

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b> .....	<b>15</b>
1.1 Das Triple-Code-Modell (Dehaene, 1992).....	17
1.2 Möglicher Entwicklungsverlauf in der numerischen Kognition.....	19
1.3 Dyskalkulie.....	20
1.3.1 Definition.....	20
1.3.2 Prävalenz von Dyskalkulie und Komorbiditäten mit anderen entwicklungsbedingten Störungen.....	21
1.3.3 Typische Symptomatik.....	22
1.3.3.1 Defizite in den Zählfunktionen.....	22
1.3.3.2 Beeinträchtigungen beim Transkodieren.....	23
1.3.3.3 Defizite im numerischen Faktenwissen.....	24
1.3.4 Kognitive Defizite.....	25
1.3.4.1 Visuell-räumliche Verarbeitung.....	26
1.3.4.2 Defizite im Langzeitgedächtnis.....	27
1.3.4.3 Defizite im verbalen Arbeitsgedächtnis.....	28
1.3.4.4 Exekutive Funktionen.....	29
1.3.4.5 Defizite in der motorischen Verarbeitung.....	31
1.3.4.6 Defizite in der kognitiven Repräsentation von Numerositäten.....	32
1.3.5 Neurobiologische Befunde.....	37
1.3.6 Subtypen von Dyskalkulie.....	39
1.3.6.1 Subtypen nach Geary (1993).....	39
1.3.6.2 Subtypen nach Rourke (1993).....	40
1.3.6.3 Subtypen nach Wilson & Dehaene (2007).....	42
1.4 Zusammenhang zwischen visuell-räumlichen Fähigkeiten und Rechnen.....	43
1.4.1 Korrelative Studien.....	44
1.4.2 Studien mit <i>Spina bifida</i> .....	45
1.4.3 Mentaler Zahlenstrahl.....	47
1.4.3.1 Der Distanzeffekt.....	48
1.4.3.2 Der SNARC-Effekt.....	49
1.4.3.3 Bisektionsstudien.....	50
1.5 Visuell-räumliche Kognition.....	51

1.5.1 Die klassischen Komponenten .....	52
1.5.2 Mentale Rotationsfähigkeit und Rechnen .....	53
1.5.3 Räumliche Veranschaulichungsfähigkeit und Rechnen.....	54
1.5.4 Räumliche Wahrnehmungsfähigkeit und Rechnen .....	55
1.5.5 Verhalten im Raum und Rechnen .....	56
<b>2 Ziel und Fragestellung.....</b>	<b>59</b>
<b>3 Studie 1: Regressionsanalytischer Vergleich .....</b>	<b>61</b>
3.1 Fragestellung .....	61
3.2 Hypothesen.....	62
3.2.1 Beitrag verschiedener Prädiktoren zur Rechenleistung.....	62
3.2.2 Eignung verschiedener Prädiktoren zur Vorhersage von Dyskalkulie .....	62
3.3 Methode.....	63
3.3.1 Stichprobe .....	63
3.3.2 Aufgaben und Ablauf.....	63
3.3.2.1 Rechenleistung.....	63
3.3.2.2 Lese- und Rechtschreibleistung.....	63
3.3.2.3 Visuell-räumliche Fähigkeiten .....	64
3.3.2.4 Basisnumerische Fertigkeiten.....	64
3.3.2.5 Verbale Fertigkeiten .....	66
3.4 Ergebnisse .....	67
3.4.1 Beitrag verschiedener Prädiktoren zur Rechenleistung.....	67
3.4.2 Eignung verschiedener Prädiktoren zur Vorhersage von Dyskalkulie .....	69
3.5 Diskussion .....	71
3.5.1 Beitrag verschiedener Prädiktoren zur Rechenleistung.....	72
3.5.2 Eignung verschiedener Prädiktoren zur Vorhersage von Dyskalkulie .....	73
3.5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick.....	74
<b>4 Studie 2: Querschnittstudie .....</b>	<b>77</b>
4.1 Fragestellungen .....	77

4.2	Hypothesen.....	79
4.2.1	<i>Dyskalkulie und visuell-räumliche Verarbeitung</i> .....	79
4.2.1.1	<i>Mentale Rotation</i> .....	80
4.2.1.2	<i>Räumliche Veranschaulichung</i> .....	81
4.2.1.3	<i>Räumliche Wahrnehmung</i> .....	82
4.2.1.4	<i>Verhalten im Raum</i> .....	82
4.3	Methode.....	83
4.3.1	<i>Stichprobe</i> .....	83
4.3.2	<i>Erhebung der visuell-räumlichen Fähigkeiten</i> .....	85
4.3.2.1	<i>Mentale Rotation</i> .....	85
4.3.2.2	<i>Räumliche Veranschaulichung</i> .....	87
4.3.2.3	<i>Räumliche Wahrnehmung</i> .....	88
4.3.2.4	<i>Verhalten und Wissen im Raum</i> .....	88
4.3.3	<i>Erhebung der basisnumerischen Leistungen</i> .....	89
4.3.3.1	<i>Punkte zählen</i> .....	90
4.3.3.2	<i>Nicht-symbolischer Mengenvergleich</i> .....	90
4.3.3.3	<i>Einstelliger Zahlenvergleich</i> .....	90
4.3.3.4	<i>Zweistelliger Zahlenvergleich</i> .....	91
4.3.3.5	<i>Physischer Zahlenstroop</i> .....	91
4.3.3.6	<i>Zahlenstrahl 0-100 und Zahlenstrahl 0-1000</i> .....	92
4.3.4	<i>Weitere Aufgaben</i> .....	92
4.3.4.1	<i>Wahlreaktionszeitaufgabe</i> .....	92
4.3.4.2	<i>Schriftliches Rechnen</i> .....	93
4.4	Ergebnisse .....	93
4.4.1	<i>Visuell-räumliche Verarbeitung</i> .....	93
4.4.1.1	<i>Mentale Rotation</i> .....	93
4.4.1.2	<i>Räumliche Veranschaulichung</i> .....	96
4.4.1.3	<i>Räumliche Wahrnehmung</i> .....	97
4.4.1.4	<i>Verhalten im Raum</i> .....	97
4.4.2	<i>Basisnumerische Verarbeitung</i> .....	97
4.4.2.1	<i>Subitizing und Punkte zählen</i> .....	97
4.4.2.2	<i>Nicht-symbolischer Mengenvergleich</i> .....	99
4.4.2.3	<i>Einstelliger Zahlenvergleich</i> .....	100
4.4.2.4	<i>Zweistelliger Zahlenvergleich</i> .....	102
4.4.2.5	<i>Physischer Zahlenstroop</i> .....	103
4.4.2.6	<i>Zahlenstrahlaufgaben 0-100 und 0-1000</i> .....	105

4.4.3	<i>Weitere Aufgaben</i> .....	108
4.4.3.1	<i>Wahlreaktionszeitaufgabe</i> .....	108
4.4.3.2	<i>Schriftliches Rechnen</i> .....	108
4.4.4	<i>Zusammenhang zwischen basisnumerischen Fertigkeiten und visuell-räumlichen Fähigkeiten und Rechnen</i> .....	110
4.5	<i>Diskussion</i> .....	112
4.5.1	<i>Mentale Rotationsfähigkeit</i> .....	113
4.5.1.1	<i>Mentale Rotationsfähigkeit und Mengen-/Zahlenverarbeitung</i> .....	114
4.5.1.2	<i>Mentale Rotation und physischer Zahlenstroop</i> .....	114
4.5.2	<i>Räumliche Veranschaulichung</i> .....	115
4.5.2.1	<i>Räumliche Veranschaulichung und symbolische Zahlenverarbeitung</i> .....	116
4.5.2.2	<i>Räumliche Veranschaulichung und Rechnen in Zahlenkolonnen</i> .....	117
4.5.3	<i>Räumliche Wahrnehmung</i> .....	117
4.5.3.1	<i>Räumliche Wahrnehmung und Mengen-/Zahlenverarbeitung</i> .....	118
4.5.4	<i>Verhalten im Raum</i> .....	119
4.5.4.1	<i>Verhalten im Raum und Orientierung am Zahlenstrahl</i> .....	119
4.5.5	<i>Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick</i> .....	121
<b>5</b>	<b>Studie 3: Trainingsstudie</b> .....	<b>123</b>
5.1	<i>Fragestellung</i> .....	123
5.2	<i>Hypothesen</i> .....	125
5.3	<i>Methode</i> .....	127
5.3.1	<i>Stichprobe</i> .....	127
5.3.2	<i>Training der basisnumerischen Fertigkeiten</i> .....	128
5.3.3	<i>Training der visuell-räumlichen Fähigkeiten</i> .....	129
5.3.4	<i>Trainingsablauf</i> .....	130
5.4	<i>Ergebnisse</i> .....	132
5.4.1	<i>Räumliche Veranschaulichung</i> .....	133
5.4.1.1	<i>Basisnumerisches Trainingsverfahren</i> .....	133
5.4.1.2	<i>Visuell-räumliches Trainingsverfahren</i> .....	134
5.4.1.3	<i>Follow-up</i> .....	135
5.4.2	<i>Mentale Rotationsfähigkeit</i> .....	136

5.4.2.1	Basisnumerisches Trainingsverfahren .....	136
5.4.2.2	Visuell-räumliches Trainingsverfahren .....	137
5.4.2.3	Follow-up .....	137
5.4.3	Nicht-symbolischer Mengenvergleich .....	138
5.4.3.1	Basisnumerisches Trainingsverfahren .....	138
5.4.3.2	Visuell-räumliches Trainingsverfahren .....	139
5.4.3.3	Follow-up .....	140
5.4.4	Symbolischer Mengenvergleich .....	141
5.4.4.1	Basisnumerisches Trainingsverfahren .....	141
5.4.4.2	Visuell-räumliches Trainingsverfahren .....	142
5.4.4.3	Follow-up .....	143
5.4.5	Zweistelliger Zahlenvergleich .....	144
5.4.5.1	Basisnumerisches Trainingsverfahren .....	144
5.4.5.2	Visuell-räumliches Trainingsverfahren .....	145
5.4.5.3	Follow-up .....	146
5.4.6	Physischer Zahlenstroop .....	146
5.4.6.1	Basisnumerisches Trainingsverfahren .....	147
5.4.6.2	Visuell-räumliches Trainingsverfahren .....	148
5.4.6.3	Follow-up .....	149
5.4.7	Zahlenstrahlaufgaben 0-100 und 0-1000 .....	150
5.4.7.1	Basisnumerisches Trainingsverfahren .....	150
5.4.7.2	Visuell-räumliches Trainingsverfahren .....	151
5.4.7.3	Follow-up .....	152
5.4.8	Wahlreaktionszeitaufgabe .....	153
5.4.9	Rechenleistung .....	154
5.4.9.1	Basisnumerisches Trainingsverfahren .....	155
5.4.9.2	Visuell-räumliches Trainingsverfahren .....	156
5.4.9.3	Follow-up .....	158
5.4.10	Zusammenfassung der Trainingseffekte .....	160
5.5	Diskussion .....	161
5.5.1	Einbettung der Befunde in theoretische Annahmen .....	162
5.5.2	Kritik der Trainingsverfahren .....	163
5.5.3	Bisherige Trainingsstudien mit visuell-räumlichen und basisnumerischen Komponenten .....	165
5.5.4	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick .....	167

<b>6</b>	<b>Abschlussdiskussion .....</b>	<b>169</b>
6.1	Beitrag von visuell-räumlichen Fähigkeiten zur Rechenleistung einerseits und zur Vorhersage von Dyskalkulie andererseits .....	169
6.2	Die klassischen Komponenten visuell-räumlicher Kognition bei Kindern mit Dyskalkulie .....	172
6.3	Einfluss eines visuell-räumlichen Trainings auf die Rechenleistung von Dyskalkulikern .....	178
6.4	Fazit: Leisten visuell-räumliche Fähigkeiten einen kausalen Beitrag zur Dyskalkulie? .....	180
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>183</b>