

Masterarbeit

Motorik und Bewegung als Voraussetzung für das Lernen

Entwicklung eines Beobachtungsinstruments für den
Einsatz beim schulischen Lernen am Beispiel
Mathematikunterricht



Caroline Roth
Homet 5
3257 Grossaffoltern

caroline.roth@stud.phbern.ch

Betreuungsperson: Verena Schindler

Eingereicht am: 01.05.2015

Studienbeginn: HS 2012

Abstract

Motorik und Bewegung stehen in direkter Beziehung zum Lernen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob im Schulalltag der Motorik und Bewegung für das Lernen genügend Rechnung getragen wird. Aus heilpädagogischer Sicht sind Kinder mit Lernschwierigkeiten darauf angewiesen, Lernerfahrungen durch die handelnde Auseinandersetzung nach konstruktivistischem Lehr- und Lernverständnis zu machen.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Beobachtungsinstruments, um aus motorischer Perspektive die handelnde Auseinandersetzung in der Mathematik beobachtbar und somit auch förderbar zu machen.

In einem ersten Teil werden aktuelle neurologische und entwicklungspsychologische Erkenntnisse theoretisch aufgearbeitet. Daraus werden fünf Kategorien deduktiv abgeleitet, die ein Gesamtbild der motorischen Aktivitäten darstellen:

- Erwartungshaltung
- Zielgerichtete Erkundungsaktivität
- Selbständigkeit und Selbstwirksamkeit
- Handeln in Verbindung mit Sprache
- Vergleiche und Bewertungen im interaktiven Austausch

Das ICF-Modell bildet den Hintergrund der Förderung. In erster Linie sind umweltbezogene Faktoren massgebend, die Handlungsmöglichkeiten aufzeigen, um die Partizipation der Schülerinnen und Schüler im Unterricht zu verbessern. Daher werden die didaktischen Prinzipien, die für das entdeckende Lernen in der Mathematik massgebend sind, dargelegt.

Das Beobachtungsinstrument kann aus zwei Blickwinkeln eingesetzt werden:

Formular 1 fokussiert die Unterrichtsplanung und -durchführung. Die Kategorien werden als fünf mathematische Aufgabenbereiche definiert. Zu jedem Aufgabenbereich sind Indikatoren formuliert, die durch die Beobachtung eines Kindes darauf hinweisen, in welchen Bereichen die Unterrichtsplanung und -durchführung aus der Sicht der Motorik und Bewegung optimiert werden kann.

Formular 2 fokussiert mit den gleichen Kategorien auf die motorischen Aktivitäten eines einzelnen Kindes in Bezug auf die Praxis. Ausgehend von einem Unterricht, der die Bedingungen aus Formular 1 erfüllt, lassen sich gezielte Anpassungen aus motorischer Sicht planen. Als theoretischer Hintergrund setzt sich ein Kapitel mit den individuellen motorischen Leistungsfähigkeiten auseinander.

Als Fazit stellt sich heraus, dass in der methodisch-didaktischen Unterrichtsplanung und -durchführung ein riesiges Potenzial steckt, welches es für das Lernen aus dem Blickwinkel der Motorik und Bewegung zu nutzen gilt. Neben einer bedeutungsvollen Aufgabenstellung, die dem eigenaktiven Handeln genügend Zeit und Raum bietet, nimmt das soziale Lernen einen hohen Stellenwert ein. Es eröffnen sich hiermit Chancen für individualisierende und kooperative Unterrichtsformen für alle Kinder, unabhängig von ihrem Entwicklungs- und Lernstand. Motorik und Bewegung muss im Sinne der entwickelten Kategorien daher mehr denn je bewusst in der Schule gewichtet werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Ausgangslage und Problemstellung.....	6
1.2	Zielsetzung	8
1.3	Vorgehen	8
2	Motorik als Voraussetzung fürs Lernen.....	10
2.1	Begriffsklärung	10
2.1.1	Entwicklung, motorische Entwicklung und motorisches Lernen.....	10
2.1.2	Motorik – Bewegung – Bewegungshandlung.....	11
2.2	Motorik aus neurologischer Sicht in Bezug auf das Lernen	12
2.2.1	Funktionen unterschiedlicher Hirnbereiche	12
2.2.2	Hierarchische Entwicklung des Gehirns.....	14
2.2.3	Die Plastizität des Zentralnervensystems	15
2.2.4	Sensible Perioden.....	16
2.2.5	Die sensomotorischen Systeme.....	17
2.2.6	Gedächtnis und neuronale Repräsentationen.....	18
2.2.7	Bedeutung der Motorik für das Lernen aus neurologischer Sicht	19
2.3	Motorik aus entwicklungspsychologischer Sicht	20
2.3.1	Das neuromotorische Alter – Säuglingsalter	21
2.3.2	Bedeutung der Motorik für das Lernen im neuromotorischen Alter	22
2.3.3	Das sensomotorische Alter – Kleinkindalter.....	23
2.3.4	Bedeutung der Motorik für das Lernen im sensomotorischen Alter	24
2.3.5	Das psychomotorische Alter – Vorschulalter	25
2.3.6	Bedeutung der Motorik für das Lernen im psychomotorischen Alter	26
2.3.7	Das sozomotorische Alter – Mittleres Kindesalter	27
2.3.8	Bedeutung der Motorik für das Lernen im sozomotorischen Alter	28
2.4	Individuelle motorische Leistungsfähigkeiten.....	29
2.4.1	Körpererfahrungen.....	30
2.4.2	Die Entwicklung der Grobmotorik.....	32
2.4.3	Die Entwicklung der Hand-, Fein- und Grafomotorik.....	33
2.4.4	Lateralität	35
2.4.5	Bedeutung der Grob-, Fein- und Handmotorik für das Lernen	36
2.4.6	Koordinative Fähigkeiten	38
2.4.7	Bedeutung der koordinativen Fähigkeiten für das Lernen.....	40
2.4.8	Raum und Zeit	41
2.4.9	Bedeutung von Raum und Zeit für das Lernen	44
3	Unterricht nach den didaktischen Prinzipien des aktiv-entdeckenden Lernens in der Mathematik	46

3.1	Mathematik als konstruktiver Prozess.....	46
3.1.1	Fachorientierung – Fundamentale Ideen	47
3.1.2	Rolle und organisatorischer Auftrag der Lehrpersonen.....	48
3.1.3	Individuelle Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler	50
3.2	Das operative Unterrichtsprinzip der Mathematikdidaktik	51
3.2.1	Von der Handlung zur Operation bis zum Begriff.....	52
3.2.2	Enaktive, ikonische und symbolische Darstellungen.....	54
3.2.3	Auswahl grundlegender Arbeitsmittel und Darstellungsweisen.....	56
3.3	Bedeutung des aktiv-entdeckenden Lernens für die Unterrichtsorganisation ...	58
4	Beobachtungsinstrument für die Analyse der motorischen Aktivitäten im Mathematikunterricht	59
4.1	Bildung der Kategorien	59
4.2	Individuelle Voraussetzungen bei motorischen Aktivitäten	59
4.3	Beobachtungsinstrument in Form von zwei Formularen	59
4.3.1	Formular 1: Beobachtung der Unterrichtsplanung und -durchführung	59
4.3.2	Formular 2: Beobachtung der motorischen Aktivität eines Kindes	59
5	Reflexion.....	59
5.1	Darstellung der Ergebnisse.....	59
5.2	Interpretation auf dem Hintergrund der Zielsetzung.....	59
5.3	Konsequenzen für die Praxis	59
6	Verzeichnisse	59
6.1	Literaturverzeichnis.....	59
6.2	Abbildungsverzeichnis	66
6.3	Tabellenverzeichnis	67
7	Anhang	68
7.1	Didaktische Prinzipien beim entdeckenden Lernen im Überblick.....	68
7.2	Tipi-Modell	69

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Kinder mit Lernschwierigkeiten beschäftigen uns im heilpädagogischen Schulalltag. Neben unzähligen Faktoren, die zu Lernschwierigkeiten führen können, spielen die Voraussetzungen, die überhaupt Lernprozesse ermöglichen, eine nicht zu unterschätzende Rolle. Wie lernen Kinder? Welche Bedingungen sind entscheidend, dass Lernen erfolgreich ist? Diese Arbeit verbindet entwicklungspsychologische Theorien der Motorik und Bewegung mit einem konstruktivistischen Lehr-Lernverständnis. Warum ist Motorik und Bewegung für das Lernen so wesentlich?

Bewegung ist gleichzeitig Handlung und führt zu Erfahrungen. Jede Bewegung, die ein Mensch bewusst oder unbewusst ausführt, löst bei ihm Gedanken aus, deren Verarbeitung unmittelbar Lernprozesse ermöglicht (vgl. Hannaford, 2013, 143). Bewegung ist somit ein unverzichtbarer Bestandteil des Lernens und Denkens. So erobert das Kleinkind seine Welt durch Betasten, Begreifen, Behandeln, Befühlen und Besichtigen. Es lernt durch diese vielfältigen Bewegungen, es führt Handlungen aus und macht dabei unterschiedliche Erfahrungen. Durch diese handelnden Auseinandersetzungen mit der Welt lernt es Formen, Eigenschaften, Umgangsqualitäten und räumlich-zeitliche Beziehungen zu unterscheiden. Das Kind führt zunehmend koordiniertere und komplexere Bewegungsformen aus. Diese setzt es immer gezielter zur Lösung bestimmter Aufgaben ein, die somit zur Quelle kognitiver Prozesse werden (vgl. Meinel, 2007, 20). Lernen geschieht folglich aus eigenen Aktivitäten und Erfahrungen heraus. Neben dem Lernen und Verstehen dienen Bewegungen und Handlungen dem Kind auch zur Beziehungsgestaltung, indem es seine sozialen und emotionalen Bedürfnisse erlebt und ausdrückt. Es baut durch gelingende Interaktionen Vertrauen auf, die ihm Antrieb und Motivation geben. Das Kind entwickelt sich durch eigenaktives Handeln in seiner Umgebung und es beteiligt sich selber aktiv an der Gestaltung seiner Entwicklung (vgl. Fischer, 2009, 59; Lienert et al., 2013, 87). Folglich sind Motorik und Bewegung zentrale Voraussetzungen sowohl für das Lernen in der Schule als auch für die Entwicklung der eigenen Persönlichkeit und Identität.

Neben den personenbezogenen Faktoren stellt gleichzeitig auch die Umwelt einen wesentlichen Faktor dar. Dieser ist entscheidend, wie und in welcher Qualität Motorik und Bewegung und dementsprechend das Lernen stattfinden können. Im Hintergrund steht die von der World Health Organization (WHO) herausgegebene internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit (ICF). Sie berücksichtigt

den gesamten Lebenshintergrund einer Person, einschliesslich der Umweltfaktoren (vgl. DIMDI, 2005, 9). Laut Hollenweger (2014, 30) bietet die ICF die Grundlage für ein neues und adäquates Verständnis für Behinderung, denn es geht darum, die Passung zwischen Anforderungen und eigenen Handlungsmöglichkeiten zu finden. Sowohl für die Planung und Durchführung des regulären Unterrichts als auch aus heilpädagogischer Sicht in Bezug auf die individuelle Förderung eines Kindes ist es von grosser Bedeutung, dass die umweltbezogenen Faktoren explizit einbezogen werden.

In der Schule ist das Umfeld in erster Linie der Unterricht. Als konstruktivistische Unterrichtsform fokussiert diese Arbeit den aktiv-entdeckenden Mathematikunterricht. Der Begriff „aktiv-entdeckend“ weist bereits darauf hin, dass eigenständige motorische Handlungsaktivitäten und Bewegungen im Vordergrund stehen. Lernen wird heute, genauso wie die Gesamtentwicklung des Kindes, als eine konstruktive Aufbauleistung des Individuums gesehen (vgl. Fischer, 2009, 123). Auch das Verständnis von Lehren hat in den vergangenen Jahrzehnten durch den konstruktivistischen Ansatz einen Paradigmenwechsel erfahren. Dies bedingt einen Unterricht, der eine aktive und selbstgesteuerte Auseinandersetzung mit der Sache gewährleistet (vgl. Krauthausen & Scherer, 2004, 102; Winter, 1994, 14-15). Die Konzeption des Schweizer Zahlenbuchs basiert auf dem aktiv-entdeckenden Lernverständnis (vgl. Wittmann & Müller, 2007). Eigene Handlungsaktivitäten ermöglichen Erfahrungen, die zu Einsichten und zu Verstehen führen und nicht bloss als Informationen vermittelt werden. Die Gestaltung des Unterrichts spielt eine massgebliche Rolle für eine erfolgreiche Umsetzung dieses Unterrichtsprinzips.

In der vorliegenden Arbeit werden didaktische Prinzipien des aktiv-entdeckenden Lernens in der Mathematik herausgearbeitet. In Bezug auf die motorische Entwicklung geht es schliesslich um die Frage, ob der Unterricht den Schülerinnen und Schülern die erforderlichen motorischen Aktivitäten bietet, dass sie sich bewegend sowie handelnd und entdeckend mit den Lerninhalten auseinandersetzen können, damit Lernen gelingt. Die Förderung von Kindern mit mathematischen Schwierigkeiten setzt demzufolge an Unterrichtsbedingungen an, welche motorische Tätigkeiten und Aktivitäten in geeigneter Form ermöglichen. Mit Hilfe eines Beobachtungsinstruments wird der Unterricht in der Mathematik in Bezug auf die entwicklungspsychologische Sicht der Motorik und Bewegung aufgeschlüsselt, um daraus geeignete (Förder-) Massnahmen abzuleiten, die zu einer verbesserten Partizipation führen.

1.2 Zielsetzung

Lernen und Lernerfolg hängen zu einem wichtigen Teil davon ab, ob die Schülerinnen und Schüler sich handelnd mit den Lerninhalten auseinandersetzen. Im Rahmen dieser Arbeit geht es um die Frage, wie diese handelnde Auseinandersetzung im Unterricht beobachtbar gemacht werden kann, damit sie mess- und damit auch förderbar wird.

Übergeordnet werden Kategorien entwickelt, die ein Gesamtbild der motorischen Aktivitäten von Schülerinnen und Schülern beim Lernen im Unterricht darstellen. Diese Kategorien orientieren sich an aktuellen entwicklungspsychologischen und neurologischen Erkenntnissen.

Ziel der Arbeit ist ein Beobachtungsinstrument zur Erfassung der motorischen Aktivitäten während des Mathematikunterrichts, welches ausgehend vom erwähnten Kategoriensystem entwickelt wird. Hierbei wird von einem konstruktivistischen Ansatz ausgegangen, der sich sowohl auf die Unterrichtsplanung und -durchführung als auch auf die Beobachtung einer Schülerin, respektive eines Schülers, fokussiert.

1.3 Vorgehen

In einem ersten Teil geht es um die Aufarbeitung von theoretischen Grundlagen zur Motorik. In Kapitel 2 steht die Entwicklung der Motorik und der Bewegung als Voraussetzung für das Lernen im Vordergrund. Nach einer Begriffserklärung befasst sich Kapitel 2.2 mit der Motorik aus neurologischer Sicht in Bezug auf das Lernen. Es wird ersichtlich, in welcher Komplexität die Vorgänge im Hirn ablaufen, die durch die Bewegung, die Wahrnehmung und durch die Umwelterfahrungen ausgelöst werden. Es ist sowohl aus sensomotorischer Sicht als auch in Bezug auf das Lernen wesentlich, diese biologischen Prozesse wenigstens annähernd zu verstehen. Kapitel 2.3 setzt sich mit der entwicklungspsychologischen Sicht der motorischen Entwicklung auseinander, aus welcher die Kategorien für die Zielsetzung abgeleitet werden. Der Motorik kommt in der kindlichen Entwicklung gegenwärtig eine deutlich grössere Bedeutung zu als bis anhin gedacht. Das hängt damit zusammen, dass Entwicklung heute als ein dynamischer Prozess mit grossen Potenzialen verstanden wird (vgl. Fischer, 2009, 126). Kapitel 2.3.1 bis 2.3.8 beschreiben die verschiedenen Entwicklungsphasen vom Säuglingsalter bis ins mittlere Kindesalter und heben für jeden Entwicklungsabschnitt die Bedeutung der Motorik für das Lernen hervor. Kapitel 2.4 stellt individuelle motorische Leistungsfähigkeiten und Kompetenzen eines Kindes in den Vordergrund. Zunächst wird noch einmal auf das ICF-Modell (vgl. DIMDI, 2005, 23) eingegangen, welches die Grundlage für das Verstehen der Lebenssituation eines Menschen liefert. Das zu entwickelnde Beobach-

tungsinstrument aus der Zielsetzung fokussiert zum einen auf die Unterrichtsplanung und -durchführung, die es nach motorischen Gesichtspunkten zu optimieren gilt. Zum anderen ist jedoch auch der heilpädagogische Aspekt bedeutsam, der die motorische Aktivität eines einzelnen Kindes beobachtet, um daraus eine Förderung abzuleiten. Dies verlangt spezifische Kenntnisse zu individuellen motorischen Aktivitäten und deren Auswirkungen auf das Lernen, damit gezielte Anpassungen für eine verbesserte Partizipation geplant werden können. Kapitel 2.4.1 bis 2.4.9 thematisieren ausführlich, wie motorische Voraussetzungen zueinander in Beziehung stehen und gleichzeitig für das schulische Lernen hochbedeutsam sind.

Der zweite Teil der Arbeit befasst sich mit dem Einfluss des Unterrichts auf das Lernen. In Kapitel 3 werden die didaktischen Prinzipien des aktiv-entdeckenden Mathematikunterrichts herausgearbeitet. Zuerst befasst sich Kapitel 3.1 mit den Grundideen des zeitgemässen Mathematikunterrichts, die auf konstruktivistischen und kognitionspsychologischen Theorien basieren. Es wird verdeutlicht, welche didaktischen Prinzipien es bezüglich der Lerninhalte, der Unterrichtsgestaltung und -organisation, der Rolle der Lehrperson sowie der Lernausgangslage der Schülerinnen und Schüler zu beachten gilt, damit überhaupt ein aktiv-entdeckender Unterricht stattfinden kann. Kapitel 3.2 greift danach gezielt jene Aspekte auf, die sich auf die Verbindung zur Motorik und Bewegung im Unterricht ausrichten und zu mathematischem Denken führen. Zusammenfassend legt Kapitel 3.3 dar, welche Bedeutung die didaktischen Prinzipien des entdeckenden Lernens für die Unterrichtsorganisation haben. Gleichzeitig kristallisieren sich Chancen eines integrativen, sogar eines inklusiven Unterrichts heraus.

Aufgrund des theoretischen Wissens erfolgt nun in Kapitel 4 die deduktive Kategorienbildung aus den entwicklungspsychologischen Erkenntnissen von Kapitel 2.3. Sie werden gleichzeitig mit den didaktischen Prinzipien aus Kapitel 3 in Verbindung gebracht. Kapitel 4.2 befasst sich mit den personenbezogenen Faktoren der motorischen Aktivitäten. Die Überlegungen und das Vorgehen zur Entwicklung des Beobachtungsinstruments beschreibt Kapitel 4.3. Zu den definierten Kategorien werden Indikatoren formuliert, die sich auf mathematische Unterrichtssituationen beziehen und die handelnde Auseinandersetzung beobachtbar machen. Im letzten Kapitel gilt es, das Ergebnis übersichtlich darzustellen, vor dem Hintergrund der theoretischen Auseinandersetzung kritisch zu reflektieren sowie Überlegungen und Konsequenzen für die Umsetzung in der Praxis abzuleiten.

2 Motorik als Voraussetzung fürs Lernen

2.1 Begriffsklärung

2.1.1 Entwicklung, motorische Entwicklung und motorisches Lernen

Der Begriff der **Entwicklung** hat sich in der Vergangenheit stark gewandelt und wird auch heute noch sehr vielfältig gesehen (vgl. Willimczik & Singer, 2009, 15). Das hat mit der Erweiterung der Entwicklungspsychologie zu tun, die sich zunehmend mit anderen Disziplinen vernetzt und eine interdisziplinäre und interaktionistische Perspektive verfolgt (vgl. Baur et al., 2009, 8-9). Gegenstände der Entwicklungspsychologie sind Veränderungen und Stabilitäten von Kompetenzen, Überzeugungen, Motivationen, Selbstkonzepten usw. Sie werden über die gesamte Lebensspanne in Form von Verhaltensrepertoires erklärt (vgl. Montada et al., 2012, 39). Jeder Entwicklungsprozess ist ein lebenslanges Wechselspiel zwischen Wachstum, in Form von Zuwachs an Kapazität, und Abbau oder Verlust. Zudem ist der Entwicklungsverlauf einer Person immer von deren Lebensbedingungen und Lebenserfahrungen abhängig. Das bedeutet, dass die Entwicklung durch eine hohe intraindividuelle Plastizität gekennzeichnet ist, indem sie sich bei jeder Person veränderbar zeigt (vgl. Baltes, 1990, 4). Altersangaben, Altersverlaufskurven und Altersnormen sind im Sinne einer Orientierung trotzdem entwicklungsrelevante Informationen (vgl. Montada et al., 2012, 41).

Die **motorische Entwicklung** und das motorische Lernen betreffen somit Veränderungen von motorischen Funktionen. Die motorische Entwicklung betrifft grössere Zeiträume (Jahre, Jahrzehnte, Lebensverlauf). Dabei hat eine Unterteilung in einzelne Entwicklungsstufen höchstens für die frühe motorische Entwicklung und nur in pragmatischer Art eine Bedeutung, denn Stufenkonzepte dürfen nicht im Sinne von Reifungsprozessen verstanden werden (vgl. Munzert, 2010, 29). Bei der motorischen Entwicklung werden alle Systeme der Informationsaufnahme und -verarbeitung miteinbezogen. Dabei handelt es sich um Lernvorgänge, kognitive Verarbeitungen, emotionale und soziale Prozesse, die gesamthaft als psychomotorische Entwicklung verstanden werden können (vgl. Scheid & Rieder, 2007, 81).

Das **motorische Lernen** bezieht sich auf dauerhafte Veränderungen im Minuten-, Stunden- oder Tagesbereich. Dabei geht es nicht nur um sichtbare Verhaltensänderungen, sondern stärker um das Verhaltenspotential, welches erworben wird. Damit das Gelernte praktisch umgesetzt werden kann, sind äussere Bedingungen nötig, welche eine Umsetzung überhaupt zulassen. Daher muss man sich die Unterscheidung zwi-

schen Verhalten und Verhaltenspotential vor allem auch aus methodischer Sicht immer vergegenwärtigen. Es wird somit ersichtlich, dass die Zeitskala entscheidend ist für die Unterscheidung zwischen Entwicklungs- oder Lernprozessen. Die motorische Entwicklung umfasst dementsprechend motorische Lernprozesse (vgl. Munzert, 2010, 9-10).

2.1.2 Motorik – Bewegung – Bewegungshandlung

Motorik umfasst in der Wortverbindung mit Entwicklung gleichzeitig immer auch die Bewegung (vgl. Willimczik & Singer, 2009, 17). Die Bewegungstätigkeit des Menschen, mit ihren zu Grunde liegenden Strukturen und Gesetzmässigkeiten, unterscheidet sich in drei verschiedenen Perspektiven (vgl. Prohl & Gröben, 2007, 12):

1. Die Bewegung wird von aussen betrachtet und ist Gegenstand der Biomechanik, die eine Teildisziplin der Physik ist. Der Aussenaspekt der menschlichen Bewegung umfasst **Bewegung und Haltung** als beobachtbares Produkt. Die äusserlich sichtbaren Abläufe einer Bewegung und die sie bewirkenden Kräfte können dabei analysiert werden. Fischer (2009, 57) versteht Bewegung immer im Handlungskontext. Bewegung ist Ausdrucksmittel der Sinneserfahrungen, dient der vorsprachlichen Kommunikation und gleichzeitig auch dem Erkenntnis- und Erfahrungsgewinn durch Exploration.

2. **Motorik** bezeichnet den Innenaspekt von Bewegung. Die Innensicht beschäftigt sich mit körperinternen Prozessen wie Kraft, Ausdauer und Koordination, die hinter dem äusserlich sichtbaren Bewegungsablauf des Körpers stehen. Motorik umfasst Steuerungs- und Funktionsprozesse (vgl. Willimczik & Singer, 2009, 17). Die folgende Definition verdeutlicht diese Prozesse: „Motorik bedeutet sowohl Bewegung als auch Haltung. Haltung und Bewegung werden vom zentralen und vom peripheren Nervensystem gesteuert und kontrolliert, teils bewusst und teils unbewusst“ (Rosenkötter, 2013, 21). Kapitel 2.2 befasst sich eingehend mit den ablaufenden Steuerungs- und Funktionsprozessen des Gehirns und des Nervensystems.

3. Sich-Bewegen wird als Beziehung zwischen dem Subjekt und seiner Umwelt betrachtet. **Bewegungshandlungen** orientieren sich an einem Ziel. Sie werden hinsichtlich ihrer Qualität bewertet, je nachdem, wie gut die Zielverwirklichung gelingt (vgl. Prohl & Gröben, 2007, 12.). Über Bewegungshandlungen bringt das Kind seine Gefühlszustände zum Ausdruck. Bewegungserfahrungen beziehen sich direkt auf den Körper und die Persönlichkeit des Kindes und bilden seine Identität. Dahinter steht die Perspektive, dass sich die Entwicklung durch Handeln vollzieht. Das Individuum nimmt als handelndes Subjekt aktiven Einfluss auf seine Entwicklung und auf die Veränderung der Umwelt und wird gleichzeitig durch Umwelteinflüsse verändert (vgl. Fischer, 2009, 57-59).

2.2 Motorik aus neurologischer Sicht in Bezug auf das Lernen

Der neurologischen Perspektive kommt in dieser Arbeit in zweifacher Sicht eine wesentliche Bedeutung zu. Zum einen bedingen sich die Entwicklung des Nervensystems und die motorische Entwicklung. Wie sich diese beiden Entwicklungsvorgänge beeinflussen, ist Thema dieses Kapitels. Zum anderen geht es in der vorliegenden Arbeit letztendlich um die Verbindung zwischen Motorik/Bewegung und dem Lernen im Mathematikunterricht. Das Lernen geschieht bekanntlich im Gehirn, somit ist es wesentlich, gewisse Bezüge zu kennen.

Ansätze von Lernen und Gedächtnis zeigen sich bereits im Mutterleib. Ein ungeborenes Kind reagiert auf wahrnehmbare Reize von aussen, die es nicht nur als Erfahrung aufnimmt, sondern auch verarbeitet. Es zeigt sowohl Habituation bei wiederholter Darbietung eines Reizes als auch Dishabituation auf einen neuen Reiz. Das heisst, es erinnert sich und führt sogar einen Vergleichsprozess zwischen den beiden verschiedenen Reizen aus. Die Fähigkeiten in den Bereichen Motorik, Wahrnehmung und Lernen, über die das Neugeborene bei der Geburt verfügt, sind infolgedessen nicht angeboren, sondern haben sich durch das Zusammenspiel von Reifung und Erfahrung pränatal entwickelt (vgl. Elsner & Pauen, 2012, 164-165). „Wachstum, Entwicklung, Reifung und Lernen gehen beim Säugling Hand in Hand. Es ist schwierig und nicht selten prinzipiell unmöglich, diese Prozesse im Hinblick auf die Entstehung beispielsweise einer bestimmten Fähigkeit oder eines bestimmten Verhaltens zu unterscheiden. Sie bedingen einander“ (Spitzer, 2007, 205). Diese Abhängigkeiten und engen Beziehungen verdeutlichen, wie hochkomplex Prozesse ablaufen und vor allem zusammenwirken. So sind die rund 600 Muskeln des Menschen mit dem Nervensystem und dem Gehirn verbunden. Mit anderen Worten ist die Reifung des Zentralnervensystems abhängig von der motorischen Entwicklung, die wiederum durch die Umwelt stimuliert wird (vgl. Beigel, 2009, 83).

2.2.1 Funktionen unterschiedlicher Hirnbereiche

Das Gehirn kann als eine Pyramide, die aus drei verschiedenen, hierarchischen Ebenen angeordnet ist, verstanden werden (vgl. Goddard Blythe, 2007, 97). Die drei Ebenen unterscheiden sich anhand von Entwicklungsmustern (vgl. Kap. 2.2.2), aber auch von Funktionen. Das sogenannte Reptilienhirn liegt auf der untersten Ebene und schliesst unter anderem den Hirnstamm und das Kleinhirn ein. Es entwickelt sich von der Empfängnis bis etwa zum fünfzehnten Lebensmonat. Durch sensorische Reize aktiviert es körperliche Reaktionen, die das Überleben des Säuglings sichern (vgl. Hannaford, 2013, 36). Die zweite Ebene ist das limbische System, welches für die emotionale

Verarbeitung zuständig ist. Zum limbischen System gehören Thalamus, Hypothalamus, Basalganglien, Amygdala und Hippocampus (vgl. ebd., 64). Es wird auch als Zwischenhirn bezeichnet, da es zwischen Reptilienhirn und Grosshirn liegt. Es entwickelt sich ab dem fünfzehnten Lebensmonat bis etwa zum vierten Lebensjahr. Erinnerungen, Emotionen und Intuitionen entstehen, werden abgelegt oder hervorgeholt. Seine Funktion ist die Steuerung von Gefühlsregungen und vom Gedächtnis. Emotionen sind stets an Denkprozessen beteiligt. Der Körper wird somit zum wesentlichsten Ausdrucksmittel der Gefühle (vgl. Beigel, 2009, 22-24). Der grösste Hirnbereich liegt auf der obersten Ebene. Es ist das Grosshirn mit der Grosshirnrinde, dem Neokortex, in welchem sich über 85% der gesamten Neuronen in Form von neuronalen Netzwerken befinden (vgl. Hannaford, 2013, 90). Der Neokortex ist der veränderlichste Teil des Gehirns, was in Kapitel 2.2.3 verdeutlicht wird. Das Grosshirn besteht aus der linken und der rechten Hemisphäre, die wiederum aus vier Teilen besteht: Schläfenlappen (primärer auditiver Bereich), Hinterhauptslappen (primärer visueller Bereich), Scheitellappen und Stirn- oder Frontallappen. Im Scheitellappen liegt der sensorische Bereich, der Empfindungen wie Berührung, Druck, Schmerz, Kälte, Hitze und die Eigenwahrnehmung (Propriozeption) integriert und interpretiert. Im Stirnlappen befindet sich der primäre motorische Bereich, der unter anderem für die Muskelkontrolle und für gelernte motorische Abläufe zuständig ist. Jeder dieser Lappen empfängt Signale aus den Sinnesorganen sowie Informationen aus der gegenüberliegenden Körperhälfte und nimmt sie über den Hirnstamm und das limbische System auf (vgl. ebd., 95). In Kapitel 2.2.5 wird ausführlicher darauf eingegangen. Jede Gehirnhälfte steuert die gegenüberliegende Körperseite. Zudem ist jede Hemisphäre spezifisch entwickelt. Die rechte Hirnhälfte verarbeitet ganzheitlich, indem sie Gesamtbilder wahrnimmt und den Gesamtzusammenhang erfasst. Die Orientierung am Jetzt und am Erlernen von neuen Aufgaben, die räumliche Wahrnehmung sowie Rhythmus, Emotionen und Intuitionen stehen ihr zu. Im Alter zwischen sieben und neun Jahren ist ein deutlicher Wachstumsschub der rechten Hemisphäre zu verzeichnen. Die linke Hirnhälfte ist erst etwa im Alter von neun bis zwölf Jahren voll entwickelt. Sie ist in erster Linie für die Sprachverarbeitung, für logisches und analytisches Denken und lineare Muster zuständig. Sie zerlegt das Ganze in kleine Einheiten und erfasst deren Zusammenhänge. Die beiden Hirnhälften sind durch den „Balken“ (Corpus callosum) verbunden, in welchem bis vier Milliarden Botschaften pro Sekunde über etwa 200 Millionen Nervenfasern von einer Hirnhälfte zur anderen laufen und eine schnelle Verbindung zwischen den beiden Hemisphären, wie auch deren Integration

ermöglichen. Zielgerichtetes Denken wird somit erst möglich, wenn beide Hirnhälften über den Balken ihre spezifischen Funktionen austauschen. Die Leistungsfähigkeit des Gehirns ist daher besonders gross, wenn beide Hemisphären gleichermassen aktiviert werden, was durch Überkreuzbewegungen sowie durch die Aktivierung beider Körperseiten erreicht wird. Dadurch entwickelt sich der Balken vollständiger, was einen optimalen Zugang zu beiden Gehirnhälften begünstigt und die kognitiven Funktionen verbessern (vgl. ebd., 102-105). Die Spezialisierung der beiden Hemisphären wird auch mit Lateralität bezeichnet (vgl. Kap. 2.4.4 und 2.4.8).

2.2.2 Hierarchische Entwicklung des Gehirns

Der Ablauf der Gehirnentwicklung ist genetisch festgelegt und erfolgt nach einem zeitlichen Plan. Bei der Geburt sind erst Rückenmark und Hirnstamm vollständig ausgebildet. Erst dann werden Teile des Kleinhirns und später die Bereiche des Zwischenhirns und der Grosshirnrinde aktiviert (vgl. Beigel, 2009, 19). Winter & Hartmann (2007, 251) weisen auf den Zusammenhang zwischen der Feinstruktur und Funktionsweise des Zentralnervensystems zum Zeitpunkt der Geburt und der motorischen Bewegungsmöglichkeiten des Neugeborenen hin. Die Faserverbindungen der Nervenzellen sind noch weitgehend unterentwickelt. Wie im nachfolgenden Kapitel 2.2.3 noch genauer erklärt wird, bedeutet dies, dass die Neuronen sich noch kaum zu funktionsfähigen Netzwerken entwickelt haben und die Myelinschicht noch fehlt. Somit sind die motorischen Zentren im Hirn noch nicht arbeitsfähig. Die Bewegungen des Neugeborenen geschehen nur reflexartig. Diese Reflexe werden durch Mechanismen im Rückenmark ermöglicht sowie auf der Ebene des Hirnstamms vermittelt. Das Rückenmark spielt als Kontaktstelle zwischen den Muskeln und dem Nervensystem eine wichtige Rolle, damit sich Muskeln reflexartig an- und wieder entspannen. Der Hirnstamm verbindet das Rückenmark mit dem Gehirn. Hier laufen die Nervenbahnen aus dem ganzen Körper zusammen. Das sogenannte Retikuläre Aktivierungssystem (RAS) liegt im Innersten des Hirnstamms und ist im Sinne eines Weckers für das dauerhafte Bewusstsein, die Aufmerksamkeit und den Wach-Schlafrhythmus verantwortlich. Es hat die Funktion zahlreicher unbewusster, überlebenswichtiger Steuerungen, wie beispielsweise jene der Atmung (vgl. Goddard Blythe, 2007, 81-82). Nach den ersten Lebenswochen und -monaten entwickelt sich die überwiegend motorische Stammhirnsteuerung durch die Reifung des Hirns mit der Zunahme von Synapsen und geht nun in die Grosshirnsteuerung über. Das heisst, dass nun vermehrt die höherliegenden Ebenen des limbischen Systems und des Neokortex die Informationsverarbeitung kontrollieren. Für den motorischen Entwick-

lungsverlauf ist dies hochbedeutsam, denn es ist die Voraussetzung, dass sich der Säugling zunehmend koordiniertere Bewegungen aneignen kann, beispielsweise das gezielte Greifen oder eine aufrechte Haltung (vgl. Winter & Hartmann, 2007, 252-253). Draganski & Thelen (2012, 131) sprechen von erlernten motorischen Programmen, die im Unterschied zu den Reflexen das Zentralnervensystem beanspruchen und erweitern. Wiederholt durchgeführte Bewegungen werden zunehmend schneller und geschickter, bis sie sich als räumliche und zeitliche Muster automatisieren und kaum mehr eine gezielte Aufmerksamkeit beanspruchen. Dafür kommt in hohem Masse dem Kleinhirn (Cerebellum) Bedeutung zu, das sich oberhalb des Hirnstammes befindet. Es entwickelt sich ab Geburt bis zum vierten Lebensjahr in sehr schnellem Tempo, was mit dem Erlernen und Einüben der vielfältigen Bewegungsmuster zusammenhängt. Das Kleinhirn stimmt die eingehenden Informationen aus den Sinnesorganen und aus dem Neokortex, die an die Muskeln weitergegeben werden, aufeinander ab und ist daher für die Koordination aller Bewegungen verantwortlich. Es ist bei neu zu erlernenden Fähigkeiten besonders aktiv und speichert, zusammen mit den Basalganglien, die häufig durchgeführten Bewegungsabfolgen ab. Sie können wieder abgerufen und je nach Bewegungsabsicht auch modifiziert werden (vgl. Goddard Blythe, 2007, 86). Durch die körperliche Reife verläuft die Befehlsordnung von der höchsten Ebene des Neokortex über die Basalganglien, den Thalamus und Hypothalamus nach unten in das sensomotorische System, das Kleinhirn, bis in die verschiedenen Zentren des Hirnstamms, der die Bewegungsreflexe beeinflusst (vgl. ebd., 89).

2.2.3 Die Plastizität des Zentralnervensystems

Das Gehirn ist ein äusserst plastisches Organ, indem es sich stets den äusseren Bedingungen anpasst. Die Lebenserfahrung eines Menschen hat folglich einen sehr grossen Einfluss und macht jedes Gehirn und dessen Prozesse einzigartig. Der Begriff Neuroplastizität bezeichnet diese Anpassungsfähigkeit im Zentralnervensystem an die Lebenserfahrungen eines Menschen (vgl. Spitzer, 2007, 94). Das Lernen wird durch Nervenzellen, die sogenannten Neuronen, ermöglicht. Sie können Informationen in Form von Wahrnehmung, Lernen und Denken verarbeiten und speichern, indem sie im Gehirn über Nervenimpulse Verbindungen und Netzwerke schaffen (vgl. ebd., 54). Neuronen bestehen aus einem Zellkörper und vielen Dendriten, die Informationen von anderen Neuronen aufnehmen können. Über Axone kann ein Neuron aber auch Informationen abgeben. Werden Neuronen häufig aktiviert, bildet sich rund um das Axon, welches die Impulse vom Zellkörper eines Neurons zu anderen Neuronen führt, eine Myelin-

schicht. Je häufiger Impulse zwischen Neuronen fließen, desto mehr Myelin wächst nach. Das Myelin schützt die Axone und vergrößert die Geschwindigkeit der Übermittlung der Nervenimpulse. Dadurch werden die Verarbeitung der Informationen und folglich auch das Lernen schneller. Neuronen verbinden sich mit Hilfe von Neurotransmittern über die sogenannten Synapsen, die als Schaltstelle bezeichnet werden können. Jede Wahrnehmung, Bewegung oder geistige Aktivität führt dazu, dass sich laufend weitere Dendriten und Synapsen bilden, die zu immer komplexeren neuronalen Netzwerken werden und sich ständig verfeinern und ausbauen (vgl. Beigel, 2009, 15). Der Neokortex wiegt bei der Geburt bereits ein Viertel des endgültigen Gewichts bei Erwachsenen und erreicht im Alter von fünf Jahren etwa 90% des Endgewichts, was zeigt, welche eindrucksvolle Entwicklung das Gehirn in den ersten Lebensjahren eines Kindes vollzieht (vgl. Hannaford, 2013, 92). Die neuronale Plastizität ist eine nützliche Eigenschaft des Nervensystems, welche immer wieder neues Lernen und Anpassung ermöglicht. Lebenserfahrungen sind ausschlaggebend, wie sich neuronale Verbindungen zu höchst komplexen Mustern entwickeln, sich organisieren, aber auch wieder umorganisieren. Zudem bilden sich lebenslang unzählige neue Nervenzellen, vor allem wenn anregende Umweltbedingungen gegeben sind. Die Plastizität ermöglicht dem Nervensystem ein riesiges Potenzial für Veränderung und Wachstum (vgl. ebd., 17-18). Das Gehirn ist also ein hochkomplexes System von Systemen und ist gleichzeitig extrem flexibel und anpassungsfähig.

2.2.4 Sensible Perioden

Die einzelnen Bereiche des Neokortex entwickeln sich in unterschiedlicher Geschwindigkeit, daher sind auch verschiedene kognitive Leistungen im Laufe der Entwicklung zu unterschiedlichen Zeitpunkten möglich. Das Hirn bietet folglich verschiedene Zeitfenster an, in welchen es Informationen aus der Umwelt aufnimmt, welche sich optimal auf die Gehirnentwicklung auswirken. Das Erlernen der Erstsprache geschieht im Zeitfenster der ersten Lebensjahre mühelos und in einer Perfektion, die später nicht mehr erreicht wird. Das gilt auch für motorische Fertigkeiten, wie beispielsweise das Fahrradfahren oder das Spielen eines Musikinstruments (vgl. Singer, 2003, 71). Montada et al. (2012, 47) definieren diese Zeitfenster als sensible Perioden im Sinne von Entwicklungsabschnitten, in denen spezifische Erfahrungen maximale positive Wirkungen haben. Es sind aber auch negative Wirkungen möglich, wie bekanntlich schlechte Bindungserfahrungen oder fehlende Anregungen aus der Umwelt, die sich dauerhaft auswirken. Es bestehen bislang nur Erklärungshypothesen, warum ein Lernen oder ein Umlernen am

Ende einer sensiblen Periode weniger leicht möglich ist. Singer (2003, 74-75) weist darauf hin, dass sich Entwicklungen nicht forcieren lassen. Es gilt vielmehr, durch sorgfältige Beobachtungen von Mimik, Gestik und Intonation bei Säuglingen, aber auch bei älteren Kindern, diese nicht-rationalen Kommunikations- und Ausdrucksmittel zu verstehen, um ihnen zum richtigen Zeitpunkt die richtigen Inhalte anzubieten.

2.2.5 Die sensomotorischen Systeme

In den zahlreichen Gebieten des Hirns gibt es neben den Seh- und Hörzentren auch motorische sowie sensorische Zentren. Wie in Kapitel 2.2.1 erklärt, liegen diese im Grosshirn in den jeweiligen Hemisphären, die den Körperregionen gegenüber überkreuzt zugeordnet sind. Die sensorischen Zentren nehmen Berührungen der Haut und Stellungsreize aus der Haut und Muskulatur wahr (vgl. Zimmer, 2012, 31-32). Die motorischen Zentren steuern alle fein- und grobmotorischen Bewegungen. Diese bewussten Bewegungen werden als Willkürmotorik bezeichnet (vgl. Rosenkötter, 2013, 21). Das Lernen findet zwar im Gehirn statt, doch der Körper führt als Transportmittel das Wissen dem Gehirn zu. Die Zusammenarbeit zwischen Körper und Gehirn geschieht im zentralen Nervensystem (ZNS) und erfolgt über die Sinnesorgane (vgl. Goddard Blythe, 2007, 101). Das ganze Zentralnervensystem besteht aus sensorischen und motorischen Bereichen. Hannaford (2013, 20-21) unterscheidet drei Haupttypen von Neuronen, die unterschiedliche Funktionen haben. Sensorische Neuronen leiten dem Gehirn sensorische Informationen zu, die von den Sinnesorganen im ganzen Körper aufgenommen werden. Intermediäre Neuronen übermitteln im ganzen Gehirn Informationen zwischen den verschiedenen Netzwerken. Sie schaffen die Verbindung zu einem grossen intermediären Netz. Nach der Verarbeitung der Informationen senden sie die Botschaften den motorischen Neuronen zu. Die motorischen Neuronen animieren die Muskelfasern und Drüsen, was letztendlich die Körperbewegungen auslöst (vgl. Goddard Blythe, 2007, 101). Die Aufnahme über das sensorische System und die Übermittlung der Informationen zum ZNS als aufsteigende Bahn wird als afferentes System bezeichnet. Die motorische Reaktion auf diese Informationen erfolgt vom ZNS bis zum peripheren Nervensystem, welches ausserhalb des Gehirns und Rückenmarks liegt, als absteigende Bahn über das efferente System (vgl. Rosenkötter, 2013, 20). Der Begriff Sensomotorik deutet auf die enge Verbindung zwischen Wahrnehmung und Bewegung hin. Wahrnehmung und Bewegung bedingen sich wechselseitig, sie sind untrennbar miteinander verbunden (vgl. Lienert et al., 2013, 24).

2.2.6 Gedächtnis und neuronale Repräsentationen

Die Informationen, die über die Sinnesorgane aus der Aussenwelt aufgenommen werden, laufen über den Hirnstamm in das retikuläre Aktivierungszentrum, in welchem die sensorischen Reize verstärkt oder als Schutz einer Reizüberflutung auch gehemmt werden, was sich auf die Aufmerksamkeit auswirkt (vgl. Lienert et al., 2013, 22). Von da gelangen sie im limbischen System (Mittel- oder Zwischenhirn) in den Thalamus, der sensorische und motorische Nervenfasern verbindet und Impulse mit dem Kleinhirn und dem Neokortex austauscht. Der Thalamus spielt eine zentrale Rolle für die Interpretation von Empfindungen wie Schmerz, Temperatur oder Berührungen, nicht aber von Gerüchen. Zusammen mit dem Hypothalamus, der Hypophyse, dem Hippocampus und der Amygdala steuert das Mittelhirn den Stoffwechsel und die Stoffwechselreaktionen auf die umgebende Umwelt. Gleichzeitig entstehen im limbischen System Empfindungen, Leidenschaft, Antrieb, Angst, Wut und Trauer, die als Erinnerungen abgespeichert werden (vgl. Goddard Blythe, 2007, 82-83). Im Hippocampus wachsen ständig neue Nervenzellen heran. Er nutzt die sensorischen Informationen aus dem Thalamus und die Emotionen aus dem limbischen System, um mit Unterstützung der Basalganglien das Kurzzeitgedächtnis auszubilden. Die Basalganglien verbinden die Impulse zwischen dem Kleinhirn und dem Stirnlappen im Grosshirn, der den primär motorischen Bereich beinhaltet. Dadurch können Körperbewegungen gesteuert und reguliert werden, insbesondere auch die Feinmotorik und die Planung des künftigen Verhaltens in Form der Handlungsplanung wird ermöglicht (vgl. Hannaford, 2013, 65). Damit überhaupt Erinnerungen gespeichert werden können, müssen sie in bereits vorhandene Grundmuster innerhalb der neuronalen Netzwerke abgelegt werden können, die sich wiederum durch neu Gelerntes laufend weiterentwickeln, verfeinern, erweitern und verändern. Die neuronalen Muster richten sich im Gehirn so ein, dass bewusste sensorische Erfahrungen wieder vergegenwärtigt, das heisst, repräsentiert werden. Diese Grundmuster bilden schliesslich die Basis der Leistungsfähigkeit eines Menschen (vgl. ebd., 28-31). Spitzer (2007, 79) erklärt dies mit dem Begriff der neuronalen Repräsentationen, die als innere Abbilder zu verstehen sind. Reize wie Berührungen, Klänge, Gerüche und natürlich das Sehen vermitteln dem Gehirn die Umwelt, deren Strukturen als Repräsentationen aufgenommen werden. Repräsentationen sind Neuronen mit bestimmten Synapsenstärken, die dann aktiviert werden, wenn bereits ein bestimmtes Muster vorliegt. Hannaford (2013, 93-96) erklärt, dass sich neuronale Repräsentationen, oder eben die Grundmuster, auf höchster Ebene des Neocortex entwickeln. Es sind dies die visuellen, auditiven,

sensorischen und motorischen Bereiche in den Hirnlappen, die miteinander verbunden sind und Assoziationen ermöglichen. Man spricht daher auch vom Assoziationskortex. Alle sensorischen Eindrücke werden integriert, geordnet und reorganisiert. Daraus entsteht ein gemeinsamer Gedanke in Form eines integrativen Bildes. Diese neue Erfahrung verknüpft sich mit den bereits vorhandenen Erfahrungen. Folglich sind die Bereiche der Assoziation zuständig für Gedächtnis, logisches Denken, Emotionen, die Motivation, das Urteilsvermögen, persönliche Charakterzüge und schliesslich für die Intelligenz.

2.2.7 Bedeutung der Motorik für das Lernen aus neurologischer Sicht

Lernen, Denken, kreatives und intelligentes Handeln geschehen nicht nur als Prozessabläufe im Kopf, sondern finden im ganzen Körper statt. Mit anderen Worten spielen Körper und Bewegungen eine wichtige Rolle beim Lernen. Über die Sinnesorgane gelangen die Informationen über die Welt ins Gehirn und werden zu inneren Bildern verarbeitet. Über die Bewegung wird das erworbene Wissen zum Ausdruck gebracht. Gleichzeitig regen die immer komplexer werdenden Bewegungen das Gehirn zum Wachstum und zur Weiterentwicklung an (vgl. Hannaford, 2013, 9-10). Zimmer (2004, 12-13) betont, dass in den ersten Lebensjahren das Gehirn in seiner Entwicklung besonders beeinflussbar und veränderbar ist. Das bedingt in der frühen Kindheit möglichst vielseitige Wahrnehmungserfahrungen und körperliche Aktivitäten, damit durch die geschaffenen Reize die Synapsenbildungen und neuronalen Netzwerke möglichst komplex verknüpft werden, was zu einer hohen Funktionsfähigkeit des Gehirns führt und somit das Lernen begünstigt. Die grosse Bedeutung der Bewegung und der praktischen Erfahrungen für das Lernen bestätigt sich nach Hannaford (2013, 25-26) auch durch die Tatsache, dass sich im Kleinhirn, das primär für Bewegung zuständig ist, diejenigen Neuronen mit den meisten Verbindungen von durchschnittlich 300'000 Synapsen befinden. An Lernprozessen sind stets auch Emotionen beteiligt. Im Kurzzeitgedächtnis des limbischen Systems werden die sensorischen Eindrücke mit emotionalen Komponenten verbunden. Wird eine Information als wichtig bewertet, führt sie zu einer strukturellen Veränderung der Grundmuster durch eine Reorganisation des bisherigen Musters, was einer Speicherung im Langzeitgedächtnis entspricht. Das emotionale Umfeld ist daher mitentscheidend, wie Lernen und somit strukturelle Veränderungen und Wachstum des Gehirns gefördert werden (vgl. ebd., 78). Singer (2003, 70-71) betont, dass für die Entwicklungsprozesse im Hirn das „Selbermachen“ zentral ist, denn nur so findet der interaktive Dialog mit der Umwelt statt. Kommunikative Prozesse sind zudem entscheidend

für die Hirnentwicklung. Aktive Interaktionen sind Voraussetzung für strukturelle Veränderungen im Hirn (vgl. ebd., 75). Wissen wird nach Lück (2009, 95) am dauerhaftesten abgespeichert, wenn möglichst viele Wahrnehmungskanäle involviert sind. Das eigenaktive Experimentieren ist immer auch eine ganzheitliche Sinnesschulung, bei welcher Denkprozesse aktiviert, geordnet und mit bisherigem Wissen verknüpft werden. Goddard Blythe (2007, 83) erläutert, dass Kinder besser lernen, wenn sie mit dem Lerngegenstand körperlich und gefühlsmässig verbunden sind, da das limbische System für die Abspeicherung von Erinnerungen zuständig ist. Für das Lernen bedeutet dies, dass die Kombination von Wahrnehmung und Handlung zu einer besseren Erinnerung führt, denn die Informationen werden im Hirn breiter verarbeitet (vgl. Högger, 2013, 41). Interessante Aufgabenstellungen sind laut Zimmer (2012, 46) jene, die durch eine hohe emotionale Bereitschaft zu aktivem Mitmachen führen, was optimal fürs Lernen ist. Freude und Spass sind zudem wesentliche Einflussfaktoren, die eine ganzheitliche Wahrnehmungs- und Bewegungsförderung ermöglichen.

2.3 Motorik aus entwicklungspsychologischer Sicht

Um die Entwicklung von Kindern zu verstehen, kommt gegenwärtig der Motorik eine viel wichtigere Bedeutung zu, als es bis anhin war. Die modernen entwicklungstheoretischen Perspektiven gehen zunehmend von dynamischen Konstruktionsprozessen aus. Dieser neue Ansatz betrachtet den Menschen als offenes System, welches sich ständig in Veränderung befindet. Die Entwicklungsdimensionen stehen in einem wechselseitigen Abhängigkeitsverhältnis und beeinflussen sich gegenseitig. Jede Interaktion löst dadurch systeminterne als auch systemexterne Reaktionen und Konsequenzen aus. Daher kommen dem Körper und der Bewegung eine initiale Bedeutung in Entwicklungsprozessen zu. Aus dynamischer Perspektive steht die Bewegungsaktivität als handlungsbezogene Person-Umwelt-Beziehung im Zentrum (vgl. Fischer, 2009, 126-127). Bewegung und Wahrnehmung sind untrennbar miteinander verbunden. Jede Bewegung beinhaltet Wahrnehmung, wie auch jede Wahrnehmung sich durch Bewegung äussert (vgl. Beigel, 2007, 83; Lienert et al., 2013, 4). Die Wahrnehmungsentwicklung geschieht bewegend und handelnd, sie ist eine Erkundungsaktivität. Fischer (2009, 63-66) bezieht sich mit dieser Theorie auf Gibson (1992). Das Kind tritt durch die Wahrnehmung in Beziehung zu seiner Umwelt und umgekehrt bietet die Umwelt jede Art von Angeboten, die es zu erkunden und entdecken gilt. Daraus entstehen Handlungsmöglichkeiten und Handlungsziele. Der Wahrnehmungsbegriff erhält somit eine neue Bedeutung, denn Wahrnehmung wird mit der Beziehung zur Umwelt, demzufolge mit

Handlung und Persönlichkeitsentwicklung verstanden. Wahrnehmungsentwicklung ist multimodal ausgerichtet, das heisst, Informationen werden von mehreren Sinnen gleichzeitig aufgenommen und verarbeitet. Wahrnehmungslernen ist zudem direkt von den eigenmotorischen Erfahrungen des Kindes abhängig. Je variationsreicher das Angebot zum Erkunden ist, desto höher ist die Qualität der Wahrnehmungsfähigkeit, die sich wiederum direkt auf die Handlungsmöglichkeit und schliesslich auf die Handlungskompetenz auswirkt. Der Mensch wird als Einheit mit seiner Umwelt verstanden.

Selbst die neurowissenschaftliche Forschung geht vom Körper als Basis der Entwicklung aus. „Das Gehirn als Schaltzentrale all unserer Handlungen und als Zentrum unserer Denkprozesse steht mit dem Körper und der Bewegungsaktivität in enger Verbindung. Denken ist kein körperloser Prozess, sondern eng an die kindlichen Erfahrungsprozesse über Handeln gebunden“ (Fischer, 2009, 129). Das Prinzip der Eigenaktivität stösst bei neurowissenschaftlichen, entwicklungspsychologischen und pädagogischen Konzeptionen auf Akzeptanz und führt zu einer Annäherung der unterschiedlichen Positionen. Wissen kann nicht eingetrichtert werden, sondern ist ein konstruktiver Prozess, er wird aktiv gestaltet. Die Erkenntnisse gehen letztlich auf Piaget (1975) zurück, der die Bedeutung der sensomotorischen Handlungen für die kognitive Entwicklung intensiv erforscht hat (vgl. Fischer, 2009, 129-131). Die nachfolgend beschriebenen Entwicklungsphasen orientieren sich an Piagets Stufenmodell.

2.3.1 Das neuromotorische Alter – Säuglingsalter

Die motorische Entwicklung wird vorgeburtlich eingeleitet. Um die 9. Schwangerschaftswoche beginnt die Phase, in der sich beim Fötus Wahrnehmungssinne und Bewegung entwickeln. Das Ungeborene hört, tastet, schmeckt und riecht (vgl. Beigel, 2009, 41; Spitzer, 2007, 225). Es reagiert auf Reize, die durch Reflexe gesteuert werden und die vorgeburtliche Entwicklung des Hirns bestimmen. Ungeborene Kinder führen ab der 12. Schwangerschaftswoche koordinierte Bewegungen aus, beispielsweise isolierte Arm- und Beinbewegungen, saugen, schlucken, sich räkeln, strecken oder gähnen. Direkt nach der Geburt reagieren Neugeborene ebenfalls auf Reize mit sogenannten frühkindlichen Reflexen, die das Überleben unter den neuen Bedingungen ausserhalb des Mutterleibs ermöglichen. Diese Reflexe führen zu Fortschritten in der Entwicklung der Motorik (Bewegung), der Sensorik (Wahrnehmung) und des Zentralnervensystems. Jeder Reflex bildet die Grundlage für eine Fertigkeit, die später bewusst gesteuert wird (vgl. Beigel, 2009, 83-84). Heute geht man davon aus, dass ein Kind nur auf bestimmte Reize und dabei mit unterschiedlichen Reaktionen reagiert. Das

bedeutet, dass ein Neugeborenes zwar typische Verhaltensweisen zeigt, die jedoch komplexer sind als ein stereotypes Reiz-Reaktionsmuster, da es das Verhalten je nach Situation anpasst oder verändert. Bei einer normalen motorischen Entwicklung verschwinden die frühkindlichen Reflexe nach den ersten Lebenswochen, das heisst, sie werden gehemmt, bzw. integriert. Sie bleiben aber als koordinierte motorische Muster im Nervensystem als Basis für spätere Verhaltensweisen bestehen (vgl. Elsner & Pauen, 2012, 166-167).

Durch die Reifung des Zentralnervensystems und der Hemmung der frühkindlichen Reflexe entwickeln sich Stellreaktionen und Gleichgewichtsreaktionen, welche die Haltung, die Stabilität und die Bewegung unterstützen. Sie sind lebenslang aktiv und gelten als Voraussetzung für die Entwicklung der aufrechten Körperhaltung und der Fortbewegung. So wird eine zunehmende Kopf- und Augenbewegungskontrolle möglich (vgl. ebd., 99). Dadurch beginnt der Säugling mit Personen und Dingen aus seiner Umwelt in Kontakt zu treten und baut unbewusst eine Erwartungshaltung auf, da seine Handlungen bestimmte Wirkungen auslösen. Zusammen mit der gelingenden Auge-Hand-Koordination bildet die Erwartungshaltung die Voraussetzung für die Entwicklung der Handlungskompetenz (vgl. Fischer, 2009, 60).

2.3.2 Bedeutung der Motorik für das Lernen im neuromotorischen Alter

Die Motorik ist also bereits vorgeburtlich und in den ersten Lebenswochen in Form von frühkindlichen Reflexen und später von Halte- und Stellreaktionen von zentralster Bedeutung für die Entwicklung der Hirnstrukturen und somit des Denkens und Lernens. Die frühkindlichen Reflexe können direkt nach der Geburt überprüft werden und geben Aufschluss über den Entwicklungsstand der Motorik und somit des Nervensystems (vgl. Elsner & Pauen, 2012, 166). Das Zentralnervensystem wird zu einem immer komplexeren neuronalen Netzwerk, was das Lernen begünstigt, wie auch ausführlich in Kapitel 2.2.2. und 2.2.3 beschrieben wird. Durch die Reifung des motorischen Systems und durch die Kräftigung der Muskulatur erreicht das Kind eine zunehmende Körper- und Augenkontrolle (vgl. Beigel, 2009, 99). Es baut dadurch die bereits erwähnte Erwartungshaltung auf, die motivationale Effekte beinhaltet. Erwartungshaltungen führen zu Handlungen, Interaktionen und weiteren Erfahrungen, welche für die spätere Handlungskompetenz entscheidend sind (vgl. Fischer, 2009, 60). Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass Erwartungshaltungen zum Lernen motivieren.

2.3.3 Das sensomotorische Alter – Kleinkindalter

Ab dem dritten Lebensmonat ist das Wahrnehmungssystem laut Elsner & Pauen (2012, 171) funktionsfähig und dadurch bereit, dass das Kind in allen Lebensbereichen wichtige und spannende Erfahrungen über sich selbst, seine Bezugspersonen und die Umwelt machen kann. Nachdem in den ersten Lebenswochen die Aktivität des Neugeborenen durch Schauen und Zuhören in erster Linie zu Interaktionen zwischen seinen Bezugspersonen geführt hat, werden nun Objekte und Gegenstände interessant. Das Kind zeigt eine ausgeprägte Erkundungsaktivität, indem es seine sinnlichen Erfahrungen durch tasten, fühlen, lutschen, anschauen, zusammendrücken, fallenlassen, wegwerfen oder nachhorchen erlebt und erforscht. Im Alter ab etwa acht Monaten erhält die Wahrnehmungsorientierung durch die Fortbewegung eine neue Dimension (vgl. Fischer, 2009, 65). Sobald das Kleinkind fähig ist, ein Objekt durch Greifen, Krabbeln und später durch Gehen selbständig zu erreichen, erlebt es das Gefühl der Selbstwirksamkeit, was gleichzeitig der Antrieb seiner intensiven Erkundungstätigkeit ist (vgl. Lienert et al., 2013, 88-90). Durch diese Körpererfahrungen wird für die Entwicklung des Selbstkonzepts eine Basis gelegt: Sie dienen der Entwicklung des Körperschemas (vgl. Kap. 2.4.1). Das Kind lernt durch die Körperwahrnehmung und seine motorischen Fähigkeiten, sich selbst als eigenständiges Objekt der eigenen Wahrnehmung kennen, was auf den kognitiven Aspekt hinweist (vgl. ebd., 90). Es stellt noch keine Vergleiche mit anderen Kindern an, es hat in der Regel ein unrealistisch positives Bild von sich, der Leistungsfaktor zählt noch nicht. Das sensomotorische Alter basiert somit in erster Linie auf Handlungen und Wahrnehmungen mit Dingen und im Umgang mit ihnen in der Umwelt. Vorstellung und Denken bleiben eher noch im Hintergrund. Für die weitere Entwicklung sieht Piaget diese Phase als entscheidend an, „...da sich in ihr der Säugling durch Wahrnehmungen und Bewegungen der gesamten praktischen Umwelt bemächtigt“ (Piaget, 1999, 158 zit. nach Zimmer, 2012, 50). Wie in Kapitel 2.2.2 und 2.2.3 dargestellt, bilden sich durch wiederholt durchgeführte Bewegungen immer koordiniertere, geschicktere und automatisierte Bewegungsfolgen heraus, die gleichzeitig zu zunehmend komplexen und flexiblen Strukturen der neuronalen Netzwerke im Gehirn führen. Somit sind sie die Grundlage für neue kognitive Strukturen und für die geistige Entwicklung des Kindes (vgl. Zimmer, 2012, 50). Hannaford (2013, 80) betont in diesem Zusammenhang den Wert des fantasievollen kindlichen Spiels für die kognitive Entwicklung, da das Kind an Vertrautem anknüpfen kann und gleichzeitig seine Kreativität erweitert. Der Spieltätigkeit messen auch Winter & Hartmann (2007, 262) grosse Bedeutung zu.

Dank dem Untersuchungsdrang und dem Neugierverhalten animieren die sogenannten motorischen Funktionsspiele zu unzähligen Bewegungsformen wie kriechen, gehen, laufen, schieben, ziehen, steigen, niederspringen, rutschen, wippen, schaukeln usw., aus Freude am sich Erproben und der Lust, Funktionen auszuprobieren. Die beiden Autoren erwähnen auch den engen Zusammenhang zwischen der motorischen Entwicklung und den erweiterten Kontakt- und Interaktionsmöglichkeiten, sowie des beginnenden Spracherwerbs, die untereinander in ständiger Wechselwirkung stehen (vgl. ebd., 271).

2.3.4 Bedeutung der Motorik für das Lernen im sensomotorischen Alter

Im sensomotorischen Alter stehen die Erkundungsmotorik und der Zugewinn an Selbstsicherheit im Mittelpunkt. Lienert et al. (2013, 88) beziehen sich auf Pikler (1997), die betont, dass das Kleinkind durch die selbständige Beschäftigung wichtige Lernerfahrungen macht. Es findet Interesse an Objekten, indem es mit ihnen experimentiert und sich selbständig und geduldig betätigt. Es lernt Freude und Zufriedenheit kennen, wenn es durch seine Ausdauer Schwierigkeiten erfolgreich meistert. Das Kind erwirbt die ersten zielgerichteten und koordinierten Bewegungen (vgl. Winter & Hartmann, 2007, 259). Ab etwa dem 8. Lebensmonat sind Handlungsfolgen beobachtbar, die eine klare Mittel-Zweck-Struktur innehaben und auf ein planvolles Handeln hinweisen. Mit Beharrlichkeit und variierenden Mitteln versucht das Kind sein Ziel zu erreichen und bringt seinen Erfolg oder Misserfolg mit entsprechenden Emotionen wie Freude oder Ärger zum Ausdruck (vgl. Rakoczy & Haun, 2012, 341). Für jede Art von Lernen ist ein gut funktionierendes Wahrnehmungssystem die Voraussetzung, welches Sinnesreize und Umwelteindrücke differenziert erkennt, interpretiert, einander zuordnet und speichert. Alle Sinneserfahrungen werden im ZNS miteinander verbunden und koordiniert, doch das ganzheitliche Zusammenspiel der Sinne muss durch Wahrnehmungs- und Bewegungsaktivitäten geübt werden, damit sich das sensorische System optimal entwickelt (vgl. Zimmer, 2006, 69). „Wahrnehmung und Bewegung sind die Grundlage jeglicher Denkprozesse, das sensomotorische Lernen ist die Basis für das Lernen insgesamt“ (Deeken, 2002, 131). Durch die Erkundungsaktivität findet das Kind immer wieder neue Handlungsziele. Das Kind tritt dadurch mit seiner Umwelt in Beziehung, was zu einer erhöhten Aufmerksamkeit führt. Die sensomotorische Auseinandersetzung mit Objekten löst zudem einen Prozess aus, bei welchem das Kind den Dingen einen Sinn oder eine Bedeutung gibt (vgl. Fischer, 2009, 63). Die Erfahrungen, die das Kind durch sein Handeln macht, werden mit Hilfe der Sprache, die den Dingen einen Namen gibt, zu Begrif-

fen. „Handlungen und Tun bilden dabei die Basis für das Sprechen und Denken“ (Zimmer, 2006, 83). Es gilt, den Erkundungsdrang zu nutzen. Das Angebot von verschiedenen Spielobjekten fordert das Kind dazu auf, dass es vielseitig, abwechslungsreich und intensiv übt. Im dritten Lebensjahr führen das probierende Nachahmen, aber auch verbale Hinweise oder anschauliche Demonstrationen zur Regulation von Bewegungshandlungen. Die sprachliche Unterstützung motiviert und verstärkt den Kontakt und die Aufmerksamkeit (vgl. Winter & Hartmann, 2007, 272). Für die Entwicklung der Handlungskompetenz ist die selbständige Fortbewegung entscheidend, da sich das Kind als Verursacherin oder als Verursacher des Geschehens erlebt, was es als Gefühl der Selbstwirksamkeit empfindet (vgl. Fischer, 2009, 60). Das Kind erfährt, dass es sein eigenes Verhalten steuern und kontrollieren kann, was zu einem Gefühl der eigenen Kompetenz führt (vgl. Elsner & Pauen, 2012, 183).

2.3.5 Das psychomotorische Alter – Vorschulalter

Das Alter zwischen rund drei bis sechs Jahren ist von einem grossen Bewegungsdrang und Bewegungsfreude gekennzeichnet. Die vielfältigen Bewegungsformen, die das Kind in der vorangehenden sensomotorischen Phase entwickelt, werden nun immer vollkommener und verfeinern sich. Diese Weiterentwicklung äussert sich als schnelle Leistungssteigerung, als Qualitätsverbesserung sowie als Zunahme an variablen Bewegungsformen. Dadurch gelingt es dem Kind, Bewegungsformen zu Bewegungskombinationen zu verbinden, beispielsweise „gehen mit tragen, schieben oder ziehen“, „laufen mit prellen, fangen oder werfen“, „laufen mit hüpfen“ usw. (vgl. Winter & Hartmann, 2007, 272-273). Lienert et al. (2013, 88-89) bezeichnen diese Phase als psychomotorisches Alter, da die Psyche – Fühlen, Denken, Motivation und Verhalten – eng mit der Motorik verbunden ist. Durch die körperlichen Erfahrungen, die mit Emotionen wie Lust, Freude, Angst, Stolz, Scham, Erfolg und Misserfolg verbunden sind, lernt das Kind sich selber kennen. Nun beginnt sich der emotionale Bereich der Körperwahrnehmung mit dem in Kapitel 2.4.1 beschriebenen Körperbild zu entwickeln. Unbewusst wird die Einstellung zum eigenen Körper nicht nur gefühlsmässig, sondern auch kognitiv verarbeitet, dadurch entstehen Körperkonzepte. Für den Aufbau eines positiven Körperkonzepts, welches als Teilkonzept des Selbstkonzepts gilt, ist die eigene Einschätzung und Bewertung bezüglich des eigenen Körpers massgebend. Voraussetzung dazu sind Handlungen, die das Kind ohne Hilfe erfolgreich ausführen kann (vgl. ebd., 10-11). Das Kind will alles „selber machen“. Sein Selbstständigkeitsstreben zeigt sich am deutlichsten in den körperlich-motorischen Handlungen, die ihm zunehmend seine Unabhängigkeit

beweisen. Folglich baut sich das „Selbst“ über die Körpererfahrungen auf, die das Kind in diesen ersten Lebensjahren macht (vgl. Zimmer, 2006, 28). Der grosse Bewegungsdrang lässt das Kind die Grundformen der Bewegung erleben, die sich im Laufe der Bewegungsentwicklung ausbilden. Sie werden als Primärbedürfnisse oder elementare Bewegungsbedürfnisse bezeichnet. Als Beispiele zählen unter anderen das Laufen, Hoch- und Hinabspringen, Schaukeln und Schwingen, Klettern, Rollen und Drehen, Balancieren, das Erleben von Anstrengung, Gleiten und Rutschen, Kräftemessen durch Raufen und Kämpfen, Bälle rollen, fangen und werfen, sich im Rhythmus bewegen, Verstecke suchen und Spiele mit, am und im Wasser. Der Erwerb von immer neuen Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie das Erkunden der eigenen Möglichkeiten und Grenzen formen die Persönlichkeit und das Selbstvertrauen des Kindes (vgl. Lienert et al., 59-63). Spielen ist in diesem Alter die vorherrschende Form der kindlichen Betätigung. Das Kind lernt dabei sich selbst kennen, baut Beziehungen zu anderen auf und lernt die Welt zu begreifen. Kreativität und Fantasie entwickeln sich in den Symbol- oder Fiktionspielen, das soziale Verhalten übt es in Rollenspielen, Einsicht und Problemlösevermögen gewinnt es in Konstruktionsspielen (vgl. Zimmer, 2006, 88-90). Bedeutsam für die motorische Entwicklung sind auch die Zielstrebigkeit sowie die Beständigkeit im Bewegungsverhalten. Dadurch verbessert sich die Konzentrationsfähigkeit. Im Spiel beginnen sich auch Wettbewerb und Leistungsstreben abzuzeichnen. Bei Vorschulkindern nimmt vor allem die zunehmende Sprech- und Denkfähigkeit Einfluss auf das motorische Verhalten, denn sie erfassen nun den Sinngehalt der Sprache und können darauf reagieren (vgl. Winter & Hartmann, 2007, 275).

2.3.6 Bedeutung der Motorik für das Lernen im psychomotorischen Alter

Das Kind ist auf einen ausreichend grossen Bewegungsraum angewiesen, damit es sich motorisch möglichst vielseitig und intensiv betätigen kann. Es benötigt Bewegungsfreiheit und günstige Umgebungsbedingungen, die es in erster Linie im Spiel im Freien und in der Gruppe erhält. Im Kontakt mit anderen Kindern kann es sein Geselligkeitsbedürfnis befriedigen und erfährt gleichzeitig Anregungen und Beispiele zum Nachahmen sowie motorische Impulse (vgl. Winter & Hartmann, 2007, 283). Eine grosse Bedeutung kommt dabei dem Spielverhalten zu, in welchem sich innere Vorstellungen aufbauen, unerfüllte Wünsche realisieren und Spannungen oder Aggressionen abbauen lassen, Kenntnisse über Objekteigenschaften vermittelt werden oder sich das Problemlösen entwickelt (vgl. Zimmer, 2006, 91-92). In diesem Zeitraum findet eine deutliche Ich-Umwelt-Differenzierung statt. Das Kind will alles selber machen und setzt eigene Inten-

tionen durch. Es beginnt, sich selber, sowie seine motorische Geschicklichkeit zu reflektieren und zu bewerten (vgl. Fischer, 2009, 61). Es definiert sich in erster Linie über seine körperlichen und motorischen Fähigkeiten, die seine Handlungskompetenz und sein Selbstbild repräsentieren. Da es sich noch nicht mit anderen Kindern vergleicht, bewertet das Kind seine Handlungen so, wie es das selber „von aussen“ betrachtet oder durch andere erfährt. Dieser metakognitive Prozess wird als Selbstregulation bezeichnet (vgl. Lienert et al., 2013, 90).

Körper- und Bewegungserfahrungen sind im Vorschulalter ebenfalls für die Sprachentwicklung zentral. Alles, was das Kind erlebt, spürt und erfährt kann es über die Sprache benennen, reflektieren und kognitiv verarbeiten. Sprache hat aber auch für Interaktionen eine wesentliche Funktion. Gerade in Bewegungsspielen kommt es zu intensiven Begegnungen und Auseinandersetzungen, bei welchen sich das Kind mit seinem Körper und verbal ausdrückt (vgl. ebd., 89). Die Körpersprache als Ausdrucksmittel für das individuelle Befinden, für Wünsche und Bedürfnisse, aber auch verbale Sprache und das Sprechen gelten laut Zimmer (2006, 82) als Grundlage der Kommunikation mit der sozialen Umwelt, was wiederum das eigene Handeln und Tun voraussetzt. „Bewegung ist das Fundament der emotionalen, sozialen und kognitiven Entwicklung des Kindes. Die Bedeutung der Bewegung für die allgemeine Entwicklung ist nachgewiesen. Kleine Kinder lernen handelnd“ (Lienert et al, 2013, 89).

2.3.7 Das soziomotorische Alter – Mittleres Kindesalter

Das frühe Schulkindalter ist ab dem 7. bis etwa dem 10. Lebensjahr mit zwei bedeutsamen Ereignissen verbunden. Zum einen ist es auf biologischer Ebene die Abschlussphase des ersten Gestaltwandels, bei welchem sich der Körperbau von der rundlichen, unproportionalen Kleinkindform zu strecken beginnt und nun harmonischer und ausgeglichener erscheint. Zum anderen geschieht durch den Schuleintritt auf der psychosozialen Ebene ein prägender Einschnitt, der die intellektuellen Fähigkeiten mit Denken und Sprache stark in den Vordergrund rücken. Die Handlungen des Kindes sind noch stark durch die Emotionalität geleitet und daher undifferenziert. Das Kontaktbedürfnis ist gross, die Sozialbeziehungen der Kinder untereinander gestalten sich in der Regel eher wechselhaft und zufällig. Der Schuleintritt hat auch auf die motorische Entwicklung enormen Einfluss. Nach wie vor sind die Schulanfänger und Schulanfängerinnen durch eine ausgeprägte Lebendigkeit und eine ungehemmte Bewegungsfreude geprägt, die durch den Schulbesuch mit Lernen und Pflichten zeitlich eingeschränkt werden. Die Kinder setzen jeden Anreiz der Umwelt in Bewegung um. Spielformen werden im Unter-

richt und im Sport meistens angeleitet. Das führt zu einem Leistungsstreben, welches einen deutlichen Leistungszuwachs begünstigt und zu Motivation führt (vgl. Winter & Hartmann, 2007, 285). Diese Altersphase wird daher durch die schnelle Zunahme der motorischen Lernfähigkeit gekennzeichnet und führt zu einem Entwicklungsschub (vgl. ebd., 296). Das Kind setzt sich nun intensiv mit sich selber auseinander und beginnt sich mit anderen Kindern zu vergleichen. Somit gewinnen die gesellschaftlich geforderten Kompetenzen an Bedeutung. Das Spielen, die Bewegung und das Handeln erhalten einen leistungsbezogenen Charakter. Die motorischen Fähigkeiten spielen dabei eine grosse Rolle bezüglich Selbstvertrauen und sozialer Stellung. Auch die Schulleistungen führen zu Vergleichen. Das eigene Selbstbild ist in allen diesen Handlungsbereichen verletzlich, denn es ist von der subjektiven Einschätzung des Kindes abhängig, die es seinen Leistungen zuschreibt (vgl. Lienert et al., 2013, 91).

2.3.8 Bedeutung der Motorik für das Lernen im sozomotorischen Alter

Winter & Hartmann (2007, 296-297) betonen, wie wichtig es ist, dem ausgeprägten Bewegungs- und Spielbedürfnis der Kinder entgegenzukommen, denn es ist für die Gesundheit, die körperliche und motorische Entwicklung und vor allem auch für das psychische Wohlbefinden von grösster Wichtigkeit. Schulische Probleme und das Fehlverhalten von Kindern ist oft die Folge davon, dass ihr Bewegungs- und Betätigungsbedürfnis zu eingeschränkt oder reglementiert ist. Daher gilt es, Massnahmen im Unterricht zu treffen, die das Lernen mit Bewegung verbinden, um die Freude am Lernen und an Lernerfolgen zu begünstigen. Reizvolle und motivierend gestaltete Bewegungsaufgaben, ermutigende und anspornende verbale Impulse, Lernen durch Anschauung, bewusstes Wahrnehmen und (be-) greifen, gelenktes Beobachten und Nachahmen sowie das Mittun der Lehrkraft weckt bei den Kindern das Interesse. Dadurch wird die Aufmerksamkeit und Leistungsbereitschaft erhöht sowie der soziale Umgang innerhalb der Klasse gefördert. Zimmer (2006, 34-36) hebt hervor, dass in diesem Lebensabschnitt die Grundlage für soziale Verhaltensweisen gelegt wird. Damit Kinder in eine soziale Gemeinschaft hineinwachsen können, sind sie auf Interaktionen mit anderen Kindern angewiesen. Bewegungsangebote und Bewegungsspiele dienen für die Erprobung von Grundregeln des Sozialverhaltens. Als Grundqualifikationen des sozialen Handelns bezeichnet die Autorin die soziale Sensibilität, das Regelverständnis in Gruppenspielen, die Kontakt- und Kooperationsfähigkeit, die Frustrationstoleranz sowie die Toleranz und Rücksichtnahme im Sinne von gegenseitigem Respekt. Kray & Schaefer (2012, 227) weisen darauf hin, dass neben dem familiären Umfeld die Beziehungen zu Gleichaltri-

gen in den ersten Schuljahren nicht nur wichtig, sondern auch intensiv geknüpft und gelebt werden. Lienert et al. (2013, 91) verdeutlichen, dass gerade die motorischen Fähigkeiten eine zentrale Rolle im Vergleich mit Gleichaltrigen spielen, da geschickte Kinder ein sicheres Selbstvertrauen und dadurch eine gute soziale Stellung einnehmen. Für die Entwicklung der Handlungskompetenz stellt Fischer (2009, 61) die Leistungsmotivation in den Vordergrund. Dem Kind wird es ebenfalls möglich, längerfristige Zielsetzungen zu verfolgen. Der Schriftspracherwerb ist dabei wesentlich, denn eigene Überlegungen können niedergeschrieben werden und entlasten das Denken, was zeitlich weiterreichende Handlungsplanungen ermöglicht.

2.4 Individuelle motorische Leistungsfähigkeiten

Wie aus Kapitel 2.1.1 bekannt, verlaufen Entwicklungsprozesse unterschiedlich. Rosenkötter (2013, 27) führt die hohe Variabilität der motorischen Entwicklung einerseits auf genetisch bedingte Veranlagungen zurück, andererseits spielen auch fördernde oder hemmende Umgebungsbedingungen eine grosse Rolle. An dieser Stelle wird noch einmal kurz auf die „Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit“ (ICF) eingegangen, die Grundlage für das Verständnis der Lebenssituation für Menschen mit einer Behinderung ist. Das ICF-Modell umfasst die drei Aspekte der Funktionsfähigkeit: Körperfunktionen und -strukturen, Aktivitäten und Partizipation einer Person. Zugleich werden umwelt- und personenbezogene Faktoren berücksichtigt. Es gilt, alle Aspekte der Funktionsfähigkeit stets im Kontext der umwelt- und der personenbezogenen Faktoren wechselseitig zu ermessen (vgl. DIMDI, 2005, 9). Aus heilpädagogischer Sicht ist es bedeutend, die zahlreichen Wechselwirkungen und komplexen Beziehungen dieser Faktoren zu kennen und zu verstehen. Daraus resultiert schliesslich auch der Förderbedarf. Das ICF-Modell liegt beispielsweise der Förderplanung nach Schindler et al. (2013, 3-4) zu Grunde.

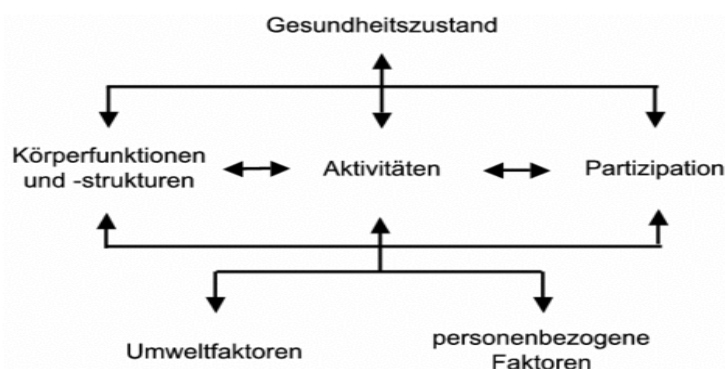


Abbildung 1: ICF-Modell mit den Wechselwirkungen (vgl. DIMDI, 2005, 23)

Hollenweger (2014, 35-36) verdeutlicht, dass es nach dem ICF-Modell in erster Linie darum geht, nicht die Eigenschaften von Menschen im Zentrum zu sehen, sondern die (Lebens-)Situationen zu verändern, indem die Umwelt so gestaltet wird, dass das Lernen unterstützt und gefördert wird. Im Modell steht dafür die Partizipation. Dies eröffnet den Lehrpersonen und den schulischen Heilpädagoginnen und Heilpädagogen Handlungsmöglichkeiten. Die Situation lässt sich verändern, das heisst in der Schule in erster Linie der Unterricht, daher hat dessen Planung und Gestaltung einen grossen Einfluss auf das Verhalten der Schülerinnen und Schüler (vgl. ebd., 44-45). Kapitel 3 wird sich ausführlich mit den unterrichtsbezogenen Umweltfaktoren im aktiv-entdeckenden Mathematikunterricht auseinandersetzen.

Die entwicklungspsychologische Sicht der Motorik (vgl. Kap. 2.3) bezieht sich auf Entwicklungsstand und Alter, was in den Bereich der personenbezogenen Faktoren gehört. Diese inneren Einflüsse wirken sich stark auf die Aktivität aus. Die Aktivität im Modell ist von den individuellen Leistungsfähigkeiten und Kompetenzen abhängig (vgl. ebd., 38-39). Die nachfolgenden Kapitel beschreiben die Entwicklung dieser Leistungsfähigkeiten im Bereich der Motorik, denn sie sind wesentlich für das Verstehen der Situation eines Kindes und für die Auswirkungen auf das Lernen. Damit eine eingeschränkte Aktivität verbessert werden kann, werden spezifische Kenntnisse vorausgesetzt, damit durch äussere Anpassungen und Veränderungen der Situationen (vgl. auch mit dem Begriff „motorisches Lernen“ in Kapitel 2.1.1), die Partizipation verbessert wird.

2.4.1 Körpererfahrungen

Körpererfahrungen haben einen grossen Einfluss auf die psychische Befindlichkeit und auf die Entwicklung des Selbstkonzepts (vgl. Lienert et al., 2013, 8). Die enge Verbindung zwischen Körper, Erleben, Verhalten und Lernen wird durch die gegenwärtigen neurologischen Forschungen belegt (vgl. Hüther, 2006, 96). Dies verdeutlicht ebenfalls Kapitel 2.2, insbesondere die Funktion des sensomotorischen Systems in Kapitel 2.2.5. Der Körper ist Ausgangspunkt für jegliche Erfahrungen, die affektiv oder kognitiv, bewusst oder unbewusst gemacht werden. Aus diesem Grund bildet das Körperkonzept die Grundlage für die individuelle Entwicklung des Selbst (vgl. Eggert, 2003, 32). Lienert et al. (2013, 11) weisen darauf hin, dass das Körperkonzept als Teilkonzept des Selbstkonzepts zu verstehen ist. Bielefeld (1991, 17) bezeichnet das Körperkonzept mit dem Begriff Körpererfahrungen. Unter Körpererfahrungen versteht er einen Gesamtkomplex, den er in einem Modell (Tab.1) zu strukturieren versucht. Es ist zu beachten, dass die folgende Darstellung nicht alle Erläuterungen vollumfänglich wiedergibt.

Tabelle 1: Strukturierung des Gesamtkomplexes „Körpererfahrung“ in Anlehnung an Bielefeld (1991, 17)

Körpererfahrung		
Die Gesamtheit aller im Verlaufe der individuellen wie gesellschaftlichen Entwicklung erworbenen Erfahrungen mit dem eigenen Körper, die sowohl kognitiv wie affektiv, bewusst wie unbewusst sein können.		
↙ ↘		
Körperschema Der neurophysiologische Teilbereich der Körpererfahrung: Er umfasst alle perceptiv-kognitiven Leistungen des Individuums bezüglich des eigenen Körpers.		Körperbild Der psychologisch-phänomenologische Teilbereich der Körpererfahrung: Er umfasst alle emotional-affektiven Leistungen des Individuums bezüglich des eigenen Körpers.
Körperorientierung Die Orientierung am und im eigenen Körper: Das Körperschema im engeren Sinn.	← →	Körperbewusstsein Die auf den eigenen Körper gerichtete Aufmerksamkeit. Auch Körperbewusstheit.
Körperausdehnung Das Einschätzen von Grössenverhältnissen sowie der räumlichen Ausdehnung des eigenen Körpers.		Körperausgrenzung Das Erleben der Körpergrenzen, dh. den eigenen Körper als deutlich von der Umwelt abgegrenzt erleben.
Körperkenntnis Einschliesslich der Rechts-Links-Unterscheidung – auch Körpervorstellung/Körperwahrnehmung		Körpereinstellung Die Gesamtheit der auf den eigenen Körper (Aussehen) gerichteten Einstellungen ⇒ (Un-)Zufriedenheit mit dem Körper.

Das Modell unterscheidet zwischen Körperschema und Körperbild. Das **Körperschema** bildet mit der Körperorientierung die Grundlage der Bewegungskoordination. Diese Fähigkeit bezieht sich auf die komplexe Funktion des Zentralnervensystems (vgl. Bielefeld, 1991, 19-21). Das Körperschema umfasst demgemäss die Leistungen der Wahrnehmung und deren Zuordnung zur Kognition (vgl. Lienert et al., 2013, 9). Zum Aufbau des Körperschemas sind die folgenden drei Basissinne zentral: Die kinästhetische Wahrnehmung, die auch mit Eigenwahrnehmung oder Propriozeption bezeichnet wird. Sie gilt als der eigentliche Bewegungssinn, indem sie Reize des eigenen Körpers über die Rezeptoren in den Muskeln, Sehnen, Gelenkkapseln und Knochenhäuten aufnimmt. Die Reize liefern Informationen über die Körperstellungen und -bewegungen, ohne dass

eine visuelle Kontrolle nötig ist (vgl. ebd., 32). Der zweite Basissinn ist die vestibuläre Wahrnehmung (Gleichgewichtssinn). Sie nimmt die Schwerkraft, die Lage des Körpers im Raum sowie die Bewegungsgeschwindigkeit wahr, was in der Regel unbewusst geschieht (vgl. ebd., 36). Die taktile Wahrnehmung nimmt Berührungen wahr, ihr Sinnesorgan ist die Haut. Sie ist eng mit der kinästhetischen Wahrnehmung verbunden, wenn es um das Spüren und Tasten von Gegenständen geht. Daher wird sie auch als Erkundungswahrnehmung oder taktil-kinästhetische Wahrnehmung bezeichnet (vgl. ebd., 25). Die Entwicklung des **Körperbildes** entwickelt sich etwas später, denn es ist erfahrungsabhängig und geschieht durch die persönliche Einschätzung und Bewertung des eigenen Körpers, daher steht das Körperbild dem Selbstkonzept strukturell sehr nah (vgl. ebd. 10). Bielefeld (1991, 25) unterscheidet zwischen Personen, die ein ausgeprägtes Körperbewusstsein haben und daher körperlichen Empfindungen und dem Aussehen grösste Aufmerksamkeit zukommen lassen. Personen mit einem weniger ausgeprägten Körperbewusstsein widmen ihre Aufmerksamkeit hingegen vielmehr ihrer Umgebung.

Aus diesen Erklärungen ist nachvollziehbar, dass das Körperkonzept, welches die Erfahrungen mit dem eigenen Körper umfasst, für die Entwicklung des Selbstkonzepts eine wichtige Rolle spielt (vgl. Eggert et al., 2003, 34).

2.4.2 Die Entwicklung der Grobmotorik

Grobmotorik bezeichnet diejenigen Bewegungsfunktionen des Körpers, die der Gesamtbewegung dienen, wie beispielsweise Gehen, Laufen, Hüpfen oder Springen (vgl. Schneider & Hasselhorn, 2012, 188). Die grobmotorische Entwicklung verläuft nach Rosenkötter (2013, 27) im Vergleich zwischen gleichaltrigen Kindern unterschiedlich. Neben diesen interindividuellen Unterschieden weist sie gleichzeitig auch eine intraindividuelle Variabilität aus, da die motorische Entwicklung von Pausen, Schüben oder Sprüngen gekennzeichnet ist. Dies wird mit unterschiedlichen genetischen Veranlagungen und Reifungsprozessen des Zentralnervensystems erklärt. Es sind kaum generelle Angaben für die Zeitpunkte von bestimmten Entwicklungsschritten möglich. Sie haben eher einen orientierenden Charakter.

Die Grobmotorik beginnt sich nach Elsner & Pauen (2012, 171-172) vom Kopf hinunter zu den unteren Extremitäten zu entwickeln, da die Reifung der Nervenbahnen von zentral nach peripher verlaufen und folglich die rumpf- und kopfnahen Muskelgruppen früher zu Bewegungsmustern in der Lage sind. Ein Säugling beginnt zuerst den Kopf alleine zu heben, später kann er ihn durch die Stärkung der Muskulatur auch frei bewegen.

Danach setzt die Rumpfkontrolle ein, indem sich das Kind aus der Bauchlage mit den Armen aufstützen kann. Wenn es sich vom Bauch auf den Rücken und umgekehrt rollen kann, gelingt es ihm, in die Sitzposition zu kommen. Dies ist ein bedeutsamer Meilenstein, da sich das Kind einen Überblick auf die Umgebung verschaffen und gleichzeitig Arme und Beine frei bewegen kann. Im Alter zwischen 6-12 Monaten gelingt ihm die eigenständige Fortbewegung durch vorwärts ziehen oder rückwärts schieben in der Bauchlage. Es gewinnt nun zunehmend Kontrolle über die Beine und erreicht den Vierfüßlerstand. Aus dieser Position lernen viele Kinder das Krabbeln. Das Kind kann sich alleine zum Stand hochziehen und trägt sein eigenes Gewicht auf den Beinen. Zuerst läuft es an Möbeln entlang, um sich festzuhalten, doch gegen Ende des ersten Lebensjahres versucht es immer mehr, das Gleichgewicht im Stehen zu finden, bis es die ersten Schritte selber machen kann. Wenn das Kind etwa zwischen dem 12. und 18. Lebensmonat das Laufen erlernt hat, geht die motorische Entwicklung zügig voran, was auch mit der Ausreifung des Zentralnervensystems zu tun hat. Zwischen dem 2. und 3. Lebensjahr verliert es den Babyspeck, die Körperproportionen werden ausgeglichener. Durch ein beschleunigtes Muskelwachstum gewinnt es an Kraft und Ausdauer, und durch die zunehmend bessere Muskelsteuerung verfeinert es Einzelbewegungen, die komplexere Bewegungsabläufe ermöglichen. Das Kind erwirbt immer neue Fortbewegungsmöglichkeiten wie Treppensteigen, Hüpfen oder Klettern. Ab dem 3. Lebensjahr beschleunigt es seine Bewegungen, es erreicht eine grössere Geschicklichkeit und Wendigkeit, kann rückwärts laufen, auf den Zehenspitzen stehen, zu Musik tanzen oder über einen schmalen Balken balancieren. Da sich der Gleichgewichtssinn kontinuierlich weiterentwickelt, wird es dem Kind ab etwa 5-jährig möglich, auf einem Bein zu stehen, Bälle zu fangen oder das Schwimmen und Fahrradfahren zu erlernen (vgl. Schneider & Hasselhorn, 2012, 188-189).

Damit der Körper in verschiedenen Positionen im Gleichgewicht gehalten werden kann oder um ihn in eine bestimmte Haltung zu bringen, ist eine gute Haltungskontrolle erforderlich. Die Haltungskontrolle ist sowohl für die Fortbewegung, als auch für die Handhabung von Gegenständen zentral (vgl. Nacke & Dietzi-Duplain, 2014, 257).

2.4.3 Die Entwicklung der Hand-, Fein- und Grafomotorik

Die grobmotorischen Bewegungsgrundformen werden zunehmend ausdifferenziert und verbessert (vgl. Zimmer, 2006, 80). Feinmotorik bezeichnet Bewegungen, bei denen nur einzelne Muskeln beteiligt sind. Sie bezieht sich vor allem auf Muskelbewegungen der Finger und Hände, die sich in der Finger- und Handgeschicklichkeit zeigen. Aber auch

die Abläufe der Sprechmotorik und der Mimik gehören in den Bereich der Feinmotorik (vgl. Schneider & Hasselhorn, 2012, 189). Die Reifung der Handmotorik geht von der Handfläche aus in Richtung Fingerspitzen. Beim Ganzhandgriff bewegt sich der Daumen noch parallel mit den Fingern, doch schon bald spreizt sich der Daumen ab und stellt sich beim sogenannten Zangengriff den anderen Fingern gegenüber. Diese sogenannte Oppositionsbewegung ist die wichtigste Bewegung der Hand. Ab etwa 7-12 Monaten tritt der Pinzettengriff auf, der dem Kind ermöglicht, nur mit Daumen und Zeigefinger nach kleinen Gegenständen zu greifen. In der Entwicklung der Handmotorik ist er ein wichtiger Meilenstein. Zuerst sind Daumen und Zeigefinger in Form des Scherengriffs noch gestreckt, später gelingt der vollständige Pinzettengriff nur durch die Berührung der Daumen- und Zeigefingerkuppe bei gebeugten Fingern. Noch vor dem Erreichen des ersten Lebensjahres ist es bedeutsam, dass beide Hände koordiniert werden können. Sobald das Kind Dinge von einer Hand zur anderen führt, muss es den zeitlichen Ablauf abstimmen, damit der Gegenstand nicht herunterfällt. Es beginnt, zwei Dinge in Bezug zueinander zu bringen, indem es sie beispielsweise zusammenschlägt. Zudem beginnt es, verschiedene Objekte durch drehen, wenden, betasten und bearbeiten zu manipulieren und nimmt dadurch unterschiedliche Perspektiven wahr (vgl. Elsner & Pauen, 2012, 173; Rosenkötter, 2013, 54). Darauf geht Kapitel 2.4.8 noch ausführlich ein. Im zweiten Lebensjahr gelingt durch die visuelle Steuerung das gezielte Greifen und Loslassen eines Objektes und das Stapeln von zuerst zwei, dann mehreren Dingen. Später beginnt das Kind zwei Gegenstände zu kombinieren, indem es beispielsweise den Einen mit dem Anderen befördert. Nun versucht es sich zunehmend auch in Rotationsbewegungen, die einen wichtigen Bewegungsablauf der Handmotorik darstellen. Durch leicht drehende Hin- und Herbewegungen lernt es, einen Verschluss zu bewegen, bis es durch den vollen Drehumfang das Aufschrauben eines Deckels schafft. Das Schneiden mit einer Schere ist anspruchsvoll, es gelingt erst mit etwa 3 Jahren, wenn das Kind die wesentlichsten Muster der Handmotorik erreicht hat (vgl. Rosenkötter, 2013, 55-56). Die in Kapitel 2.4.2 erwähnte Haltungskontrolle ist ebenfalls für fein- und grafomotorische Tätigkeiten bedeutsam.

⇒ Visuomotorik und Grafomotorik

Die Hand-Körper-Koordination ermöglicht es dem Säugling, eine Hand zum Mund oder beide Hände vor dem Körper zusammenzuführen, was durch die Neugeborenen-Reflexe möglich ist, die sich in den ersten Lebenswochen wieder verlieren. Bevor ein Kind seine Greifhandlungen gezielt steuern kann, muss es zuerst lernen, das Sehen

und Greifen zu koordinieren, die sogenannte Auge-Hand-Koordination. Es ortet mit den Augen einen Gegenstand im Raum, streckt dann die Hand in diese Richtung aus und öffnet die Hand in der richtigen Weite, um das Objekt zu ergreifen (vgl. Elsner & Pauen, 2012, 172-173; Rosenkötter, 2013, 55).

Mit Visuomotorik sind alle visuell gesteuerten Handbewegungen gemeint. Rosenkötter (2013, 61-64) beschreibt sie als Spezialfall der Handmotorik. Er nennt verschiedene Voraussetzungen, die für eine gute Visuomotorik verantwortlich sind. Dazu gehören das gute Sehen, die Verarbeitung der visuellen Eindrücke, die Umsetzung des Gesehenen in einen motorischen Plan und schliesslich die motorische Steuerung.

Die Grafomotorik ist folglich eine spezielle Funktion der Visuomotorik, da ein Stift durch handmotorische Fertigkeiten mit dem Auge geführt wird. Grafomotorik beinhaltet unter anderem die Zeichen- und Malfertigkeit, aber auch den Umgang mit Formen und Materialien sowie den eigenen Ausdruck. Dieser beginnt bereits beim rund einjährigen Kind, das mit dem Ganzhandgriff einen Stift hält und erstmals auf einem Papier sichtbare Spuren hinterlässt, meist in Form von waagrechten oder senkrechten Linien. Bis etwa mit 3-jährig befindet sich das Kind in der Kritzelphase, in welcher es zunächst ungesteuerte, später dann rhythmische, sich wiederholende und bewusst gesteuerte Muster produziert. Am Ende sind Rotationsbewegungen in Form von Knäueln, Spiralen und unvollständigen Kreisen häufig. Wichtige Grafoelemente wie der geschlossene runde Kreis, Vierecke und Dreiecke entwickeln sich bis etwa 6-jährig. Erwähnenswert ist, dass Kinderzeichnungen ein Spiegelbild der sozio-emotionalen Entwicklung darstellen. Rosenkötter (2013, 65) bezieht sich dabei auf den Mann-Zeichentest von Ziller (2007). Mit dem Abbilden einer menschlichen Figur macht das Kind eine Aussage über seine Körperwahrnehmung und sein Selbstgefühl.

2.4.4 Lateralität

Eine bestimmte Körperseite wird jeweils durch die gegenüberliegende Gehirnhälfte gesteuert. Die rechte motorische Hirnrinde gibt also die Signale für die linke Körperseite und umgekehrt, wie in Kapitel 2.2.1 und 2.2.5 beschrieben ist. Jede Hemisphäre zeigt in ihrer Funktion sowohl eine Differenzierung als auch eine Spezialisierung. Eine Hirnhemisphäre ist gegenüber der anderen dominant, daher spricht man von einer funktionalen Asymmetrie. Nicht nur die Motorik, sondern auch die Sensorik, das Hören, die Sprachverarbeitung sowie das Lesen und Schreiben sind sogenannte funktionale Asymmetrien, da sie in den beiden Körperhälften unterschiedlich ausgebildet sind. Der Begriff Lateralisation weist auf die unterschiedliche Spezialisierung der beiden Hirnh-

misphären hin. Das bedeutet für Rechtshänder, dass ihr dominantes motorisches Zentrum in der linken Hirnhälfte liegt (vgl. Rosenkötter, 2013, 71). Die linke Hemisphäre ist somit auf die Führung der rechten Hand spezialisiert, sie ist aber auch dominant für die Sprache und die sequentielle Informationsverarbeitung (vgl. Fischer, 2004, 84). Diese Tatsache kommt den Rechtshändern in Bezug auf den Schriftspracherwerb und das Rechnen zu Gute, da die Schreib- und Leserichtung von links nach rechts der neuronalen Verarbeitungsstrategie entspricht, in der eben die sequentielle Informationsverarbeitung vorherrscht (vgl. ebd., 89). Linkshänder haben eine dominante rechte Hemisphäre, die unter anderem auf die räumliche Wahrnehmung und die Orientierung spezialisiert ist (vgl. ebd., 84). Die Händigkeit entwickelt sich ab dem 2. Lebensjahr, wenn das Kind entdeckt, dass ihm die Tätigkeit mit der einen Hand besser gelingt als mit der anderen. Sie wird genetisch und hormonell beeinflusst. Mit etwa 4-jährig entscheidet sich das Kind für seine dominante Hand, mit welcher es die meisten Handlungen verrichtet. Linkshändige Kinder stossen von Anfang an auf Schwierigkeiten, denn ihre Umgebung, der Alltag und der Werkzeuggebrauch sind rechtshändig orientiert. Das kann zu einer zögernden Entwicklung der Linkshändigkeit oder zu einer bleibenden Unsicherheit führen. Oft haben solche Kinder Mühe, in ihren Bewegungen die Körpermittelachse zu überkreuzen (vgl. Rosenkötter, 2013, 74-75). Die Lateralität dient für den Aufbau der Orientierung im Raum, mit welcher sich Kapitel 2.4.8 befasst. Die Unterscheidung zwischen der linken und der rechten Körperseite wird dem Kind erst etwa im Alter von sechs Jahren bewusst, dann hat es die Körperorientierung erreicht und kann sie auf den Raum übertragen (vgl. Bertrand, 2002, 84).

2.4.5 Bedeutung der Grob-, Fein- und Handmotorik für das Lernen

Im Unterricht ist in erster Linie die Haltungskontrolle wesentlich, beispielsweise als Voraussetzung für das Sitzen. Da gleichzeitig die Hirnentwicklung sowie verschiedene Wahrnehmungssysteme für eine gute Haltungskontrolle von Bedeutung sind, erfordert sie vom Kind eine gewisse Aufmerksamkeit. Dies gilt es im Unterricht zu berücksichtigen, um Kinder, die Mühe mit der Haltungskontrolle haben, nicht durch kombinierte Aufgaben mit Bewegung und Kognition zu überfordern (vgl. Nacke & Diezi-Duplain, 2014, 258-259). Högger (2013, 18-19) weist darauf hin, dass Kinder mit einem unruhigen Sitzverhalten dies kaum kognitiv zu kontrollieren vermögen, sondern durch angepasste Sitzpositionen entlastet werden und durch die Aktivierung der taktil-kinästhetischen Wahrnehmung längerfristig gefördert werden können. Nacke & Diezi-Duplain (2014, 265-267) zeigen auf, wie die Haltungskontrolle für die Handhabung von

Gegenständen zentral ist, um diese zu greifen, zu tragen und zu bewegen. Dies wirkt sich ebenfalls auf den Werkzeuggebrauch und die Grafomotorik aus. Damit die Griffkraft reguliert werden kann, erfordert es neben der taktil-kinästhetischen auch die visuelle Wahrnehmung (Auge-Hand-Koordination) sowie den koordinierten Einsatz beider Hände und ab dem fünften bis sechsten Lebensjahr die Entwicklung der Handpräferenz. Es verdeutlicht sich, welche hochkomplexen sensomotorischen Prozesse der schulische Unterricht vom Kind erfordert. Högger (2013, 24) spricht dabei die sensorische Integration an, die auf Ayres (1992) zurückgeht, welche die geistige Verarbeitung der Wahrnehmung als Grundlage von Lesen, Schreiben und Rechnen sieht, die aus dem grob- und feinmotorischen Einsatz des Körpers erwächst (vgl. auch Kapitel 2.2.7).

Aus der Begriffsklärung in Kapitel 2.1.2 geht hervor, dass Bewegungserfahrungen untrennbar mit der Persönlichkeit und der Identitätsbildung des Kindes verbunden sind (vgl. Fischer, 2009, 58). In Ergänzung zur Bedeutung der Motorik für das Lernen in den jeweiligen Altersstufen aus dem Kapitel 2.3 soll hier die Bedeutung der Grob- und Feinmotorik auf das Selbstkonzept, insbesondere das Selbstbild (vgl. Kap. 2.4.1) verdeutlicht werden. Im Vordergrund stehen zunächst motivationale Aspekte. Durch die zunehmende körperliche und geistige Beweglichkeit entwickelt sich das Bedürfnis nach selbständigem Handeln und nach Erfahrungen mit eigenen Kompetenzen, die entweder eher erfolgs- oder misserfolgsorientiert sind. Das Kind führt das Handlungsergebnis, sei es grob- oder feinmotorischer Art, auf seine Tüchtigkeit zurück, was Auswirkungen auf die Motivation hat. Später wird auch der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe in die Bewertung miteinbezogen. Das bedeutet, eine schwierig taxiierte Bewegungsaufgabe wird im Erfolgsfall mit einem besseren Gefühl bewertet, als wenn sie sehr einfach ist. Die Tüchtigkeit beinhaltet die Teilkomponenten Anstrengung und Fähigkeit. Damit das Kind seine Fähigkeit erkennt, erfordert dies eine Abstraktionsleistung, die erst nach Schulbeginn möglich ist (vgl. Schneider & Hasselhorn, 2012, 201).

Im Vorschulalter ist die Einschätzung der eigenen Leistungsfähigkeiten durchwegs optimistisch, denn die Fortschritte der Grob- und Feinmotorik führen zu vielen positiven Erfahrungen, oft auch zu unrealistischer Überschätzung des eigenen Selbstbildes. Eine realistische Selbsteinschätzung tritt erst ab etwa dem zweiten Schuljahr ein (vgl. ebd., 203). Neben der Selbstbewertung trägt auch die Fremdbeurteilung zum Aufbau des Selbstbildes bei. Sie erfolgt direkt durch Zuschreibungen, die kommuniziert werden, oder durch indirekte Rückmeldungen. Das Kind beginnt dabei die Reaktionen der ande-

ren Kinder zu beobachten, wie diese auf seine Handlungen reagieren und zieht Rückschlüsse daraus. Die dritte Form ist der soziale Vergleich, der innerhalb der Klasse oder der Gruppe, in welcher das Kind sich bewegt, erfolgt (vgl. Lienert et al., 2013, 15-17). Diese unterschiedlichen Formen der eigenen Einschätzung setzen sich als innere Einstellung in Form eines inneren Dialogs fest. Für das Lernen bedeutet das, dass die Lehrperson diesen inneren Dialog durch die gemeinsame Reflexion über die Leistungen des Kindes herausspüren muss, um im Gespräch die individuellen Entwicklungsmöglichkeiten hervorzuheben.

2.4.6 Koordinative Fähigkeiten

Wie in Kapitel 2.1.2 bereits erläutert, bezieht sich Motorik auf den Innenaspekt und umfasst Steuerungs- und Funktionsprozesse. Diese sind hierarchisch gegliedert. Auf der obersten Ebene unterscheidet man die motorischen Fähigkeiten von den motorischen Fertigkeiten (vgl. Willimczik & Singer, 2009, 17-18). Bei den motorischen Fertigkeiten handelt es sich um spezifische Tätigkeiten in Form von Techniken, die auf einen bestimmten Zweck ausgerichtet sind und sich durch Wiederholung und Übung trainieren lassen, wie beispielsweise das Fahrradfahren.

Die motorischen Fähigkeiten sorgen bei der Ausübung verschiedenster motorischer Aktivitäten durch ihr Zusammenspiel für individuelle Unterschiede hinsichtlich Geschwindigkeit, Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Effizienz der Bewegungsausführung und der Haltungskontrolle (vgl. Krist et al., 2012, 379-380). Daher gehören sie zu den Grundlagen jeder Bewegung und motorischen Leistungsfähigkeit. Sie werden in die beiden Teilbereiche der koordinativen und der konditionellen Fähigkeiten unterteilt (vgl. Lienert et al., 2013, 52). Die konditionellen Fähigkeiten umfassen die Bereiche Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer sowie die Beweglichkeit, die alle diese Faktoren beeinflusst. Die konditionellen Fähigkeiten dienen vor allem einer allgemein höheren Leistungsfähigkeit und der Erhaltung der Gesundheit. Sie stehen in enger Beziehung zu den koordinativen Fähigkeiten (vgl. ebd., 57). Das Kind ist darauf angewiesen, täglich seine Bewegungsbedürfnisse auszuleben. Dabei entwickeln sich die konditionellen Fähigkeiten altersgemäss und auf spielerische Art.

Der Förderung der koordinativen Fähigkeiten kommt im Schulalter jedoch ein besonderer Stellenwert zu (vgl. ebd., 98). Das schnelle Lernen von neuen Bewegungen und Techniken erfordert gut ausgebildete koordinative Fähigkeiten. Im Vor- und Grundschulalter bis etwa 12-jährig ist der Aufwand und die Energie am geringsten, Bewegungsabläufe durch regelmässiges Üben zu koordinieren und abzuspeichern (vgl. ebd.,

52). Bei der Koordination geht es um Prozesse der Bewegungssteuerung, um Bewegungssituationen sicher und ökonomisch zu bewältigen. Das bedingt eine gut entwickelte Körperwahrnehmung, das heisst, die Qualität der koordinativen Fähigkeiten hängt vom Zusammenwirken der Sinne, des Nervensystems und der Muskulatur ab (vgl. Bucher & Ernst, 2005, 37).

⇒ **Fünf Teilbereiche der koordinativen Fähigkeiten**

Es werden fünf Teilgebiete von koordinativen Fähigkeiten, die gegenseitig voneinander abhängig sind, unterschieden (vgl. ebd., 39).

„Die **Orientierungsfähigkeit** ermöglicht, sich in der Vielfalt von Positionen zu orientieren und anzupassen“ (ebd., 39 Hervorh. i. Orig.). Sie bezieht sich einerseits auf die Körperorientierung und basiert auf dem Körperschema (vgl. Kap. 2.4.1). Visuelle und auditive Signale helfen bei der Orientierungsfähigkeit mit. Das Kind erhält zudem über die vestibuläre und kinästhetische Wahrnehmung Rückmeldungen über die Lage seines Körpers im Raum. Andererseits ist die Orientierungsfähigkeit Voraussetzung, sich in Raum und Zeit zurechtzufinden, worauf Kapitel 2.4.8 noch eingeht. Das Kind gelangt über die Körperorientierung zur Raumorientierung (vgl. Lienert et al., 2013, 52-53).

„Die **Differenzierungsfähigkeit** ermöglicht, die eintreffenden Sinnes-Informationen differenziert auf Wichtiges zu überprüfen und die Bewegungen darauf dosiert abzustimmen“ (Bucher & Ernst, 2005, 39 Hervorh. i. Orig.). Sie steht in direktem Zusammenhang mit der Orientierungsfähigkeit, wobei die visuelle und taktil-kinästhetische, aber auch die vestibuläre Wahrnehmung für die Differenzierung verschiedener Reize wichtig sind (vgl. Lienert et al., 2013, 54).

„Die **Gleichgewichtsfähigkeit** ermöglicht, das Gleichgewicht zu halten oder es nach Positionsänderungen möglichst rasch wiederzugewinnen“ (Bucher & Ernst, 2005, 39 Hervorh. i. Orig.). Ein gutes Gleichgewichtsgefühl ermöglicht eine gute Körpersteuerung und ein gutes Bewegungsempfinden. Die visuelle Wahrnehmung, sowie die Differenzierungsfähigkeit für die Steuerung sind dabei hilfreiche Faktoren (vgl. Lienert et al., 2013, 54-55). Hannaford (2013, 38) betont, dass das Gleichgewichtssystem zusammen mit der Propriozeption eine wesentliche Rolle spielt für das Lernen und Verstehen. Zu gleichen Erkenntnissen kommt auch eine aktuelle Langzeitstudie des Projektes „Schnecke – Bildung braucht Gesundheit“, (vgl. Hessisches Kultusministerium, 2012), die sich mit der Frage befasst, wie sich Körpergefühl und Gleichgewichtssinn auf schulische Leistungen auswirken. Darauf kommt das folgende Kapitel 2.4.7 noch einmal zu sprechen.

„Die **Reaktionsfähigkeit** ermöglicht, Informationen bzw. Signale aufzunehmen und darauf schnell und mit einer gezielten Bewegung zweckmässig zu reagieren“ (Bucher & Ernst, 2005, 39 Hervorh. i. Orig.). Sie basiert auf den genannten Teilbereichen und versucht, das ursprüngliche Gleichgewicht so schnell wie möglich wieder zu erlangen. Sie vermittelt Sicherheit und dient der Unfallverhütung. Die Reaktionen beziehen sich im Alltag meist auf visuelle, akustische, taktil-kinästhetische und vestibuläre Reize (vgl. Lienert et al., 2013, 56).

„Die **Rhythmus- bzw. Rhythmisierungsfähigkeit** ermöglicht, Bewegungsabläufe rhythmisch zu gestalten, zu akzentuieren oder einen gegebenen Rhythmus zu erfassen“ (Bucher & Ernst, 2005, 39 Hervorh. i. Orig.). Nach Lienert et al. (2013, 56) ist sie die Krönung für harmonische Bewegungsabläufe, denn sie bedingt das Zusammenspiel aller Teilbereiche der koordinativen Fähigkeiten und die Verbindung mit dem gesamten Wahrnehmungssystem. Die Rhythmisierungsfähigkeit wird aber auch durch den eigenen, inneren Rhythmus beeinflusst (vgl. Kap. 2.4.8).

2.4.7 Bedeutung der koordinativen Fähigkeiten für das Lernen

Das motorische Lernen steht in enger Beziehung zur Wahrnehmung. Die koordinativen Fähigkeiten beinhalten sogar noch weitere, komplex wirkende Voraussetzungen, die eine bestimmte Leistung ermöglichen. Sie stehen ebenfalls in Verbindung mit konditionellen, intellektuellen, musischen oder zielgerichteten Fähigkeiten. Sie besitzen den Charakter eines Konstrukts und sind daher schwer fassbar (vgl. Hirtz, 2007, 214). Umso mehr kommt der Förderung der koordinativen Fähigkeiten im Kindesalter eine hohe Bedeutung zu, denn sie sind grundlegend für Lernprozesse jeder Art und lassen sich spielerisch, motivierend und abwechslungsreich in die Bewegungserziehung einbauen.

Vielfältige Bewegungen führen zu intensiven Körperwahrnehmungen durch die Nahsinne (taktil-kinästhetisch-vestibulär) und durch die Fernsinne (visuell-auditiv). Dabei wird die Steuerung der eigenen Bewegung gefördert, was ein zielgerichtetes, erfolgreiches Handeln ermöglicht (vgl. Lienert et al., 2013, 104). Dafür ist insbesondere die Differenzierungsfähigkeit wichtig, denn eine optimale Steuerung gibt ein gutes Bewegungsgefühl. Sie beinhaltet Wahrnehmen, Verarbeiten, Planen und Ausführen. Eine gute Auge-Hand-Koordination ist ebenfalls stark abhängig von der Differenzierungsfähigkeit (vgl. ebd., 53-54).

Ein besonderer Schwerpunkt ist auf ein gutes Gleichgewichtsgefühl zu legen. Lienert et al. (2013, 37) betonen, dass das Gleichgewichtsgefühl einen grossen Einfluss sowohl auf das Wohlbefinden, als auch auf die schulischen Leistungen hat. Da die Schwerkraft

immer wirkt, sind Kinder mit einem beeinträchtigten Gleichgewicht stets daran, dieses auszugleichen, was eine hohe Konzentration verlangt. Die bereits erwähnte Studie des interdisziplinären Projektes „Schnecke – Bildung braucht Gesundheit“ weist auf den Zusammenhang zwischen schulischen Leistungen und der Gleichgewichtsfähigkeit hin. Sie beweist, dass ein tägliches Gleichgewichtstraining zu einer Verbesserung in den Fächern Deutsch, Mathematik und Sport führt. Positive Effekte zeigten sich bezüglich Feinmotorik, Auge-Hand-Koordination, Lernfreude, Schuleinstellung und weiteren emotionalen Faktoren (vgl. Hessisches Kultusministerium, 2012, 2).

2.4.8 Raum und Zeit

Die Wahrnehmung von Raum und Zeit erfordert das Zusammenspiel aller Wahrnehmungssysteme, um ein situationsangemessenes Handeln zu erreichen (vgl. Deeken, 2002, 118). Die Dimensionen Raum und Zeit bilden ein Ganzes und gehören untrennbar zusammen. Bewegungen sind immer Teil von Raum und Zeit. Die Zeit ist der Raum in Bewegung, sie ist als Geschwindigkeit der Bewegungen zu verstehen. Der Raum ist eine Momentaufnahme der Zeit. „Beide Dimensionen bilden die Ordnung, die die Beziehungen zwischen den Gegenständen und ihren Raumänderungen charakterisiert. Sich in Zeit-Raum-Gegebenheiten zurechtzufinden, heisst, sich seiner Umwelt anzupassen und sie zu beherrschen“ (ebd., 130). Durch die fortwährende Zufuhr von Informationen aus den Sinnesorganen wird der Aufbau eines Vorstellungs- oder Handlungsraums ermöglicht, indem Entfernungen und Richtungen eingeschätzt werden können (vgl. Bertrand, 2002, 86). Eggert (2002, 46) betrachtet die Wahrnehmung von Zeit und Raum als eine aktive Konstruktion. Das bedeutet, dass man sich in Zeit und Raum bewegen muss, darin handelt, operiert und Erfahrungen sammelt, was zu Wissen über die Dinge und die Umwelt führt. Der Autor sieht Zeit und Raum ebenfalls mit dem Selbstkonzept, der Motivation sowie mit Emotionen gekoppelt (vgl. ebd., 54). Mit anderen Worten sind Körpererfahrungen unabdingbare Voraussetzungen für die Entwicklung der Raum- und Zeitwahrnehmung.

⇒ Entwicklung von Raumwahrnehmung

Die räumliche Wahrnehmung ist an die räumliche Orientierung gekoppelt (vgl. Bertrand, 2002, 86). Für den Aufbau der Raumorientierung ist die enge Verknüpfung des vestibulären Systems mit dem auditiven und visuellen System zentral. Es werden zwei Räume unterschieden. Zum einen handelt es sich, zusammen mit dem taktilkinästhetischen System, um die eigene Körperwahrnehmung und die Lage des Körpers

im Raum. Zum andern ist es die Wahrnehmung des grossen Raums, die über die Fernsinne des visuellen und auditiven Systems erfolgt (vgl. Lienert et al., 2013, 37). Bertrand (2002, 63-64) bezeichnet die beiden Räume als Körperraum und ausserkörperlicher Raum. Der ausserkörperliche Lebensraum lässt sich zusätzlich in einen Nah- und einen Fernraum aufteilen. Der Nahraum entspricht dem Bewegungsraum, in welchem die Grössen konstant sind. Der Fernraum entspricht dem visuellen Raum, in welchem sich die Grössenverhältnisse je nach Distanz ändern. Zudem gilt es zu beachten, dass es im ausserkörperlichen Raum greifbare, raumfüllende Objekte sowie ungreifbare, unsichtbare Wirklichkeiten gibt. Wesentlich ist, dass der ausserkörperliche Raum nur durch die Handlung wahrgenommen werden kann. Der Körperraum ist ein durch die Haut abgegrenzter Raum im ausserkörperlichen Raum, folglich ein Raum im Raum. Der Körperraum beinhaltet die äussere, taktile Wahrnehmung, aber auch die innere Wahrnehmung, das Körperschema (vgl. Kap. 2.4.1). Zuerst entspricht der ausserkörperliche Raum des Neugeborenen seinen Körpermassen, es beginnt Distanzen und Grössen von Gegenständen zu erfassen. Die Raumwahrnehmung entwickelt sich im Hintergrund jeder zielorientierten Bewegung, die eine Bedeutung erfährt. Der Handlungsraum beginnt sich zunehmend zu vergrössern, beispielsweise durch das Wegwerfen von Gegenständen und der späteren eigenen Fortbewegung. Das Kind beginnt räumliche Zusammenhänge zu verstehen und stellt sie durch die Integration seines Körpers in den Raum oder durch das aktive Handeln mit Gegenständen selber her (vgl. ebd., 76-78).

⇒ Entwicklung der Raumvorstellung

Bis jetzt hat das Kind räumliche Begriffe immer nur auf seinen Körper bezogen. Nach der räumlichen Wahrnehmung entwickelt sich in einem späteren Abschnitt die räumliche Vorstellung im Sinne einer räumlichen Strukturierung. Das Kind beginnt sich räumliche Zusammenhänge im Kopf vorzustellen (vgl. ebd., 85-87). Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Objektpermanenz zu, die auf Piaget zurückgeht und als Grundvoraussetzung jeglichen Denkens gilt. Das Kind lernt, dass die Welt sich aus Objekten zusammensetzt, die fortwährend in Raum und Zeit bestehen bleiben, auch wenn es die Augen schliesst (vgl. Rakoczy & Haun, 2012, 342). Ein weiterer Entwicklungsfortschritt befähigt das Kind, sich ein Ereignis oder eine Handlung gedanklich vorzustellen, das heisst, mental zu repräsentieren. Die Repräsentation von motorischen Handlungen führen zu Symbolbildungen. Das Kind lernt, Symbole zu verstehen und anzuwenden, was insbesondere auch über die Sprache geschieht (vgl. Schneider & Hasselhorn, 2012, 190). Im Alter ab sechs Jahren lernt es, Bezugspunkte unabhängig von seinem Körper

anzuwenden, dadurch werden sie operativ (vgl. Bertrand, 2002, 85). Bertrand (2002, 65-66) bezieht sich auf Lurcat (1979), die feststellt, dass das Kind im Alter zwischen drei bis sechs Jahren räumliche Orientierungspunkte und damit die Raumkoordinaten erwirbt. Zum einen sind es die objektiven Anhaltspunkte „oben“ und „unten“, die durch die Schwerkraft bestimmt und daher unabhängig von der Orientierung des Kindes sind. Zum anderen handelt es sich um subjektive Anhaltspunkte, die vom Kind selber und seiner Orientierung abhängen. Sie stehen ebenfalls im Zusammenhang mit der Lateralisierung (vgl. Kap. 2.4.4). Bertrand (2002, 84-87) nimmt Bezug auf Le Boulch (1978), der sagt, dass das Kind sich nun seiner linken und rechten Körperseite bewusst wird und Begriffe wie vor, hinter, über, unter, rechts und links kennt. Es überträgt seine Körperorientierung auf den Raum. Durch die sich weiter entwickelnden geistigen Fähigkeiten erwirbt das Kind nach und nach Begriffe von Distanzen, Flächen, Volumen, Perspektiven und Koordinaten. „Das Kind kann über räumliche Relationen reflektieren, d.h. gedanklich mit räumlichen Objekten, Begriffen und Relationen handeln und diese Handlungen verbalisieren“ (Deeken, 2002, 138).

⇒ Entwicklung des Zeitbegriffs

Der Zeitraum kann in unserem Lebensraum als vierte Dimension des Raumes, der aus den drei Dimensionen Länge, Breite und Höhe besteht, angesehen werden (vgl. ebd., 66). Eggert (2002, 46) betont die Bewegung, die innerhalb räumlicher Beziehungen die Geschwindigkeit bestimmt. Daraus entwickelt sich der Sinn für den Zeitablauf. Es sind folglich motorische Anregungen, welche die raum-zeitlichen Strukturen initiieren und aufbauen. Die Zeit beinhaltet die beiden Komponenten Ordnung und Dauer, daraus entsteht Rhythmus (vgl. Bertrand, 2002, 60). Im Folgenden werden die drei erwähnten Komponenten der Ordnung, der Dauer und des Rhythmus beschrieben.

Die Wahrnehmung einer zeitlichen Folge ist der Aspekt der **Ordnung** oder einer Struktur der Zeitwahrnehmung (vgl. ebd., 67-68). Es geht um die Einordnung eines Ereignisses in eine Folge. Die Schnelligkeit der Wahrnehmung spielt dabei eine wichtige Rolle, damit zwei Eindrücke erstens identifiziert und zweitens als ungleichzeitig erkannt werden und damit sie anschliessend in die richtige Reihenfolge gebracht werden können (vgl. Deeken, 2002, 128). Wie gut der Wahrnehmungsempfang ist, hängt von zwei Faktoren ab. Zum einen ist es die Wahrnehmungsbereitschaft, wie beispielsweise eine aufmerksame, interessierte Haltung gegenüber den angebotenen Reizen. Zum anderen geht es um die Organisation der Reize. Zeitliche Folgen können besser unterschieden

werden, wenn sie nur ein Sinnesorgan stimulieren und sich zudem der zeitliche Ablauf als sinnvoll erweist (vgl. Bertrand, 2002, 67).

Die Wahrnehmung der **Dauer** bezieht sich auf den Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgende Ereignisse. Die Erfassung oder Schätzung dieser Zeitstrecken ist nur möglich, wenn diese Ereignisse als gleichzeitig erfasst werden können. Die Dauer wird in leere, beziehungsweise in volle Zeiten unterschieden. Die leere Zeit besteht zwischen zwei begrenzten, sich folgenden Reizen, beispielsweise als Pause zwischen zwei Musikstücken. Die volle Zeit entspricht der Länge einer Stimulation von Anfang bis Ende, in diesem Falle der Zeitdauer eines ganzen Musikstücks. Die erlebte Zeit ist immer das Erlebnis von Veränderungen und bezieht sich auf situative Begebenheiten, Motivation und Lebensalter, was zu subjektiven Zeiteinschätzungen führt (vgl. ebd., 68).

Der **Rhythmus** kann als regelmässige und periodische Wiederkehr einer geordneten Struktur definiert werden. Er stellt die Synthese von Ordnung und Dauer dar. Natürliche Rhythmen werden in äussere und innere Rhythmen eingeteilt. Äussere Rhythmen bestehen in der Natur, wie der Tageslauf oder die Jahreszeiten. Innere Rhythmen sind Herzschlag, Atem- sowie Bewegungsrhythmus (vgl. ebd., 97). Die periodischen Veränderungen der äusseren Zeitrechnung werden mit der inneren Zeitrechnung kombiniert, was die Orientierung in der Zeit ermöglicht (vgl. ebd., 68).

Eggert (2002, 54) beschreibt zusammenfassend, dass für die Entwicklung des Zeitkonzepts die Raumwahrnehmung von zentraler Bedeutung ist, damit sich der Mensch an seine Umwelt anpassen kann. „Aus der Erfahrung strukturierter Zeit entsteht das Operieren mit der Zeit, die Zeitimagination und die Planung der Zeit“ (ebd., 54). Das ist so zu verstehen, dass sich die Vorstellung des Zeitraums ausgehend von der Gegenwart auf Vergangenheit und Zukunft erweitert und sich bis über die Wahrnehmungsgrenzen als Zeithorizont und Zeitperspektive ausweitet (vgl. Bertrand, 2002, 94).

2.4.9 Bedeutung von Raum und Zeit für das Lernen

Die ausreichende Entwicklung der Dimensionen Raum und Zeit bedeutet im Hinblick auf das schulische Lernen einen entscheidenden Schritt. Der Übergang von den handelnden Raumerfahrungen und der Zeiterfassung und -strukturierung bis zu den schulischen Operationen und Lerninhalten erfordert eine Fülle an Koordination von Wahrnehmung und Motorik. Die feinabgestimmten Prozesse zwischen Raum und Zeit, die automatisiert und weitgehend unbewusst ablaufen, sind Voraussetzung für die unproblematische Aneignung der Schriftsprache und den Umgang mit mathematischen Symbolen (vgl. Eggert, 2002, 40-41). Raum und Zeit verlangen aktive Konstruktionen und

Erfahrungen, ihre Strukturen werden nur über Handlungen wahrnehmbar. Daher lassen sie sich über Bewegung und Handlung fördern (vgl. ebd., 46).

Durch die Wahrnehmung und Differenzierung von Formen wird der Umgang mit Buchstaben und Zahlen einfacher. Objekt- und Formerfahrungen sind wichtig, um einen Gegenstand immer als denselben wahrzunehmen, unabhängig von Lage, Grösse oder exakter Form. Die Raumorientierung ist Voraussetzung, sich in abstrakten Räumen, beispielsweise am Zahlenstrahl oder im Alphabet zu orientieren. Auch hier sind Raumerfahrungen und das Körperschema Bedingungen, um Begriffe wie „oben“, „unten“, „hinten“, „vorne“ usw. zu kennen. Sprechen und Zählen beinhalten Rhythmus und Geschwindigkeit, was ein Gefühl für Zeit erfordert. Dies ist genauso nötig, um Wörter als Buchstabenfolgen und Sätze als Wortfolgen zu begreifen, aber auch eine Reihe von Handlungsschritten in der richtigen Abfolge auszuführen (vgl. Högger, 2013, 29-32). Nach Moser Opitz & Schmassmann (2007, 7-8) gilt die Raumorientierung als basale Fähigkeit des mathematischen Lernens. Dazu gehören die Links-Rechts-Unterscheidung, der Umgang mit räumlichen Beziehungen, die Raumlage und die Bewegungsrichtungen. Seriale Leistungen und zeitliche Abfolgen sind für das Zählen, Erzählen, Zusammenfassen, Zerlegen und Ausführen von einzelnen oder mehreren Denkschritten und für das Erkennen und Einhalten von Handlungsabläufen wichtig. Egger (2002, 46) spricht eine Reihe von Lernvoraussetzungen für das Sitzen, Lesen, Schreiben und für die Mathematik an, die alle auf Raum-Zeit-Wahrnehmungen basieren. Raum und Zeit laufen als unbewusste, motorische, psycho- und sensomotorische Prozesse ab. Sie stehen in direktem Zusammenhang zu den Körpererfahrungen (vgl. Kap. 2.4.1) und zu den koordinativen Fähigkeiten (vgl. Kap. 2.4.6 und 2.4.7).

⇒ **Praxie**

Die Entwicklung der Raum-Zeit-Dimension zeigt sich in der Entwicklung der Praxie (vgl. Deeken, 2002, 151). Maier (2006, 9) fasst unter dem Begriff der Praxie das zielgerichtete und zweckmäßige Handeln zusammen. Dieses basiert auf Bewegungserfahrung, Bewegungsplanung und zeitlicher sowie räumlicher Koordinierung von Bewegungsabläufen. Das Kind entwickelt somit die Fähigkeit, in verschiedenen Situationen angemessen zu handeln. Lienert et al. (2013, 104) weisen darauf hin, dass der Umgang mit verschiedenen Materialien zur Vorstellung von Beschaffenheit und physikalischen Eigenschaften sowie gleichzeitig auch zur Verinnerlichung von Handlungsabläufen führen. Folglich sind Materialerfahrungen genauso wie Bewegungserfahrungen wichtig für die Planung von Handlungsabläufen und zielgerichtetem, erfolgreichem Handeln.

3 Unterricht nach den didaktischen Prinzipien des aktiv-entdeckenden Lernens in der Mathematik

3.1 Mathematik als konstruktiver Prozess

Der Kanton Bern schreibt in der Mathematik das „Schweizer Zahlenbuch“, verfasst vom Autorenteam Wittmann & Müller (2007), als verbindliches Lehrmittel vor. Die Grundkonzeption baut auf dem konstruktivistischen Lehr- und Lernverständnis auf, welches als didaktisches Prinzip das aktiv-entdeckende Lernen ins Zentrum stellt. Heute weiss man, dass Kinder am besten lernen, wenn sie dies auf eigenen Wegen und selbständig tun. Das Suchen und Finden von individuellen Lernwegen und -strategien ermöglicht die Lösungsfindung auf eigenem Niveau, die Differenzierung erfolgt auf natürlichem Weg. Die Kinder brauchen von aussen Anregungen, beispielsweise durch strukturierte Aufgaben, die Muster oder Gesetzmässigkeiten entdecken lassen, nicht aber vorgegebene Anleitungen oder normierte Verfahren. Um zu verstehen, müssen sie selber Entdeckungen und auch Fehler machen. Kinder lernen, wenn sie sich mit bedeutsamen Aufgaben auseinandersetzen können, indem sie vom Ganzen zu den einzelnen Teilen fortschreiten. Der Einbezug von Alltagserfahrungen und spannenden Sachthemen ermöglicht ganzheitliche Zugänge. Ein wichtiger Aspekt ist auch das von- und miteinander Lernen und der gemeinsame, kommunikative Austausch (vgl. ebd., 3-4).

Wird das entdeckende Lernen als Leitprinzip verstanden, erstreckt es sich als Gesamtkonzept auf den (Mathematik-)Unterricht und zwar bezüglich Lernzielen, Lerninhalten und Lernprozessen. Entdeckendes Lernen ist folglich nicht einfach als Methode des Lernens zu verstehen. Bereits die Zielvorstellungen richten sich auf die Inhalte und Lernweisen aus. Eine wichtige Zielsetzung ist beispielsweise der Erwerb von Fertigkeiten und Kenntnissen. Folgendes Beispiel zeigt, wie ganzheitlich das in diesem Sinn abläuft: Das Lösen einer Sachaufgabe verlangt zuerst das Verstehen der Situation. Da das Verstehen ein aktiver, entwerfender Vorgang ist, verlangt es Phasen des Suchens, die wiederum abrufbare Fertigkeiten erfordern. Diese werden aufgebaut, bis sie automatisiert abgerufen werden können. Das schafft Vertrauen in das eigene Können, führt zu Erfolgserlebnissen und spornt zu weiteren Anstrengungen an. Neben der hohen kognitiven und motivationalen Bedeutung sind sie gleichzeitig wieder Voraussetzung für das Problemlösen (vgl. Winter, 1994, 14-15).

In den folgenden Kapiteln wird das didaktische Prinzip des aktiv-entdeckenden Lernens aufgrund des didaktischen Dreiecks, welches die Beziehung zwischen Sache/Stoff, Lehrperson und Schülerin/Schüler aufzeigt, vertiefter vorgestellt (vgl. Anhang, Kap. 7.1).

3.1.1 Fachorientierung – Fundamentale Ideen

Die fachliche Ausrichtung bezieht sich auf Lerninhalte und die Entwicklung von Wissen und Erkenntnis (vgl. Krauthausen & Scherer, 2004, 123). Damit dem konstruktivistischen Lehr- und Lernverständnis Rechnung getragen wird, verlangt dies einen schülerinnen- und schülerorientierten Unterricht und insbesondere eine inhaltliche Öffnung. Nur so gibt es genügend Raum für Eigenaktivitäten sowie Raum für die Berücksichtigung der Heterogenität (vgl. ebd., 251).

⇒ Fundamentale Ideen

Die Konzentration auf die sogenannten fundamentalen Ideen steckt den Rahmen des Fachs ab, bietet jedoch innerhalb dieses Rahmens genügend Offenheit, um den Kindern lebendige Begegnungen mit dem Lernstoff zu ermöglichen und an den Erfahrungen der Kinder anzuknüpfen (vgl. ebd.). Die Passung zu finden zwischen dem Entwicklungsstand des Kindes und den Strukturen des Fachs, gehört zu der Grundaufgabe des Mathematikunterrichts. Die fundamentalen Ideen richten sich nach dem Motto „weniger ist mehr“, dafür werden sie als unverzichtbares Gerüst besonders gründlich erarbeitet (vgl. ebd., 124). Winter (1994, 35-37) betont, dass die Lerninhalte gleichermassen anwendungs- und strukturorientiert sind. Die Anwendungsorientierung bezeichnet die didaktische Absicht, mathematische Sachverhalte mit der Lebenswirklichkeit der Schülerinnen und Schüler in Zusammenhang zu bringen. Die Strukturorientierung macht allgemeine Muster, Regelmässigkeiten und Gesetzmässigkeiten erfahrbar, die entdeckt und beschrieben werden.

⇒ Spiralprinzip

Dank dem Spiralprinzip werden die fundamentalen Ideen in späteren Jahrgangsstufen auf einem höheren Niveau erneut aufgegriffen und in einer strukturell angereicherten Form weiterbearbeitet. Die Lerninhalte werden dadurch immer umfassender und integrieren zunehmend mehr Ideen, Erkenntnisse, Fertigkeiten, Fähigkeiten und Konzepte (vgl. ebd., 128). Wittmann & Müller (2007, 11-13) haben für das Zahlenbuch diese fundamentalen Ideen explizit herausgearbeitet. Die Grundideen der Arithmetik und der Geometrie, sowie die Grundideen von Grössen und Sachrechnen beziehen sich jeweils aufeinander. Sie lassen sich von der Grundschule bis auf die Sekundarstufe I gemäss dem Spiralprinzip weiterentwickeln, ab der Sekundarstufe setzen sie sich mit den Grundideen der Algebra fort. Als exemplarisches Beispiel für die Grundidee „Zahlreihe“ erfolgt der Aufbau von der Zwanzigerreihe, Hunderterreihe, Tausenderstrahl bis zum Zahlenstrahl. Da die eigenaktive, handelnde Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt

viel Zeit beansprucht, ist es wesentlich, sich auf die Grundideen der Arithmetik und Geometrie zu beschränken, diese dafür vertieft zu bearbeiten (vgl. ebd., 4).

⇒ **Auswahl grundlegender Darstellungsweisen**

Genauso wie die fundamentalen Ideen beschränkt sich der Einsatz von Arbeitsmitteln und Veranschaulichungen auf einige wenige Materialien, welche die mathematischen Grundideen am besten verkörpern. Aus diesem Grund können sie durchgehend benutzt werden. Ein ständiger Gebrauch führt dazu, dass Zahldarstellungen in Zahlvorstellungen übergehen. Das bildet die Grundlage für denkendes Rechnen (vgl. ebd., 17). Entscheidend ist, dass die Arbeitsmittel nicht nur als Darstellungsmittel oder Veranschaulichung eingesetzt werden, sondern in erster Linie den Kindern als Werkzeuge dienen, damit sie durch eigenes Handeln, durch Konstruieren und Rekonstruieren, mathematisches Verstehen erlangen (vgl. Krauthausen & Scherer, 2004, 212-213). Für das aktive, handelnde Tun über die Bewegung erhalten die Arbeitsmittel einen hohen Stellenwert in dieser Arbeit. Daher widmet sich das Kapitel 3.2.3 eingehend diesem Thema.

3.1.2 Rolle und organisatorischer Auftrag der Lehrpersonen

Eine weitere Ecke des didaktischen Dreiecks ist die Lehrperson. Es geht um den organisatorischen Auftrag, den Schülerinnen und Schülern die fundamentalen Ideen zu vermitteln. Die ganzheitliche Behandlung der Rahmenthemen ist dabei zentral.

⇒ **Organisation (inter-)aktiven, ganzheitlichen Lernens**

Der ganzheitliche Zugang unterscheidet sich von der kleinschrittigen Vorgehensweise, bei welcher der Stoff in kleine Portionen zerlegt und meist nach vorgegebenen Musterlösungen erklärt und eingeübt wird. Die Aufgaben sind dabei in der Regel voneinander isoliert und zusammenhangslos aneinandergereiht. Erst wenn der Stoff bei allen Kindern „sitzt“, wird weitergegangen. Die ganzheitliche Behandlung erfordert von den Lehrpersonen anfangs Mut und Überwindung, wenn bei einigen Kindern noch anscheinende Lücken festgestellt werden. Doch Kinder lernen in Ganzheiten leichter, da sie sich ein Bild über den ganzen Lernprozess machen und sich darin orientieren können (vgl. Wittmann, 1994, 159). Das entdeckende Lernen erfordert einen ganzheitlichen Zugang. Nur so trägt es dem Spiralprinzip Rechnung sowie dem genetischen Prinzip, welches ein Höchstmass an Eigentätigkeit der Lernenden verlangt, damit sich Einsichten und Erkenntnisse entwickeln können (vgl. Winter, 1994, 16). Es geht dabei auch um ein neues Verständnis fürs Üben. Lernen und Üben werden zu einem integralen Bestandteil des Lernprozesses und zwar in allen Phasen des Lernens. Ein Stufenmodell mit folgen-

den vier Phasen dient der Vorbereitung und Strukturierung des Unterrichts (vgl. ebd., 17). Auch Krauthausen & Scherer (2004, 112) lehnen sich an Winters Lernphasen:

1. Angebot einer herausfordernden Situation. Schülerinnen und Schüler sollen zum Beobachten, Fragen, Vermuten und Erkunden ermuntert werden. Daraus entwickelt sich eine Problemstellung.
2. Die Problemstellung wird rekonstruiert oder nachgebaut. Mögliche Lösungsansätze werden entworfen, dabei entwickeln sich neue Begriffsbildungen oder Verfahren. Wenn nötig werden Hilfen zum Selbstfinden angeboten.
3. Ergebnisse werden so deutlich wie möglich herausgestellt und formuliert. Zusammenhänge werden operativ durchgearbeitet und vielfältig in Beziehung gesetzt. Der neue Inhalt wird so in das vorhandene System integriert und im Gedächtnis verankert. Wichtig ist hier auch die Anregung zum Üben.
4. Bewertender Rückblick auf den Lösungsfindungsprozess und auf die Lösung selber. Diese Gedanken auf neue Situationen transferieren.

In jeder dieser Phase sind Anteile von Übung, beziehungsweise Wiederholung vorhanden. Dadurch erhält das Üben eine viel umfassendere Aufgabe und Funktion als nur das Trainieren von Fertigkeiten. Winter (1994, 31) sieht im Üben das Beobachten, Erkunden, Fragen, aber auch das Durchmustern, Umordnen und Neuordnen von Gedächtnisinhalten, was einer intensiven Wiederholung gleichkommt, die für das Automatisieren unabdingbar ist.

⇒ Zone der nächsten Entwicklung

Dieses Prinzip geht auf Wygotski (1987, 83) zurück, der die Zone der nächsten Entwicklung als das Gebiet der noch nicht ausgereiften, jedoch reifenden Prozesse definiert. Diese Zone, in welcher das Kind Möglichkeiten hat, Leistungen in Zusammenarbeit zu erbringen, die es schon bald alleine zu leisten vermag, gilt es zu erkunden. In der Zone der aktuellen Entwicklung ist das Kind selbständig fähig, eine Aufgabe zu bewältigen, der Lernzuwachs bleibt hingegen geringer. Da ganzheitliche Themen zu Grenzüberschreitungen verlocken, was absolut erwünscht ist, wird die Zone der nächsten Entwicklung hier bedeutsam (vgl. Wittmann & Müller, 2007, 14-15). Hier spielt auch der Faktor der Tüchtigkeit mit, wie dies in Kapitel 2.4.5 erklärt wird.

⇒ Interaktiver Zugang zu Darstellungsweisen

Wenn Mathematik als konstruktiver, entdeckender Prozess verstanden wird, wirkt sich das auf die Rolle der Lehrperson aus. Ihre Hauptaufgabe besteht darin,

„...herausfordernde Situationen anzubieten, ergiebige Arbeitsmittel bereitzustellen, kreative Übungsformen vorzuschlagen und vor allem, eine Kommunikation aufzubauen, die dem Lernen aller Kinder förderlich ist“ (ebd., 17). Um diese hohen Ansprüche an einen selbstgesteuerten, problemlösenden und kooperativen Mathematikunterricht zu erfüllen, rücken weitere Aspekte des entdeckenden Lernens in den Vordergrund. Um den Kindern überhaupt individuelle Wege zu ermöglichen, setzt dies zum einen hinreichende fachliche Kompetenzen der Lehrpersonen voraus, im Sinne einer eigenen Durchdringung der Problemstellungen, sowie einen konstruktiven Umgang mit Fehlern (vgl. Krauthausen & Scherer, 2004, 209). Zum anderen sind das soziale Lernen und die Auseinandersetzung mit anderen Schülerinnen und Schülern Voraussetzung, dass individuelles Wissen erzeugt werden kann (vgl. Hollenstein, 1997, 245). Mathematisch komplexe und gehaltvolle Lernumgebungen verlangen nach Kommunikation (vgl. Krauthausen & Scherer, 2004, 152). Soziales Lernen ist stets ein Übungsfeld für den Erwerb sozialer Kompetenzen, es ist wechselseitig mit kognitiven Leistungen verbunden und stärkt das Selbstbewusstsein (vgl. ebd., 154). Im Weiteren ist zu bedenken, dass Arbeitsmittel nicht einfach für sich sprechen. Für Kinder ist es oft nicht möglich, konkrete und visuelle Darstellungsformen direkt zu verstehen. Daher erfordern die Darstellungsweisen einen interaktiven Zugang, indem sie gemeinsam erforscht werden (vgl. ebd., 131). Darauf geht Kapitel 3.2.2 noch ausführlicher ein.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass es zum organisatorischen Auftrag der Lehrperson gehört, den Schülerinnen und Schülern ganzheitliche Themenbereiche anzubieten, die sie in aktiv-entdeckendem und sozialem Lernen erarbeiten. Dahinter stehen ganz klar persönliche Einstellungen und Haltungen von Lernenden und Lehrenden, dass eine Umsetzung erfolgreich gelingen kann (vgl. ebd. 159-160).

3.1.3 Individuelle Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler

Im didaktischen Dreieck bleibt noch die Sicht des psychologischen Aspekts, welcher die Sicht aus der Perspektive des Kindes beinhaltet.

⇒ Orientierung am Vorwissen

Kinder lernen besonders erfolgreich, wenn sich die Lerninhalte an ihrem Vorwissen orientieren. Für jede Art von Lernprozess sind individuelle Vorerfahrungen, Denkweisen und Leistungsstände wesentlich, die es durch Standortbestimmungen zu ergründen gilt. Lernen ist aus konstruktivistischer Sicht immer ein Anknüpfen an bereits erworbenem Vorwissen (vgl. Krauthausen & Scherer, 2004, 165). Hier setzt das Prinzip der natürli-

chen Differenzierung an, welches die Heterogenität in Lerngruppen als normal anerkennt.

⇒ **Natürliche Differenzierung**

Natürliche Differenzierung heisst, dass Schülerinnen und Schüler nicht neben-, sondern miteinander am gleichen Gegenstand, aber auf verschiedenen Stufen lernen. Dafür bieten sich Aufgabenformate oder Lernumgebungen an, die eine gewisse Komplexität sowie auch Fragestellungen auf unterschiedlichen Niveaus beinhalten. Dem Kind wird so der Bearbeitungslevel freigestellt. Es wählt selbstverantwortend den Schwierigkeitsgrad, die Hilfsmittel und die Darstellungsweisen. Es sucht sich den Lösungsweg und allenfalls je nach Aufgabe auch eine angemessene Problemstellung (vgl. ebd., 198-200). Das soziale Lernen nimmt einen hohen Stellenwert ein, denn im gemeinsamen Austausch werden unterschiedliche Zugangsweisen und Bearbeitungen vorgestellt, verglichen, umgearbeitet oder vertieft. Durch die Konfrontation mit alternativen Denkweisen und anderen Techniken gibt es kognitive Spielräume und Erfahrungen von Autonomie, die zusätzlich zu Motivation und Interesse beitragen (vgl. Neubrand & Neubrand, 1999, 155). Es gilt zu beachten, dass nicht vorschnell auf eine konventionelle, vorgegebene Endform des Lerngegenstandes verwiesen wird, die zwar letztendlich angestrebt, jedoch ausgehend von den eigenen Methoden und Strategien der Kinder her erworben werden soll. Fehlerhafte Zugänge werden als Ausgangspunkt für das Weiterlernen aufgegriffen (vgl. Krauthausen & Scherer, 2004, 126-127).

⇒ **Fortschreitende Schematisierung**

Durch eine fortschreitende Schematisierung wird ein Weg gesucht, der zunächst in Form von eigenen, spontanen, vielleicht auch umständlichen, sogenannten singulären Methoden beginnt. Im wechselseitigen Austausch lernen die Kinder weitere Lösungswege kennen und finden durch den Vergleich und durch veränderte Strategien zu ökonomischeren Rechenwegen und Notationen, bis sie die konventionellen, regulären Verfahren nutzen können. Das Prinzip der fortschreitenden Schematisierung eröffnet dem sozialen Lernen daher ebenfalls Chancen (vgl. ebd, 134).

3.2 Das operative Unterrichtsprinzip der Mathematikdidaktik

Das operative Unterrichtsprinzip schliesst alle Bereiche des dargestellten didaktischen Dreiecks in Bezug auf entdeckendes Lernen ein, es steht folglich im Mittelpunkt. Krauthausen & Scherer (2004, 135-137) weisen auf den Ursprung der Theorie hin, die wiederum auf Piaget (1969) zurückgeht und von Aebli (1985) weiterentwickelt wurde. Im Zent-

rum stehen Handlungen an konkreten Objekten, die das Denken entwickeln. Es bedingt dafür ein ganzes System von Operationen, für welche verinnerlichte Handlungen, die vorstellungsmässig verfügbar sind, vorausgesetzt werden. Das operative Prinzip geht auf Wittmann (1985) zurück, und schliesst die drei Vorgänge „Objekte – Operationen – Wirkungen“ ein. Es geht um die Frage, wie ein Objekt erfasst werden kann, das heisst, wie es sich verhält, wenn Handlungen oder Operationen ausgeführt werden. Der Lernprozess erfordert dafür die folgenden drei Schritte:

1. Am Objekt untersuchen, welche Operationen möglich sind und wie sie miteinander verknüpft sind. *Beispiel: Ich sehe 4 Plättchen vor dem Spiegel, im Spiegel sehe ich ebenfalls 4 Plättchen und die Gesamtzahl aller Plättchen ist 8.*
2. Erforschen, welche Eigenschaften und Beziehungen den Objekten durch das Operieren aufgeprägt sind. *Beispiel: Was passiert, wenn ich den Spiegel verschiebe oder versetze?*
3. Beobachten, welche Wirkungen die Operationen auf die Eigenschaften oder Beziehungen der Objekte haben. *Beispiel: Wie verändert sich die Anzahl Plättchen?*

„Zentral ist also der Zusammenhang zwischen möglichen Handlungen (Operationen), die auf gegebene Objekte angewandt werden, und den daraus resultierenden Wirkungen“ (Krauthausen & Scherer, 2004, 138). Um das operative Prinzip besser zu verstehen, gilt es vorerst, sich einen klaren Überblick zu verschaffen, was genau unter Handlungen und Operationen zu verstehen ist.

3.2.1 Von der Handlung zur Operation bis zum Begriff

Eine Handlung geht einer Operation vor und steht gleichzeitig in engem Zusammenhang mit der Operation. Daher wird zuerst erläutert, was die Handlung beinhaltet, danach werden die Beziehungen zur Operation erklärt. Nach Aebli (2011, 182) hat eine **Handlung** eine innere Ordnung. Sie richtet sich immer auf ein Ziel aus und erzeugt als Resultat ein fassbares Ergebnis. Sie ist daher nicht mit planlosem, reflexartigem oder emotionsgesteuertem Tun zu verwechseln (vgl. ebd., 185-186). Einzelne Handlungselemente werden mit dem Begriff „Handlungsschemata“ bezeichnet. Ein Handlungsschemata ist nichts anderes als Handlungswissen, welches als Handlungsgedächtnis abgespeichert ist. Wenn man in neuen Situationen handelt, greift man auf die Handlungsschemata zurück und entwirft Schritt für Schritt einen Handlungsablauf, den man als Handlungsfolge bezeichnet. Die Handlungsplanung bezieht sich dabei immer auf das Ziel. Sie kann sich als effektive Handlung oder auch nur als Handlungsvorstellung

zu einem Handlungsschema entwickeln (vgl. ebd., 190). Damit sich neue Handlungsschemata bilden, müssen sie verinnerlicht werden, das heisst, eine Tätigkeit muss auch in der Vorstellung ausgeführt werden können. Bereits eine sprachliche Aussage stützt sich auf die Vorstellung (vgl. ebd., 200). Zwischen effektiven und innerlichen Handlungen besteht eine enge Beziehung, wie dies aus Kapitel 2.2.6 bekannt ist. Auch das folgende Kapitel 3.2.2 befasst sich mit diesem zentralen Prozess der Verinnerlichung, der ebenfalls für die Operationen eine wichtige Rolle spielt.

Operationen beziehen sich auf mathematisches Denken. Aebli (2011, 203-205) führt den Begriff auf Piaget (1941) zurück und bezeichnet Operationen als abstrakte Handlungen: Operationen vollziehen am Handlungsschema einen Abstraktionsprozess. Einerseits führt das zu einem Verlust an Konkretheit, doch andererseits ist es ein Gewinn an Übersicht, da der Handlungsablauf transparent wird. Handlungen werden dann zu Operationen, wenn sich die handelnde Person den innewohnenden logischen Strukturen bewusst ist. Folglich steckt in jeder überlegten Handlung eine Operation. Damit die Beziehungen, die zwischen den Handlungsstrukturen bestehen, klarer ersichtlich werden, wird die Wirklichkeit in Form von Zeichensystemen abgebildet oder eben abstrahiert. Mit Zeichen lässt es sich ähnlich wie mit wirklichen Objekten verfahren, doch sie verlangen deutlich weniger Aufmerksamkeit als praktische Handlungen. Der Aufbau einer Operation ist vergleichbar mit jenem der Handlung, doch das Ziel ist unterschiedlich. Während das Handlungsziel ein praktischer Effekt ist, steht bei der Operation die Erkenntnis im Vordergrund, als vereinfachte Sicht einer komplexen Situation. Mit anderen Worten geht es um die Einsicht in Zusammenhänge und Beziehungen, die eine Operation in sich hat (vgl. Aebli, 2011, 207-209). Neue Operationen lassen sich nur aus bereits bekannten Operationen aufbauen (vgl. ebd., 214). Um mathematische Problemstellungen zu lösen, sind häufig Ketten von Operationen nötig. Damit genügend Aufmerksamkeit und Kapazität für das Denken und das Gedächtnis bleibt, müssen Operationen automatisiert sein. Die Automatisierung ist auch für den Erwerb von komplexeren Operationen Voraussetzung, da elementare Denkopoperationen erforderlich sind. Hier verbirgt sich die Gefahr, dass Automatismen ohne Einsicht oder Verstehen ablaufen, wenn nur auswendig gelernte Formeln abgerufen werden (vgl. ebd., 224-227). Um dies zu verhindern, muss eine Operation schrittweise verinnerlicht werden. Die Phase des Erforschens ist hier bereits abgeschlossen. Die neue Operation muss nun nach allen Möglichkeiten durchlaufen und unter wechselnden Bedingungen wiederholt durchgear-

beitet und vertieft werden. So bleibt sie beweglich und unter gewissen Umständen auch umkehrbar, wie zum Beispiel eine Multiplikationsaufgabe (vgl. ebd., 235).

Der **Begriff** „Multiplikation“ ist letztendlich die gedankliche Spitze, hinter der ein ganzes Beziehungsgefüge enthalten ist. Ein Begriff muss daher gut vernetzt aufgebaut werden, damit er dieses Beziehungsgefüge beinhaltet (vgl. ebd., 261). Begriffe können sich nur in Verbindung mit den Erfahrungen aus Handlungen und der Sprache bilden. Das Kind lernt über die Bewegung und Wahrnehmung die Beschaffenheit und die Eigenschaften von Dingen kennen und gewinnt dadurch eine innere Repräsentation, die es mit dem Begriff verbindet (vgl. Zimmer, 2006, 82-83). Für die Verinnerlichung sind somit zunehmend symbolisch werdende Darstellungsmittel wesentlich. Damit befasst sich das nächste Kapitel.

3.2.2 Enaktive, ikonische und symbolische Darstellungen

Mathematisches Lernen bewegt sich stets in verschiedenen Bereichen zwischen konkretem Handeln und abstraktem Denken. Nur so ist es möglich, aus Alltagssituationen mathematische Problemlösungen zu finden, Lösungswege zu entwickeln und mit Hilfe von mathematischem Wissen Lösungen zu ermitteln und zu interpretieren. Durch eine Handlung alleine entsteht noch keine Erfahrung. Es braucht passende Bilder und Symbole, die sich als Erinnerung in Form einer Vorstellung von Aussehen, von Geschmack, Geruch oder Konsistenz und auch von innerer Sprache als Handlungsablauf verinnerlicht haben. Erfahrung ist folglich die Verbindung von Handlung und verinnerlichter Handlung, von Bildern und deren Vorstellung und von Symbolen und verinnerlichten Symbolen (vgl. Jost et al., 1992, 16-17). Die Bedeutung des interaktiven Zugangs zu verschiedenen Darstellungsweisen (vgl. Kap. 3.1.2) tritt hier in den Vordergrund, denn Handlungen müssen immer wieder mit bildlichen und symbolischen Darstellungen und vor allem auch mit sprachlicher Begleitung in Verbindung stehen. Nur so können sie wirklich verstanden und bewusst werden.

Die Sprache leistet wertvolle Dienste, einerseits den Weg zur Abstraktion zu unterstützen und andererseits Übersetzungsprozesse zwischen Konkretem und Abstraktem anzuregen. Die Sprache schafft dabei die Verbindung zwischen Handlungen und Symbolen. Eine wichtige Funktion kommt ihr zu, wenn sie Handlungen mit Materialien beschreibt, die nicht real vorhanden sind, jedoch in der Vorstellung verankert sind (vgl. Scherer & Moser Opitz, 2010, 86).

Entdeckendes Lernen sowie soziales und kooperatives Lernen gehören untrennbar zusammen. Auch wenn Entdeckungen individuell stattfinden, so brauchen sie zwingend

den Austausch mit einem Publikum. So werden Produkte mündlich und auch schriftlich in Form von Skizzen, Texten, Tabellen usw. dargestellt, verglichen und beschrieben. Prozesse und Ideen werden kommentiert, argumentiert und begutachtet (vgl. Krauthausen, 2003, 138). Krauthausen & Scherer (2004, 220-221) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass im Umgang mit Arbeitsmitteln mehrdeutige Interpretationen möglich sind. Diesen soll mit Offenheit begegnet werden, indem sie zugelassen, ja sogar aufgesucht und erkundet werden, um verschiedene Beziehungen zu finden und zu nutzen. Die Kreativität der Kinder darf in diesem Sinne produktiv für das Lernen genutzt werden.

Die Repräsentationsebenen „Handlung“ (enaktiv), „Bild“ (ikonisch) und „Zeichen“ (symbolisch), die auf Bruner (1964) zurückgehen, dürfen keinesfalls als hierarchische Ebenen verstanden werden, die in einer festgelegten Reihenfolge erarbeitet werden müssen. Wesentlich ist, dass immer wieder Übersetzungsprozesse zwischen allen Ebenen stattfinden. Es gilt, dass ganz bewusst umgekehrte Transferleistungen, zum Beispiel zu einem Bild eine Rechengeschichte erzählen oder zu einer Gleichung Handlungen mit Material durchführen, gefordert werden (vgl. Scherer & Moser Opitz, 2010, 86-87; Schipper, 2003, 225-226). Bei bildlichen und symbolischen Darstellungen legen Wittmann & Müller (2007, 17) Wert auf grundlegende Strukturen, die eine weiterführende Bedeutung haben. Dazu gehören Tabellen, Listen, Baum- und Flussdiagramme, mit denen sich Daten ordnen lassen. Sie sind in verschiedenen Anwendungsgebieten immer wieder einsetzbar.

Jost et al. (1992, 18-20) stellen mit dem Tipi-Modell (vgl. Anhang Kap. 7.2) die Verbindungen dar, die sich zwischen dem Boden der Alltagserfahrungen, dem konkreten und dem semi-abstrakten Bereich zunehmend in den Bereich der Abstraktion erstrecken, bis hin zu Plan, Idee und Modell im Bereich der Einfälle. Die Bereiche sind stets mit den Ebenen Handlung – Bild – Symbol wechselseitig verknüpft. Darin wird ersichtlich, wie ein Kind sich in vielfältigen Räumen zwischen Welterfahrungen und abstraktem, mathematischen Denken, welches der Ort für Erwartungen, Erkenntnisse und Einsichten ist, bewegen kann. Wenn das Tipi-Modell als mathematisches Klettergerüst verstanden wird, das den Kindern ein Angebot macht, gemeinsam persönliche Entdeckungen zu machen und von da aus zu allgemeinen Regeln aufzubrechen, kann der Heterogenität, der natürlichen Differenzierung und dem interaktiven und kooperativen Lernen kaum mehr etwas im Wege stehen (vgl. ebd., 26-27).

3.2.3 Auswahl grundlegender Arbeitsmittel und Darstellungsweisen

Im Sinne einer Begriffsklärung wird hier bewusst der Begriff „Arbeitsmittel“ verwendet. Krauthausen & Scherer (2004, 213-214) verstehen darunter konkretes, handgreifliches Material, welches unterschiedlich eingesetzt werden kann. In erster Linie gehört es sicher in die Hände der Schülerinnen und Schüler, die es selbständig und zunehmend sachgerecht nutzen sollen. Das Arbeitsmittel schliesst die Veranschaulichung und die Anschauung mit ein, wenn die Lehrperson das Material für Demonstrationszwecke einsetzt. Die Anschauung ist mehrdeutig zu verstehen, denn mit dem blossen Betrachten ist keinesfalls gewährleistet, dass ein Kind sich durch einen aktiven kognitiven Vorgang ein Verständnis für die arithmetische Struktur verschafft. Lorenz (1998, 56) betont, dass die mentalen Bilder und visuellen Repräsentationen bei jedem Kind anders sind, da sie durch aktive Konstruktionsprozesse entstehen. Die visuellen Repräsentationen spiegeln nicht die Wirklichkeit, sondern sie sind die bildhafte Form des eigenen Wissens über das Objekt oder den Sachverhalt, die aus Handlungserfahrungen gewonnen werden. In der Regel sind es eher vage und unscharfe Abstraktionen, doch sie beinhalten jene Strukturen, die nötig sind, damit sie auf neue Situationen angewendet werden können. Sie stellen eine Zwischenstufe zu den abstrakten kognitiven Strukturen dar. In Bezug auf den Einsatz von Arbeitsmitteln bedeutet das, dass diese in erster Linie die mathematischen Beziehungen vermitteln müssen, damit sich Vorstellungsbilder aufbauen, die auf ähnliche, strukturverwandte Aufgaben übertragbar sind (vgl. ebd., 47). Es geht darum, dass die Arbeitsmittel die angestrebten mathematischen Strukturen und Verfahren in sich enthalten, damit die Kinder durch bewusstes und vorstellungsorientiertes Handeln diese entdecken und verinnerlichen können. Nur so können sich aus dem Handeln mit Materialien mentale Operationen entwickeln, die das Lösen einer Rechnung im Kopf ermöglichen, ohne dass sie auswendig gelernt sind (vgl. Schipper, 2003, 223).

Arbeitsmittel sollten eine gewisse Merkmalsarmut aufweisen, damit sie in Form von symbolischen Repräsentationen direkt auf die mathematischen Beziehungen hinweisen, die sie enthalten. Wenn sie zu konkret erscheinen, mögen sie sicher ansprechend aussehen, doch sie wirken ablenkend und verunmöglichen einen direkten, einfachen Zugang zur Struktur (vgl. Krauthausen & Scherer, 2004, 217-219). Wendeplättchen erfüllen laut Wittmann (1994, 44) in idealer Weise eine „Doppelnatur“. Auf der einen Seite repräsentieren sie durch ihre Einfachheit alle möglichen Dinge wie Personen, Tiere oder Gegenstände, so sind sie konkret. Auf der anderen Seite vermitteln sie durch ihre Abstraktheit direkt zwischen der Realität und der mathematischen Theorie. Krauthausen &

Scherer (2004, 220) betonen, dass Arbeitsmittel mit einer solchen Doppelfunktion, einen epistemologischen, erkenntnisgewinnenden Charakter haben. Sie ermöglichen den Kindern, selber zu erleben, wie mathematisches Wissen entsteht.

Arbeitsmittel haben drei zentrale Funktionen (vgl. ebd., 227-228):

1. Sie sind Mittel zur Zahldarstellung in Form von konkreten Materialien und ikonischen Darstellungen.
2. Sie sind Mittel zum Rechnen, indem sie Rechenoperationen veranschaulichen. Sie lassen unterschiedliche Zugänge und Lösungswege offen.
3. Sie sind Argumentations- und Beweismittel.

Der dritte Punkt wird in der Regel kaum wahrgenommen, obwohl er für die mündliche und schriftliche Ausdrucksfähigkeit und für das Entdecken von Gesetzmässigkeiten und Mustern viel Potenzial beinhaltet (vgl. Kap. 3.2.2). Schipper (2003, 225) legt Wert darauf, dass die Kinder ihre Vorgehensweisen aufgrund ihrer Handlungen am Arbeitsmaterial verbal erklären und begründen. Durch die Versprachlichung wird die Handlung bewusster. Die Arbeitsmittel erhalten folglich die Funktion, das sprachliche Begleiten der Handlung und das Argumentieren zu unterstützen. Der Nutzen solcher Arbeitsmittel gilt also nicht nur für lernschwache Kinder. Es steht jedoch in der Verantwortung der Lehrperson, dass sie durch einen offenen Einsatz von richtig ausgewählten Arbeitsmitteln bei den Schülerinnen und Schülern eine positive Einstellung erreicht, indem sie den Gebrauch selber modelliert. Scherer & Moser Opitz (2010, 83-86) betonen in Bezug auf weitere Autorinnen und Autoren, dass Kinder darauf angewiesen sind, ausreichende Erfahrungen mit Arbeitsmitteln zu machen, damit sich tragfähige Beziehungen aufbauen. Das erfordert, insbesondere bei lernschwachen Kindern, viel Zeit und Geduld. Arbeitsmittel erklären sich nicht automatisch selbst, auch wenn sie schlicht und sachstrukturiert sind. Sie stellen zusätzlichen Lernstoff dar. Sie müssen sparsam und didaktisch überlegt ausgewählt werden. Umgekehrt ist der Einsatz von Arbeitsmitteln dann sinnvoll, wenn der Fokus auch auf die Ablösung des Materials gelegt wird, sobald es dem Kind möglich wird, mental zu operieren. Wittmann & Müller (2007, 17) betonen, dass sich die Auswahl der Arbeitsmittel im Zahlenbuch auf diejenigen Materialien beschränkt, welche die mathematischen Grundideen am besten verkörpern. Sie können auf den verschiedenen Schulstufen genutzt werden, da sich die Grundideen im Spiralprinzip durch den gesamten Unterricht ziehen. „Der ständige Gebrauch schafft die besten Voraussetzungen dafür, dass Zahldarstellungen in Zahlvorstellungen übergehen und eine Grundlage für denkendes Rechnen bilden“ (ebd., 17).

3.3 Bedeutung des aktiv-entdeckenden Lernens für die Unterrichtsorganisation

Aus dem vorausgehenden Kapitel 3 verdeutlicht sich, dass bei der Unterrichtsplanung einige zentrale Bedingungen berücksichtigt werden müssen, damit der Unterricht gewährleistet, dass die Kinder aus konstruktivistischer Perspektive aktiv und eigenständig lernen. Das operative Prinzip (vgl. Kap. 3.2) verlangt, bewusste Handlungen an konkreten Objekten zu erfahren und durchzuführen, diese als Operationen in abstrakter Form zu verinnerlichen, woraus sich das mathematische Denken entwickelt. Ausgehend von der Grundlage des didaktischen Dreiecks legen die Kapitel 3.1.1 bis 3.1.3 die Voraussetzungen dar, die ein aktiv-entdeckender Unterricht erfüllen muss. Bühler-Garcia (2013, 95) beschreibt die Beziehungssphären innerhalb des didaktischen Dreiecks aus dialogischer Perspektive. Er weist auf das filigrane Zusammenspiel hin, wenn beispielsweise das Kind sich im Dialog mit dem Unterrichtsgegenstand befindet, dessen Beziehung sich ansprechend oder auch anspruchsvoll gestalten kann. Genauso entscheidend sind die Beziehungen zwischen der Lehrperson und dem Thema sowie die Beziehung zwischen Kind und Lehrperson, die sich oft in unscheinbaren Zeichen, Gesten und Worten als innere und äussere Prozesse und Interaktionen auf das Lernen auswirken. In einer dialogisch gestalteten Unterrichtssituation entwickeln sich die Lehr- und Lernprozesse in einem Wechselspiel, indem Lehrpersonen zu Lernenden werden, die versuchen, das Kind in seinem Denken und Erleben zu verstehen. Umgekehrt wird das Kind zu einer lehrenden Person, wenn es seine Handlungen und Gedanken mitteilt oder anderen Kindern Erklärungen anbietet (vgl. ebd., 97). Der Autor geht sogar noch einen Schritt weiter, indem er das didaktische Dreieck zu einem Viereck erweitert, da er in der Gruppe ein grosses Potenzial zum Lernen sieht. Das Denken jedes einzelnen Kindes auf unterschiedlichem Anspruchsniveau bereichert den Lehr- und Lernprozess und wird gleichzeitig zu einem sozialen Prozess der Gemeinschaftsorientierung. Ein Kind lernt das selbständige Denken erst in der gemeinsamen Auseinandersetzung. Die Erweiterung zum didaktischen Viereck führt zu weiteren Beziehungssphären (Gruppe-Kind, Gruppe-Thema und Gruppe-Lehrperson), die Ressourcen und Chancen für das Lehren und Lernen bieten (vgl. ebd., 143-145). Auch Hollenstein (1997, 245) versteht Lernen im Sinne des sozialen Konstruktivismus, bei dem der Weg zu individuellem Lernen über kooperatives Lernen führt. Diese Gedanken führen zur entwicklungslogischen Didaktik von Feuser (2011, 93-95), welche dialogische, interaktive und kommunikative Prozesse auf der Basis der momentanen Wahrnehmungs-, Denk- und Handlungskompetenz erfordert. Dies geschieht in einer gegenstandsbezogenen Kooperation, dem

Lernen am „Gemeinsamen Gegenstand“. Gleichzeitig ist die Handlung bedeutend, da der Erkenntnisgewinn sich durch die handelnde Auseinandersetzung konstruiert und die Wirklichkeit der Welt subjektiv erfahrbar wird. Im Mittelpunkt steht die Tätigkeitsstruktur mit der „Zone der nächsten Entwicklung“ nach Wygotski (1987).

Schlussfolgernd gilt es, den Mathematikunterricht so zu planen, dass Lehr- und Lernprozesse die erläuterten Aspekte des didaktischen Dreiecks aus Kapitel 3.1 beinhalten und gleichzeitig die Ressourcen der Gruppe im sozialen Lernen ausschöpfen, wie dies insbesondere in den Kapiteln 3.1.2 und 3.1.3 betont wird. Aktiv-entdeckendes Lernen wird demzufolge mit sozialem Lernen gleichgesetzt (vgl. Krauthausen, 2003, 138; Krauthausen & Scherer, 2004, 152; Scherer & Moser Opitz, 2010, 10).

4 Beobachtungsinstrument für die Analyse der motorischen Aktivitäten im Mathematikunterricht

4.1 Bildung der Kategorien

4.2 Individuelle Voraussetzungen bei motorischen Aktivitäten

4.3 Beobachtungsinstrument in Form von zwei Formularen

4.3.1 Formular 1: Beobachtung der Unterrichtsplanung und -durchführung

4.3.2 Formular 2: Beobachtung der motorischen Aktivität eines Kindes

5 Reflexion

5.1 Darstellung der Ergebnisse

5.2 Interpretation auf dem Hintergrund der Zielsetzung

5.3 Konsequenzen für die Praxis

6 Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

Aebli, Hans (1985). Das operative Prinzip. *Mathematik lehren*, 3 (11), 4-6.

Aebli, Hans (2011). *Zwölf Grundformen des Lehrens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. Medien und Inhalte didaktischer Kommunikation, der Lernzyklus* (14. Aufl.). Stuttgart: Klett-Cotta.

Ayres, Anna Jean (1992). *Bausteine der kindlichen Entwicklung: Die Bedeutung der Integration der Sinne für die Entwicklung des Kindes* (2. Aufl.). Berlin: Springer.

- Baltes, Paul B. (1990). Entwicklungspsychologie der Lebensspanne: Theoretische Leitsätze. *Psychologische Rundschau*, 41 (1), 1-24.
- Baur, Jürgen; Bös, Klaus; Conzelmann, Achim & Singer, Roland (2009). Zur Konzeption des Handbuchs. In: Baur, Jürgen; Bös, Klaus & Singer, Roland (Hrsg.), *Motorische Entwicklung. Ein Handbuch* (2. Aufl.) (7-12). Schorndorf: Hofmann.
- Beigel, Dorothea (2009). *Flügel und Wurzeln. Persistierende Restreaktionen frühkindlicher Reflexe und ihre Auswirkungen auf Lernen und Verhalten* (4.Aufl.). Dortmund: Verlag modernes Lernen.
- Bertrand, Lucien (2002). Die Entwicklung des Raum- und Zeitverständnisses beim Kind. Theoretische Grundlagen. In: Eggert, Dietrich; Bertrand, Lucien (Hrsg.), *RZI – Raum-Zeit-Inventar der Entwicklung der räumlichen und zeitlichen Dimensionen bei Kindern im Vorschul- und Grundschulalter und deren Bedeutung für den Erwerb der Kulturtechniken Lesen, Schreiben und Rechnen* (59-105). Dortmund: Borgmann.
- Bielefeld, Jürgen (1991). Zur Begrifflichkeit und Strukturierung der Auseinandersetzung mit dem eigenen Körper. In: Bielefeld, Jürgen (Hrsg.), *Körpererfahrung. Grundlagen menschlichen Bewegungsverhaltens* (2. Aufl.) (3-35). Göttingen; Toronto; Zürich: Hogrefe.
- Bruner, Jerome Seymour (1964). The course of Cognitive Growth. *American Psychologist*, 19 (1), 1-15.
- Bucher, Walter; Ernst, Karl (2005). *Lehrmittel Sporterziehung. Band 1 Grundlagen*. Broschüre 1 (7. Aufl.). [on-line]. Eidgenössische Sportkommission ESK: Verfügbar unter:
http://www.mobilesport.ch/wp-content/uploads/2012/11/Band_1_Grundlagen.pdf
 [November 2012].
- Bühler-Garcia, Georg (2013). *Gemeinsam für Vielfalt. Briefe an eine Lehrerin* (2. korrig. Aufl.). Bern: Edition SZH/CSPS.
- Deeken, Tina (2002). Die Bedeutung der Raum-Zeit-Dimension für die Entwicklung und die Schulleistung bei lern- und entwicklungsgestörten Schülern. In: Eggert, Dietrich; Bertrand, Lucien (Hrsg.), *RZI – Raum-Zeit-Inventar der Entwicklung der räumlichen und zeitlichen Dimensionen bei Kindern im Vorschul- und Grundschulalter und deren Bedeutung für den Erwerb der Kulturtechniken Lesen, Schreiben und Rechnen* (117-177). Dortmund: Borgmann.

- DIMDI - Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information (2005). *ICF – Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit. Stand Oktober 2005.* [on-line]. Verfügbar unter: http://www.dimdi.de/dynamic/de/klassi/downloadcenter/icf/endung/icf_endfassung-2005-10-01.pdf [August 2008].
- Draganski, Bogdan; Thelen, Antonia (2012). Ontogenese und Plastizität des Gehirns. In: Schneider, Wolfgang; Lindenberger, Ulmann (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (7. Aufl.) (159-185). Weinheim; Basel: Beltz Verlag.
- Eggert, Dietrich (2002). Die Erfassung der Raum-Zeit-Entwicklung bei Kindern als entwicklungspsychologische Grundlage – ein Schritt zu einer systemischen Diagnostik in der Psychomotorik. In: Eggert, Dietrich; Bertrand, Lucien (Hrsg.), *RZI – Raum-Zeit-Inventar der Entwicklung der räumlichen und zeitlichen Dimensionen bei Kindern im Vorschul- und Grundschulalter und deren Bedeutung für den Erwerb der Kulturtechniken Lesen, Schreiben und Rechnen* (17-57). Dortmund: Borgmann.
- Eggert, Dietrich; Reichenbach, Christa & Bode, Sandra (2003). *Das Selbstkonzept Inventar (SKI) für Kinder im Vorschul- und Grundschulalter. Theorie und Möglichkeiten der Diagnostik.* Dortmund: Borgmann.
- Elsner, Birgit; Pauen, Sabina (2012). Vorgeburtliche Entwicklung und früheste Kindheit (0-2 Jahre). In: Schneider, Wolfgang; Lindenberger, Ulmann (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (7. Aufl.) (159-185). Weinheim; Basel: Beltz Verlag.
- Fassnacht, Gerhard (1995). *Systematische Verhaltensbeobachtung: Eine Einführung in die Methodologie und Praxis* (2. völlig neubearb. Aufl.). München; Basel: Ernst Reinhardt.
- Feuser, Georg (2011). Entwicklungslogische Didaktik. In: Kaiser, Astrid; Schmetz, Dittmar; Wachtel, Peter & Werner, Birgit (Hrsg.), *Didaktik und Unterricht* (86-100). Stuttgart: Kohlhammer.
- Fischer, Klaus (2004). *Lateralität und Literalität oder: Was haben links und rechts mit Schreiben, Lesen und Rechnen zu tun?* In: Zimmer, Renate; Hunger, Ina (Hrsg.), *Wahrnehmen – Bewegen – Lernen. Kindheit in Bewegung* (83-89). Schorndorf: Hofmann.
- Fischer, Klaus (2009). *Einführung in die Psychomotorik* (3. Aufl.). München: Ernst Reinhardt Verlag.

- Gibson, Eleanor Jack (1992). How to think about perceptual learning and development: Twenty-five years later. In : Pick Jr., Herbert L.; Van den Broek, Paulus & Knill, David C. (Eds.), *Cognition. Conceptual and methodological issues* (215-237). Washington D.C.: American Psychological Association.
- Goddard Blythe, Sally (2007). *Greifen und Be-Greifen. Wie Lernen und Verhalten mit frühkindlichen Reflexen zusammenhängen* (7. Aufl.). Kirchzarten bei Freiburg: VAK Verlag.
- Hannaford, Carla (2013). *Bewegung – das Tor zum Lernen* (8. Aufl.). Kirchzarten bei Freiburg: VAK Verlag.
- Hessisches Kultusministerium (2012). *Schnecke – Bildung braucht Gesundheit*. [online]. Verfügbar unter:
http://www.schuleundgesundheit.hessen.de/fileadmin/content/Medien/Ordner_S_G/Broschuere_Schnecke_2010_korr.pdf [März 2015].
- Hirtz, Peter (2007). Koordinative Fähigkeiten und Beweglichkeit. In: Meinel, Kurt; Schnabel, Günter (Hrsg.), *Bewegungslehre-Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11. überarb. u. erw. Ausg.) (212-242). Aachen: Meyer & Meyer.
- Högger, Dominique (2013). *Körper und Lernen. Mit Bewegung, Körperwahrnehmung und Raumorientierung das Lernen unterstützen*. Bern: Schulverlag plus AG.
- Hollenstein, Armin (1997). Kognitive Aspekte sozialen Lernens. In: Müller, Kurt Peter (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht. Vorträge auf der 31. Tagung für Didaktik der Mathematik vom 3. bis 7. März 1997 in Leipzig* (243-246). Hildesheim: Franzbecker.
- Hollenweger, Judith (2014). ICF als gemeinsame konzeptuelle Grundlage. In: Luder, Reto; Kunz, André & Bösch Müller, Cornelia (Hrsg.), *Inklusive Pädagogik und Didaktik* (30-54). Zürich: Publikationsstelle der PH Zürich.
- Hüther, Gerald (2006). Wie Embodiment neurobiologisch erklärt werden kann. In: Storch, Maja; Cantieni, Benita; Hüther, Gerald & Tschacher, Wolfgang (Hrsg.), *Embodiment. Die Wechselwirkung von Körper und Psyche verstehen und nutzen* (73-98). Bern: Verlag Hans Huber.
- Jost, Dominik; Erni Jakob & Schmassmann Margret (1992). *Mit Fehlern muss gerechnet werden. Mathematischer Lernprozess – Fehleranalyse – Beispiele und Übungen*. Zürich: Sabe.

- Krauthausen, Günter (1998). *Lernen – Lehren – Lehren lernen. Zur mathematikdidaktischen Lehrerbildung am Beispiel der Primarstufe*. Leipzig: Klett Grundschulverlag.
- Krauthausen, Günter (2003). Forschende Kinder und forschende Lehrer. Wechselseitiges Reflektieren über gehaltvolle Aufgabenstellungen. In: Baum, Monika; Wielpütz, Hans (Hrsg.), *Mathematik in der Grundschule. Ein Arbeitsbuch* (137-146). Seelze: Kallmeyer.
- Krauthausen, Günter; Scherer, Petra (2004). *Einführung in die Mathematikdidaktik. Mathematik Primar- und Sekundarstufe* (2. Aufl.). München: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kray, Jutta; Schaefer, Sabine (2012). Mittlere und späte Kindheit (6-11 Jahre). In: Schneider, Wolfgang; Lindenberger, Ulmann (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (7. Aufl.) (211-233). Weinheim; Basel: Beltz Verlag.
- Krist, Horst; Kavsek, Michael & Wilkening Friedrich (2012). Wahrnehmung und Motorik. In: Schneider, Wolfgang; Lindenberger, Ulmann (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (7. Aufl.) (363-383). Weinheim; Basel: Beltz Verlag.
- Le Boulch, Jean (1978). *Vers une science du mouvement humain. Introduction à la psychocinétique* (3. Aufl.). Paris: Les Editions ESF.
- Lienert, Sonja; Sägesser, Judith & Spiess, Heidi (2013). *Bewegt und selbstsicher. Psychomotorik und Bewegungsförderung in der Eingangsstufe. Grundlagen und Unterrichtspraxis* (2. Aufl.). Bern: Schulverlag plus AG.
- Lorenz, Jens Holger (1998). *Anschauung und Veranschaulichungsmittel im Mathematikunterricht. Mentales visuelles Operieren und Rechenleistung* (2. unveränd. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Lück, Gisela (2009). *Handbuch der naturwissenschaftlichen Bildung: Theorie und Praxis für die Arbeit in Kindertageseinrichtungen* (1. Aufl. der Neuausgabe, 7. Gesamtaufl.). Freiburg i. Breisgau: Herder.
- Lurcat, Liliane (1979). *L'enfant et l'espace. Le rôle du corps* (2. Aufl.). Paris: Presses univ. de France.
- Maier, Stefanie Brigitte (2006). *Praxie, Dyspraxie und Apraxie bei Kindern. Irrwege der Definition. Dissertation* [on-line]. Ludwig-Maximilians-Universität: München: Verfügbar unter: http://edoc.ub.uni-muenchen.de/6401/1/Maier_Stefanie.pdf.pdf [Februar 2007]

- Meinel, Kurt (2007). Die Bedeutung der Motorik für die Entwicklung der Persönlichkeit. In: Meinel, Kurt; Schnabel, Günter (Hrsg.), *Bewegungslehre-Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11. überarb. u. erw. Ausg.) (16-27). Aachen: Meyer & Meyer.
- Montada, Leo; Lindenberger, Ulman & Schneider, Wolfgang (2012). Fragen, Konzepte, Perspektiven. In: Lindenberger, Ulman; Schneider, Wolfgang (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (7. Aufl.) (27-60). Weinheim; Basel: Beltz Verlag.
- Moser Opitz, Elisabeth; Schmassmann, Margret (2007). *Heilpädagogischer Kommentar 1 zum Schweizer Zahlenbuch. Hinweise zur Arbeit mit Kindern mit mathematischen Lernschwierigkeiten*. Zug: Klett und Balmer.
- Munzert, Jörn (2010). Entwicklung und Lernen von Bewegung. In: Schott, Nadja; Munzert, Jörn (Hrsg.), *Motorische Entwicklung* (9-29). Göttingen: Hogrefe.
- Nacke, Angela; Diezi-Duplain, Peter (2014). Unterrichtssituationen mit Kindern mit einer motorischen Beeinträchtigung. In: Luder, Reto; Kunz, André & Bösch Müller, Cornelia (Hrsg.), *Inklusive Pädagogik und Didaktik* (253-285). Zürich: Publikationsstelle der PH Zürich.
- Neubrand, Johanna; Neubrand, Michael (1999). Effekte multipler Lösungsmöglichkeiten: Beispiele aus einer japanischen Mathematikstunde. In: Selter, Christoph; Walther, Gerd (Hrsg.), *Mathematikdidaktik als design science. Festschrift für Erich Christian Wittmann* (148-158). Leipzig: Ernst Klett Grundschulverlag.
- Piaget, Jean; Szeminska, Alina (1941). *La genèse du nombre chez l' enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- Piaget, Jean; Szeminska, Alina (1969). *Die Entwicklung des Zahlbegriffs beim Kinde. Mit einer Einführung von Hans Aebli* (2. Aufl.). Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Piaget, Jean (1975). *Gesammelte Werke: Studienausgabe* (versch. Aufl.). Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Piaget, Jean (1999). *Theorien und Methoden der modernen Erziehung* (9. Aufl.). Frankfurt am Main: Fischer.
- Pikler, Emmi (1997) *Lasst mir Zeit. Die selbständige Bewegungsentwicklung des Kindes bis zum freien Gehen. Emmi Pikler (1902-1984): Aus dem Nachlass zusammengestellt und bearbeitet von Anna Tardos* (2. Aufl.). München: Pflaum.
- Prohl, Robert; Gröben, Bernd (2007). Was ist eine sportliche Bewegung? In: Scheid, Volker; Prohl, Robert (Hrsg.), *Bewegungslehre. Kursbuch Sport 3* (8. korrig. Aufl.) (11-50). Wiebelheim: Limpert.

- Rakoczy, Hannes; Haun, Daniel (2012). Vor- und nichtsprachliche Kognition. In: Schneider, Wolfgang; Lindenberger, Ulmann (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (7. Aufl.) (337-362). Weinheim; Basel: Beltz Verlag.
- Rosenkötter, Henning (2013). *Motorik und Wahrnehmung im Kindesalter. Eine neuro-pädagogische Einführung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Roth, Heinrich (1976). *Pädagogische Psychologie des Lehrens und Lernens* (15. Aufl.). Hannover: Hermann Schroedel Verlag.
- Scherer, Petra; Moser Opitz, Elisabeth (2010). *Fördern im Mathematikunterricht der Primarstufe*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Scheid, Volker; Rieder, Hermann (2007). Wie entwickelt sich die menschliche Bewegung? In: Scheid, Volker & Prohl, Robert (Hrsg.), *Bewegungslehre. Kursbuch Sport 3* (8. korrig. Aufl.) (81-118). Wiebelheim: Limpert.
- Schindler, Verena; Bühler, Georg & Eckhart, Michael (2013). *Förderplanung im Unterricht*. [on-line]. Pädagogische Hochschule Bern: Verfügbar unter: https://www.phbern.ch/fileadmin/user_upload/Dokumente-Microsites/Förderplanung/Home/Förderplanung_Januar_13_F8_neu.pdf [Januar 2013].
- Schipper, Wilhelm (2003). Lernen mit Material im arithmetischen Anfangsunterricht. In: Baum, Monika; Wielpütz, Hans (Hrsg.), *Mathematik in der Grundschule. Ein Arbeitsbuch* (221-238). Seelze: Kallmeyer.
- Schneider, Wolfgang; Hasselhorn, Marcus (2012). Frühe Kindheit (3-6 Jahre). In: Schneider, Wolfgang; Lindenberger, Ulmann (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (7. Aufl.) (187-209). Weinheim; Basel: Beltz Verlag.
- Singer, Wolf (2003). Was kann der Mensch wann lernen? Ein Beitrag aus der Sicht der Hirnforschung. In: Fthenakis, Wassilios E. (Hrsg.), *Elementarpädagogik nach PI-SA. Wie aus Kindertagesstätten Bildungseinrichtungen werden können* (67-75). Freiburg im Breisgau: Herder.
- Spitzer, Manfred (2007). *Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens*. Berlin; Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Willimczik, Klaus; Singer, Roland (2009). Motorische Entwicklung: Gegenstandsbereich. In: Baur, Jürgen; Bös, Klaus & Singer, Roland (Hrsg.), *Motorische Entwicklung. Ein Handbuch* (2. Aufl.) (15-24). Schorndorf: Hofmann-Verlag.
- Winter, Heinrich (1994). *Mathematik entdecken. Neue Ansätze für den Unterricht in der Grundschule* (4. Aufl.). Frankfurt am Main: Cornelsen Scriptor.

- Winter, Reinhard; Hartmann Christian (2007). Die motorische Entwicklung (Ontogenese) des Menschen (Überblick). In: Meinel, Kurt; Schnabel, Günter (Hrsg.), *Bewegungslehre-Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11. überarb. u. erw. Ausg.) (243-373). Aachen: Meyer & Meyer.
- Wittmann, Erich Christian (1985). Objekte – Operationen – Wirkungen. Das operative Prinzip in der Mathematikdidaktik. *Mathematik lehren*, 3 (11), (7-11).
- Wittmann, Erich Christian (1994). Wider die Flut „der bunten Hunde“ und der „grauen Päckchen“: Die Konzeption des aktiv-entdeckenden Lernens und des produktiven Übens. In: Wittmann, Erich Ch. & Müller, Gerhard N. (Hrsg.), *Handbuch produktiver Rechenübungen. Band 1. Vom Einspluseins zum Einmaleins* (2. überarb. Aufl.) (157-171). Stuttgart, Düsseldorf: Ernst Klett.
- Wittmann, Erich Christian; Müller, Gerhard N. (2007). *Schweizer Zahlenbuch 1. Begleitband mit CD-ROM*. Bearbeitung für die Schweiz: Hengartner, Elmar; Wieland, Gregor. Zug: Klett und Balmer.
- Wygotski, Lew S. (1987). Das Problem der Altersstufen. In: Lompscher, Joachim (Hrsg.), *Ausgewählte Schriften. Band 1: Arbeiten zur psychischen Entwicklung der Persönlichkeit* (53-90). Köln: Pahl-Rugenstein.
- Ziler, Hermann (2007). *Der Mann-Zeichen-Test in der detailstatistischen Auswertung nach Ziler* (neubearb. Aufl.). Münster: Aschendorff.
- Zimmer, Renate (2004). Bildung im Rückwärtsgang? Pädagogik nach PISA. In: Zimmer, Renate; Hunger, Ina (Hrsg.), *Wahrnehmen – Bewegen – Lernen. Kindheit in Bewegung* (11-18). Schorndorf: Hofmann.
- Zimmer, Renate (2006). *Handbuch der Bewegungserziehung. Grundlagen für Ausbildung und pädagogische Praxis* (4. Ausg. d. überarb. u. erweit. Neuausgabe, 16. Gesamtaufl.). Freiburg i. Br.: Herder.
- Zimmer, Renate (2012). *Handbuch der Sinneswahrnehmung. Grundlagen einer ganzheitlichen Bildung und Erziehung* (1. Ausg. d. überarb. Neuausgabe, 22. Gesamtaufl.). Freiburg i. Br.: Herder.

6.2 Abbildungsverzeichnis

Titelbild: Öbv, das Zahlenbuch online

http://www.oebv.at/list.php?page=lehrwerk_extra&extra=Das+ZAHLENBUCH-Online

Abbildung 1: ICF-Modell mit den Wechselwirkungen (vgl. DIMDI, 2005, 23)29

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Strukturierung des Gesamtkomplexes „Körpererfahrung“ in Anlehnung an Bielefeld (1991, 17)	31
--	----

7 Anhang

7.1 Didaktische Prinzipien beim entdeckenden Lernen im Überblick

Die didaktischen Prinzipien beschreiben relevante Leitvorstellungen des Lernens und Lehrens auf dem Hintergrund von lernpsychologischen und erkenntnistheoretischen Theorien für den Mathematikunterricht. Die äusseren Ecken bilden das bekannte Dreieck aus Sache – Kind – Lehrperson (vgl. Krauthausen & Scherer, 2009, 122-123).

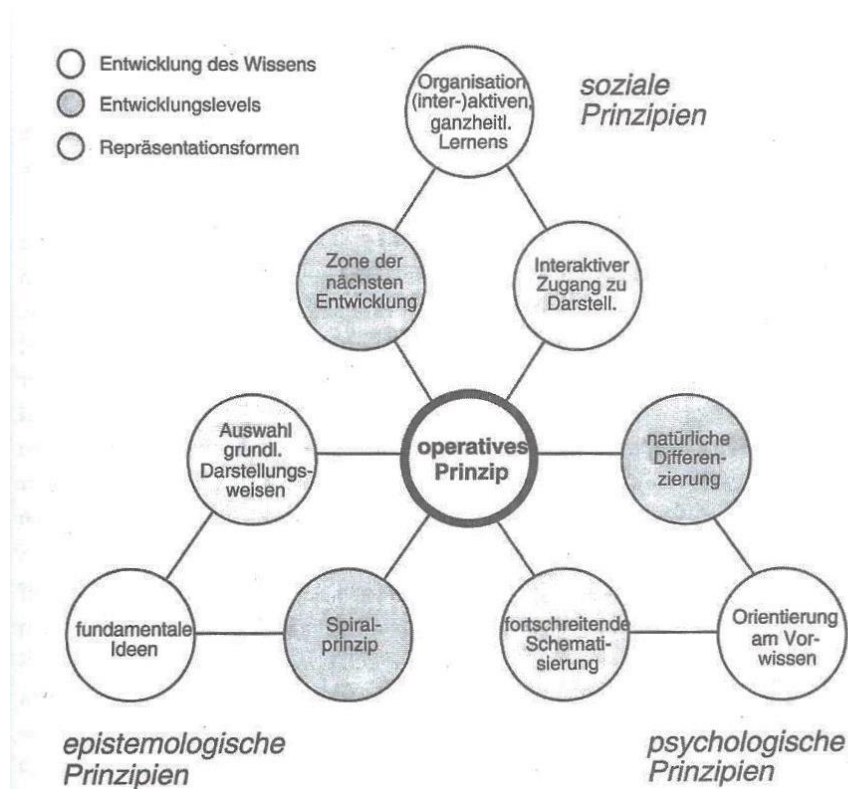


Abbildung: Didaktische Prinzipien in Anlehnung an Wittmann (vgl. ebd., 123)

Die epistemologischen Prinzipien (Sache) stehen für die Entwicklung von Wissen und Erkenntnis durch die Konzentration auf die fundamentalen Ideen. Die psychologischen Prinzipien (Kind) orientieren sich an den individuellen Dispositionen der Lernenden, indem sie am individuellen Vorwissen anknüpfen. Die sozialen Prinzipien (Lehrperson) schliessen den organisatorischen Auftrag der Lehrpersonen ein, die in Form von interaktivem, ganzheitlichem Lernen zwischen Sache und Kind zu vermitteln haben.

Berücksichtigt werden aus allen drei Blickwinkeln die unterschiedlichen Entwicklungslevels der Schülerinnen und Schüler sowie verschiedene Repräsentationsformen.

Das operative Prinzip (vgl. Kap. 3.2) steht integrierend im Zentrum, da es alle drei Prinzipien in sich einschliesst (vgl. ebd.).

7.2 Tipi-Modell

Mathematisches Lernen bewegt sich stets in verschiedenen Bereichen zwischen konkretem Handeln und abstraktem Denken. Nur so ist es möglich, aus Alltagssituationen mathematische Problemlösungen zu finden, Lösungswege zu entwickeln und mit Hilfe von mathematischem Wissen Lösungen zu ermitteln und zu interpretieren (vgl. Jost et al., 1992, 16). Das Tipi-Modell ist ein Modell für mathematisches Lernen (vgl. ebd., 20).

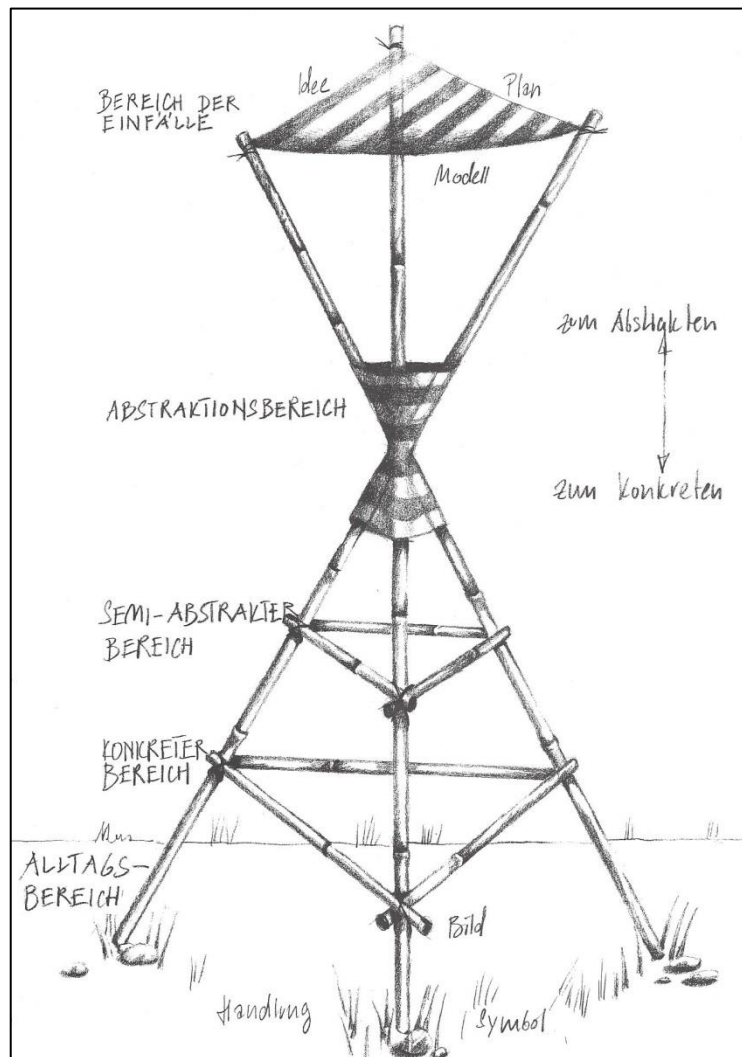


Abbildung: Tipi-Modell (vgl. Jost et al., 1992, 15)

“Verwurzelt im Boden vielfältiger Alltagserfahrungen verdichtet mathematisches Lernen die jeweiligen Handlungen, Bilder und Symbole allmählich bis zur Abstraktion, erweitert sie durch Verallgemeinerung und öffnet den Blick für Einfälle: Hier werden Modelle, Ideen und Pläne zur Lösung von Problemen entstehen, hier kann abstraktes mathematisches Denken stattfinden“ (ebd., 1992, 16).



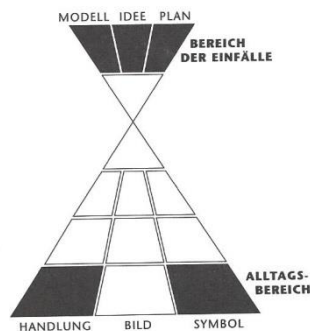
Das Tipi ist auf dem Boden der Alltagserfahrungen gebaut. Erfahrung ist die Verbindung von erlebter und verinnerlichter Realität in den drei Repräsentationsfeldern:

Handlung – verinnerlichte Handlung

Bild – inneres Bild, Vorstellung

Symbol – verinnerlichtes Symbol

Dank Erfahrung entwickeln sich im Bereich der Einfälle Ideen, wie man bei einer mathematischen Aufgabenstellung vorgehen kann. Dabei ist der Abstraktionsbereich wesentlich, da hier die Felder Handlung - Bild - Symbol zu einer Einheit verschmelzen, beispielsweise zu einem Operationsbegriff.



Über der Ebene der Alltagserfahrungen liegt der konkrete Bereich. In diesem Bereich finden immer noch konkrete Handlungen statt, welche jedoch als „materialisierte Abstraktionen“ zu verstehen sind, beispielsweise in Form von Arbeitsmitteln oder Spielmaterialien. Darüber liegt noch der semi-abstrakte Bereich, der als Übergang zwischen Realität und Abstraktion gilt. Hier werden das Automatisieren von Verfahren und das Abrufen von Ergebnissen vorbereitet (vgl. ebd., 17-18).

