

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Mentale Werkzeuge – eine Definition	5
2.1	Symbole als mentale Werkzeuge	6
2.2	Zusammenfassung	14
3	Pfeile – Erscheinungsformen und Verwendung	17
3.1	Pfeile und Vektoren	18
3.2	Verwendung von Vektorpfeilen	23
3.2.1	Vektorpfeile in der Mechanik	23
3.2.2	Vektorpfeile außerhalb der Mechanik	32
4	Empirische Grundlagen	37
4.1	Pfeile und Vektoren aus Sicht der Physikdidaktik	37
4.1.1	Zur Mechanik in der Schule	37
4.1.2	Zur Mechanik in der Universität	46
4.1.3	Zusammenfassung	49
4.2	Pfeile und Vektoren aus Sicht der Mathematikdidaktik	50
4.2.1	Einführungen in die Vektorrechnung	50
4.2.2	Wahrnehmung von Pfeilen in der Vektorrechnung	53
4.2.3	Anwendungsorientierte Einführung	54
4.2.4	Zusammenfassung	58
4.3	Empirische Untersuchungen zu mentalen Werkzeugen	58

4.3.1	Mathematische Graphen als mentale Werkzeuge . . .	58
4.3.2	Pfeile als mentale Werkzeuge	64
4.3.3	Zusammenfassung	65
4.4	Zusammenfassung und Konsequenzen	66
5	Forschungsfrage und Hypothesen	69
5.1	Forschungsfrage	69
5.2	Eingrenzung der Untersuchung	71
5.2.1	Wahl der Pfeilanwendungen	71
5.2.2	Gestaltung der Lerneinheit	72
5.3	Hypothesen	74
5.3.1	Allgemeiner Leistungszuwachs	74
5.3.2	Abstrakt-mathematische Leistung	74
5.3.3	Nahtransfer	75
5.3.4	Ferntransfer	76
6	Methoden	79
6.1	Wahl des Untersuchungsverfahrens	79
6.2	Gestaltung der Untersuchung	82
6.3	Auswerteverfahren	85
6.3.1	Gruppenvergleiche	85
6.3.2	Zusammenfassung & statistische Hypothesen	91
7	Treatments	95
7.1	Treatment T1 mit einer Pfeilanwendung	97
7.2	Treatment T2 mit zwei Pfeilanwendungen	102
7.3	Treatment T0 ohne Pfeilanwendungen	104
8	Tests	107
8.1	Vortest	107
8.2	Nachtest	109

9	Durchführung und erste Eindrücke	113
9.1	Gruppenzusammensetzung, Ablauf & Lernbiografien	113
9.2	Subjektive Eindrücke	116
10	Ergebnisse	119
10.1	Ergebnisse des Vortests	119
10.1.1	Punktwerteverteilung	119
10.1.2	Varianzanalyse	122
10.2	Ergebnisse des Nachtests	122
10.2.1	Punktwerteverteilungen	123
10.2.2	Varianzanalyse	127
10.2.3	Validierung der Hypothesen	128
10.3	Diskussion	133
10.3.1	Resümee	133
10.3.2	Diskussion und Kritik	135
11	Exploration	141
11.1	Punktwerteverteilung	142
11.2	Begutachtung der Hypothesen	146
11.3	Zusammenfassung	153
12	Schluss	155
12.1	Zusammenfassung	155
12.2	Konsequenzen	157
A	Statistische Verfahren	161
A.1	Signifikante Unterschiede	161
A.2	Varianzanalyse	164
A.3	Kontraste	166
A.4	Normalverteilung	169
B	Unterricht	171

C Tests	175
C.1 Vortest	175
C.2 Nachtest	184
D Ergebnistabellen	205
D.1 Hypothesenprüfende Untersuchung	205
D.1.1 Punktwerte Verteilungen im Vortest	205
D.1.2 Normalverteilungen im Vortest	207
D.1.3 Mittelwertvergleiche im Vortest	210
D.1.4 Punktwerte Verteilungen im Nachtest	212
D.1.5 Normalverteilung im Nachtest	213
D.1.6 Mittelwertvergleiche im Nachtest	221
D.2 Exploration	225
D.2.1 Mittelwertvergleiche im Vortest	225
D.2.2 Punktwerte Verteilungen im Nachtest	227
D.2.3 Normalverteilung im Nachtest	230
D.2.4 Mittelwertvergleiche im Nachtest	238
D.2.5 Baselinegruppen-Vergleich im Nachtest	246
D.2.6 Post-hoc-Test im Nachtest	248
E Abkürzungen	249
Danksagung	251
Literaturverzeichnis	253
Abbildungsverzeichnis	267
Tabellenverzeichnis	271