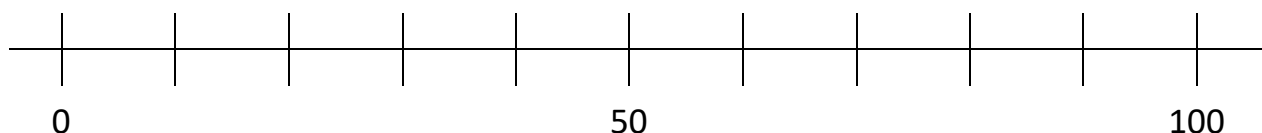
15 30 45 60 85



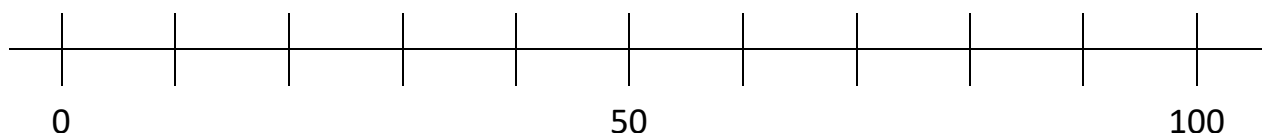
Verbinde die Zahl mit der passenden Stelle am Zahlenstrahl.

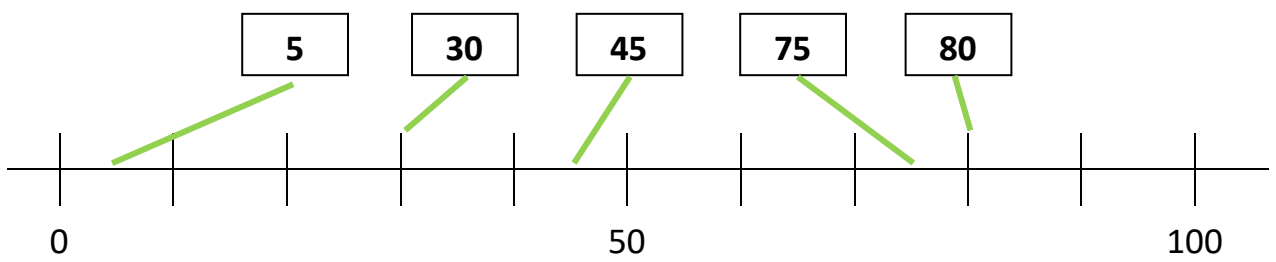
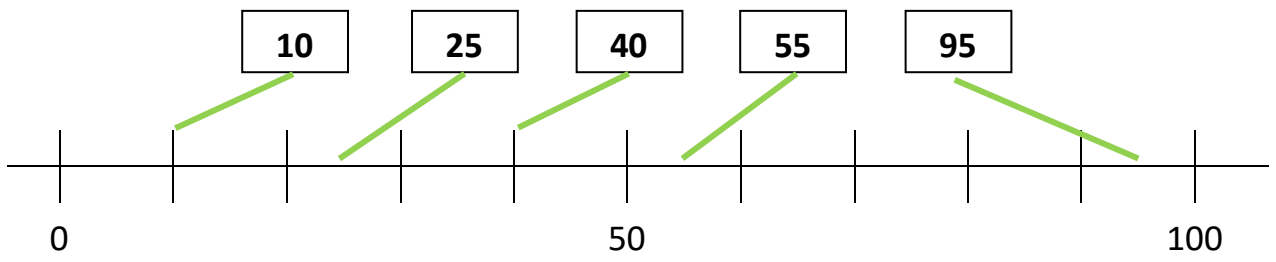
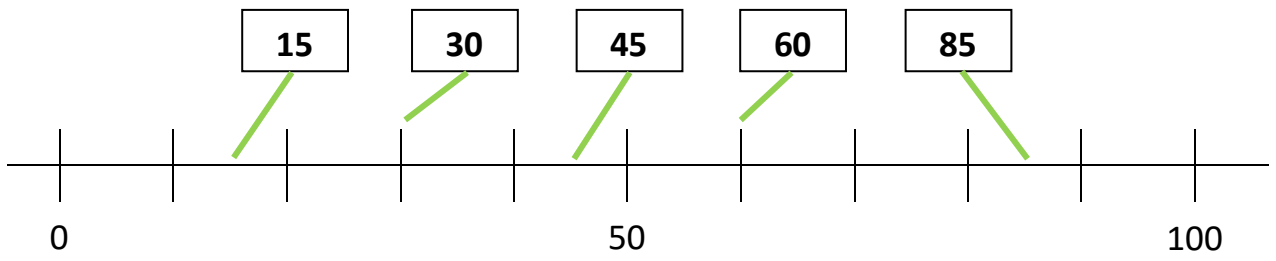
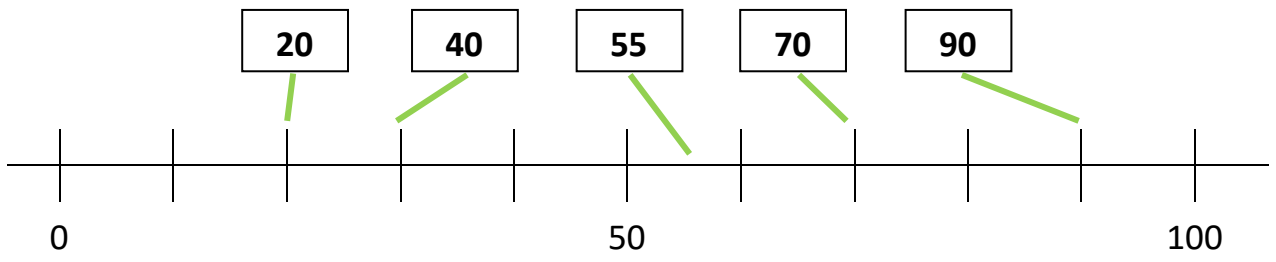


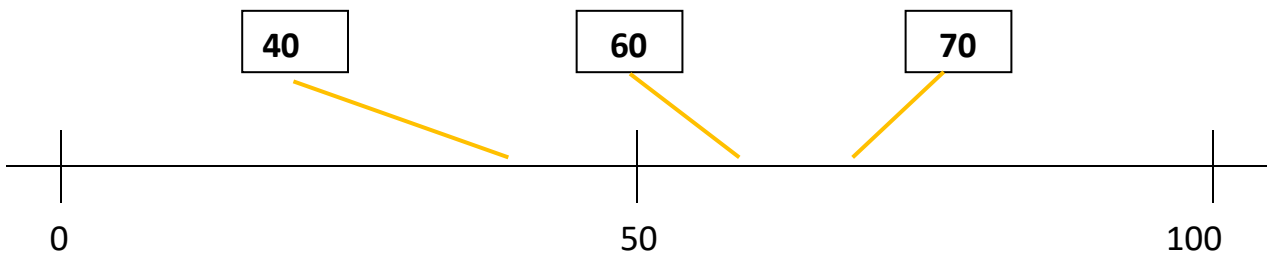
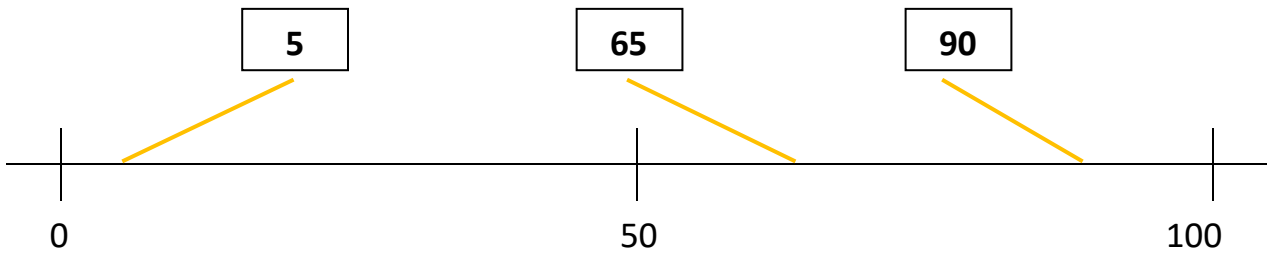
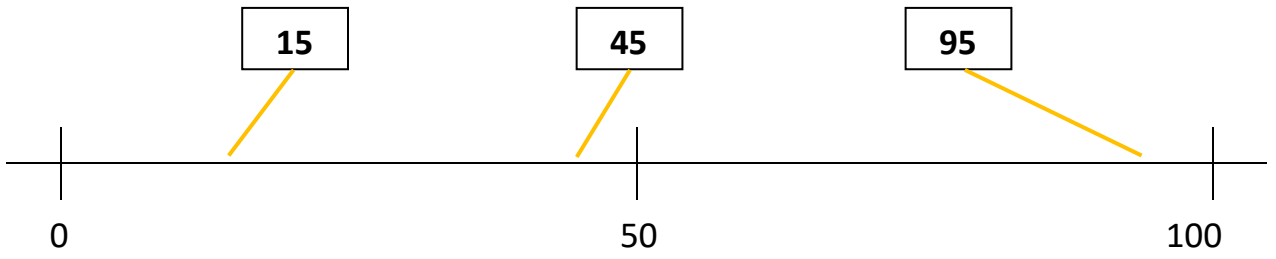
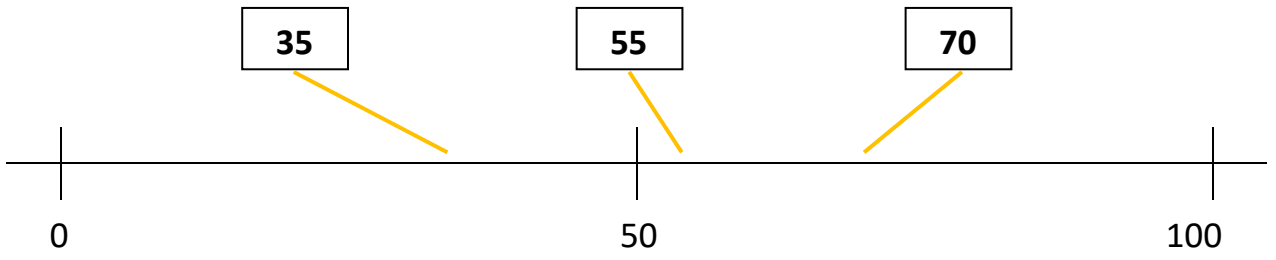
10 25 40 55 95

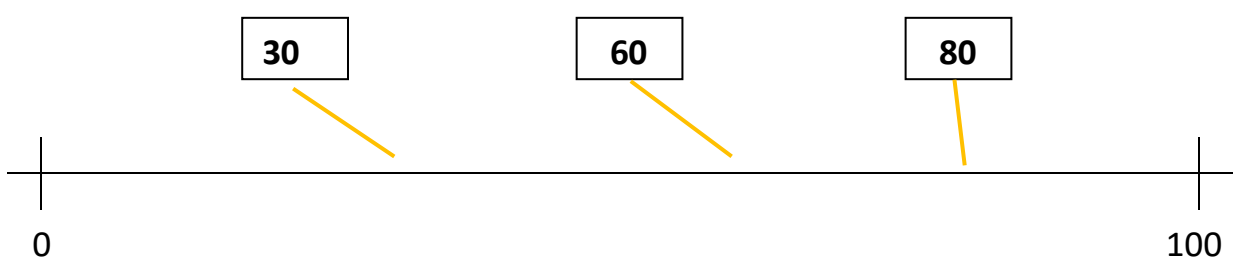
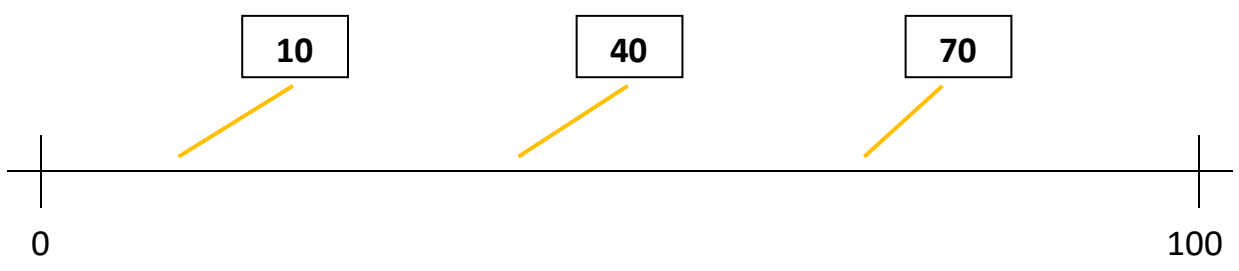
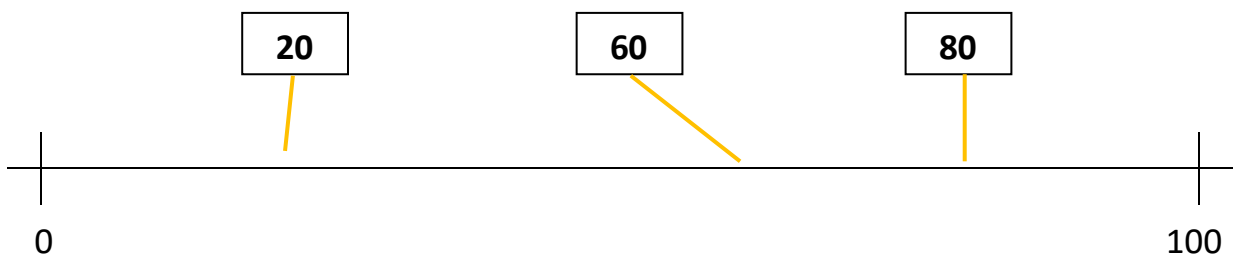
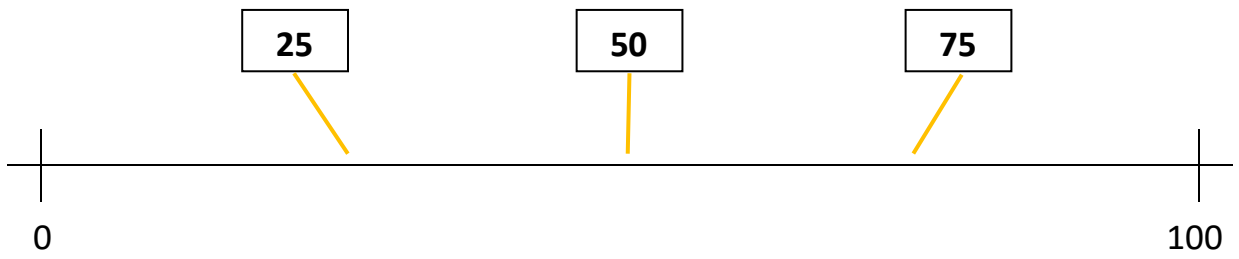


5 30 45 75 80









Verbinde die Zahl mit der passenden Stelle am Zahlenstrahl.



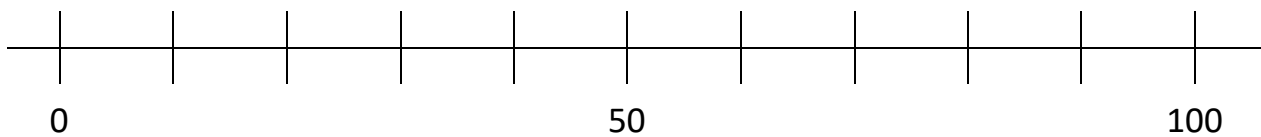
23

42

59

71

99



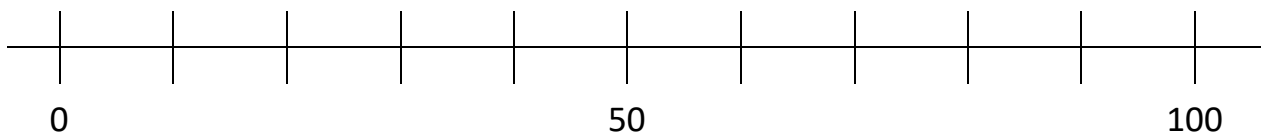
18

35

41

66

82



Verbinde die Zahl mit der passenden Stelle am Zahlenstrahl.



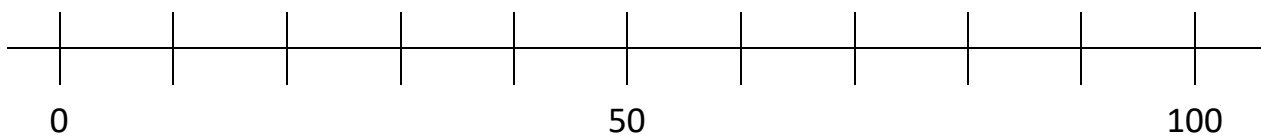
24

9

61

47

85



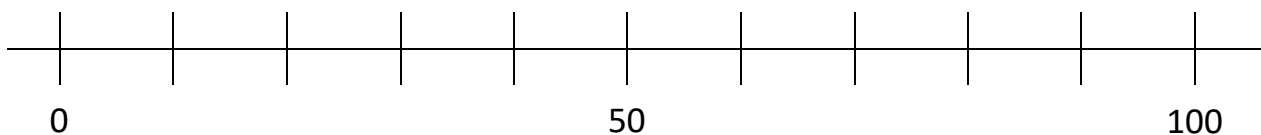
3

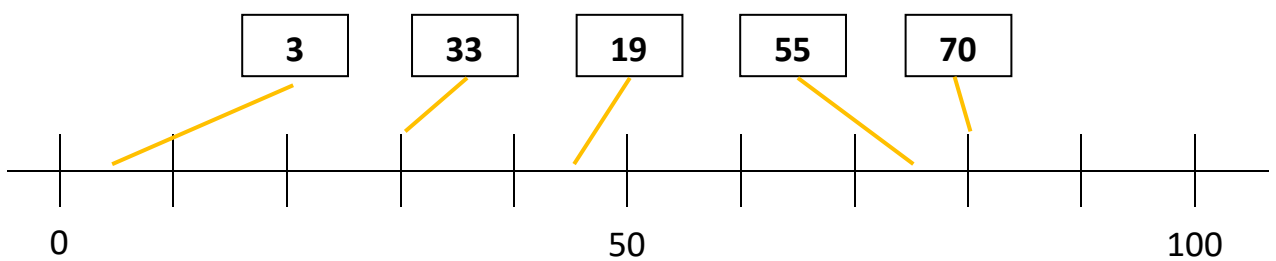
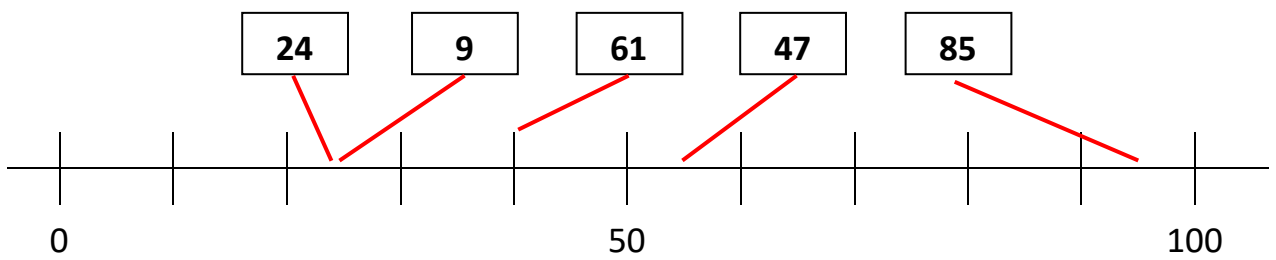
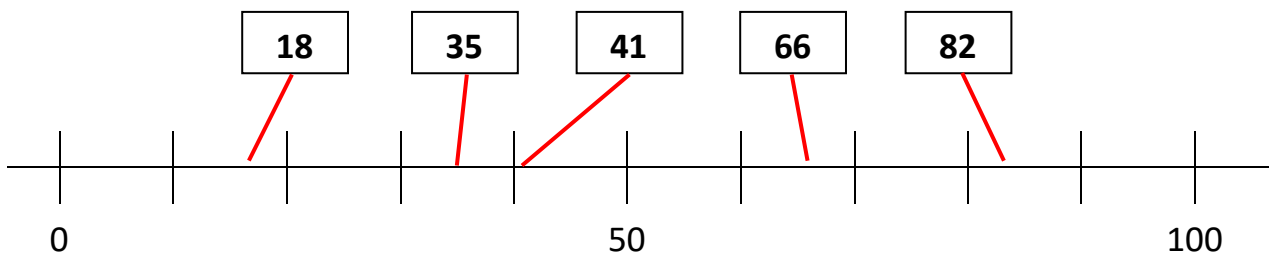
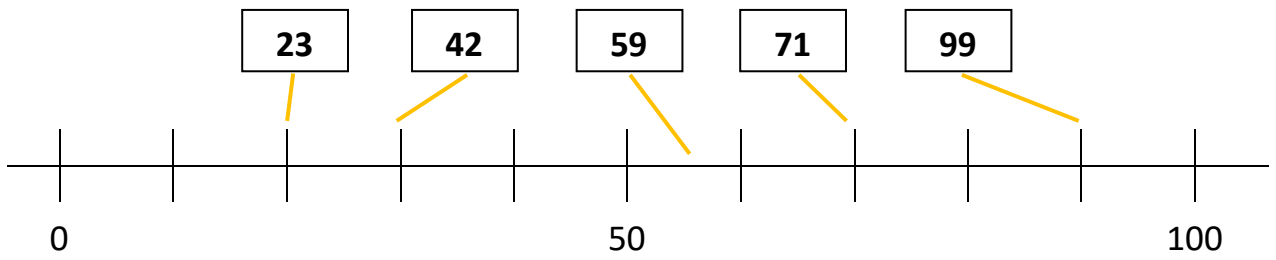
33

19

55

70





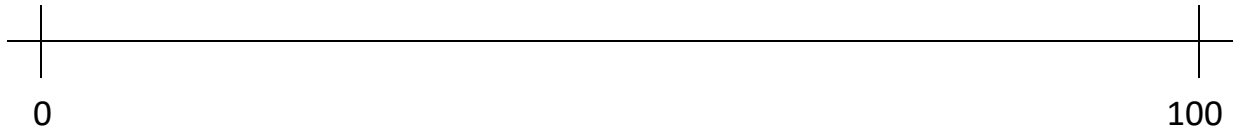
Verbinde die Zahl mit der passenden Stelle am Zahlenstrahl.



37

88

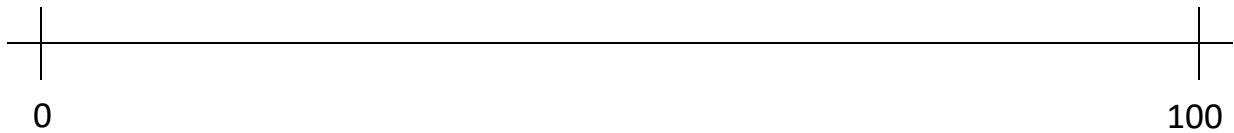
64



28

49

97



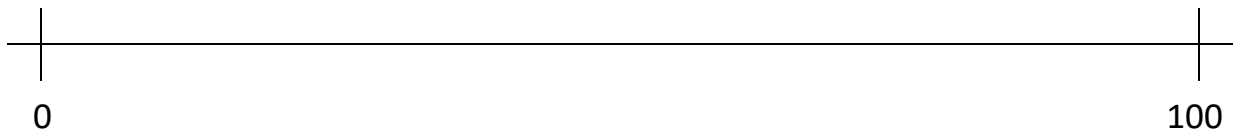
Verbinde die Zahl mit der passenden Stelle am Zahlenstrahl.



12

52

72

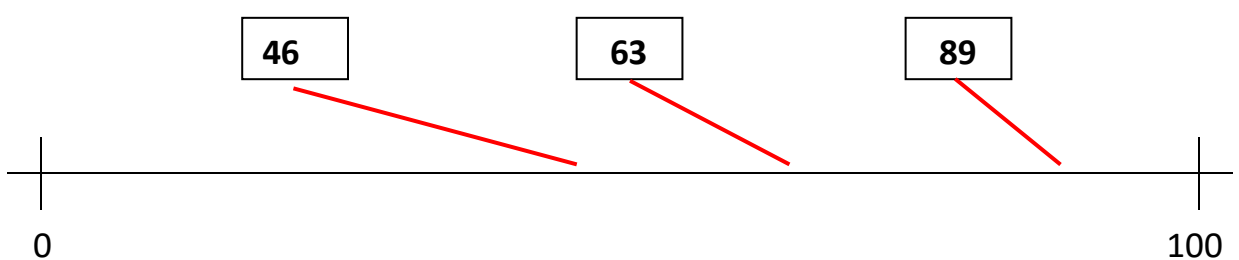
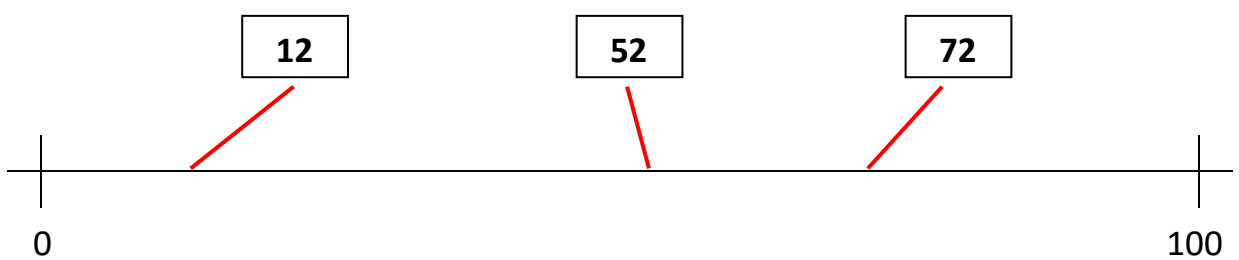
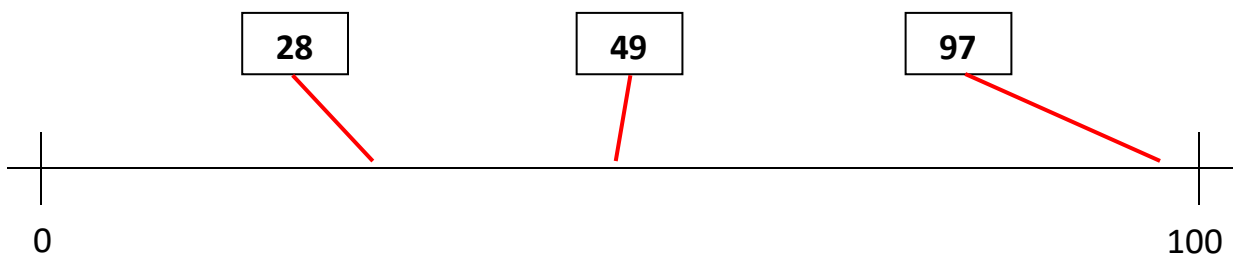
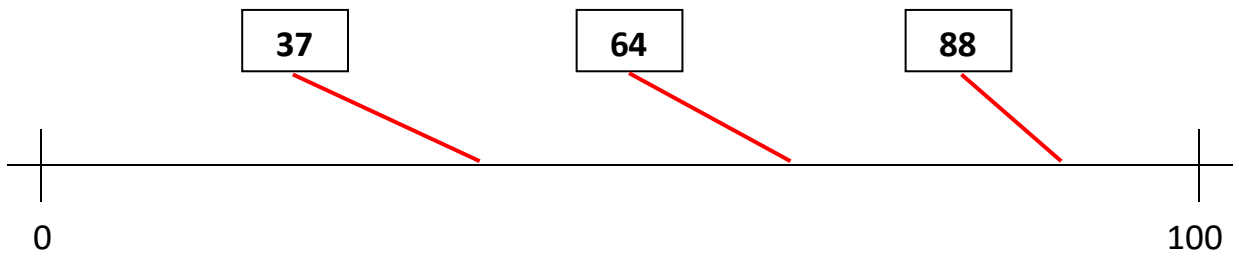


46

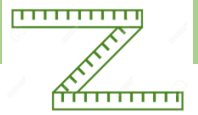
63

89



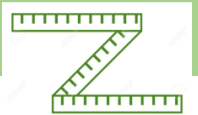


Finde alle Zahlen, die um 5 größer sind, als die vorherige.



12	17	19	24	36
				72
60	55	64	46	77
33				
83	88	91	19	20

Finde alle Zahlen, die um 5 größer sind, als die vorherige.



77	70	75	49	47
				52
23	18	71	63	65
54				
59	50	61	66	43

12	17	19	24	36
				72
60	55	64	46	77
33				
83	88	91	19	20

77	70	75	49	47
				52
23	18	71	63	65
54				
59	50	61	66	43

Finde alle Zahlen, die um 100 größer sind, als die vorherige.



270	470	250	350	870
				780
550	450	670	910	810
830				
930	570	480	390	200

Finde alle Zahlen, die um 100 größer sind, als die vorherige.



310	340	440	660	570
				780
150	240	450	350	880
60				
160	450	550	390	300


270	470	250	350	870
				780
550	450	670	910	810
830				
930	570	480	390	200


310	340	440	660	570
				780
150	240	450	350	880
60				
160	450	550	390	300


ANHANG 4: Zahlenstrahl -Pass


ZAHLENSTRAHL-PASS

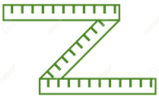
von _____


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Alles geschafft?

Spitze, dann bist du jetzt ein Zahlenstrahl-Profi und darfst dir eigene Rätsel ausdenken!

ANHANG 5: Klassenrätsel

