

Inhalt

I	Einleitung.....	11
II	Problemstellung.....	14
III	Kontrolle und Steuerung von Bewegungen.....	21
1	Informationsverarbeitungsansätze	28
1.1	Kybernetisch orientierte Modelle	29
1.1.1	Sensorische Informationen und Feedback.....	30
1.1.1.1	Visuelle Informationsaufnahme – Sehapparat.....	30
1.1.1.2	Akustische Informationsaufnahme – Hörapparat.....	31
1.1.1.3	Vestibulare Informationsaufnahme – Vestibularapparat.....	31
1.1.1.4	Kinästhetische Informationsaufnahme	32
1.1.1.5	Taktile Informationsaufnahme – Hautrezeptoren	35
1.1.2	Servomechanismen	35
1.1.2.1	Feedforwardkontrolle	36
1.1.2.2	Efferenzkopie – <i>Corollary Discharge</i>	37
1.1.2.3	Internal/Central Feedback Loop	39
1.1.3	Closed-Loop-Steuerung und Reflexe.....	40
1.1.3.1	Alpha-Gamma-Koaktivierung (monosynaptischer Reflex).....	41
1.1.3.2	Long-Loop-Reflex	44
1.1.3.3	Triggered Reactions.....	45
1.2	Programmorientierte Modelle.....	45
1.2.1	Struktur und Inhalt motorischer Programme	46
1.2.2	Hinweise zur Existenz motorischer Programme	48
1.2.2.1	Deafferenzierungsstudien	48
1.2.2.2	Kontrolle schneller Bewegungen.....	51
1.2.2.3	Central Pattern Generators	55
1.2.2.4	Vorprogrammierung.....	57
1.2.2.5	Motorische Äquivalenz.....	58
1.2.2.6	Aufbau motorischer Programme ohne physisches Üben und Trainieren.....	59
1.2.2.7	Programme laufen auch bei zusätzlichen Anforderungen autonom ab.....	59
1.2.3	Kritik an den Programmtheorien.....	59
1.2.3.1	Speicherproblem.....	59
1.2.3.2	Neuigkeitsproblem	60
1.2.4	Spatial Location Cues	60
1.3	Generalisierte motorische Programme (GMP-Theorie)	62
1.3.1	Impuls-Timing-Hypothese.....	63

1.3.1.1	Sequenzierung (<i>Order of Elements</i>).....	63
1.3.1.2	Relative Impulsdauer (<i>Phasing, Relative Timing</i>)	64
1.3.1.3	Relative Impulsstärke (<i>Relative Force</i>).....	65
1.3.2	Variable Parameter.....	66
1.3.2.1	Absolute Zeiten (<i>Overall Duration Parameter</i>).....	66
1.3.2.2	Absolute Kräfte (<i>Overall Force Parameter</i>)	67
1.3.2.3	Muskelauswahl (<i>Muscle Selection Parameter</i>).....	68
1.3.2.4	Räumliche Parameter (<i>Spatial Parameter</i>).....	69
1.3.3	Impulsvariabilität zur Prüfung generalisierter motorischer Programme.....	70
1.3.4	Invarianzexperimente komplexer Bewegungen zur Prüfung generalisierter motorischer Programme	73
1.3.4.1	Kinematische Untersuchungen	73
1.3.4.2	Elektromyografische Untersuchungen	74
1.4	Masse-Feder-Modelle	77
1.4.1	Äquilibriumspunkthypothese	79
1.4.2	Gammamodell nach Merton	80
1.4.3	Lambdamodell nach Feldman.....	81
1.4.4	Alphamodell nach Bizzi	85
1.5	Motorische Programme und Feedback (<i>Mixed Approaches</i>)	89
1.5.1	Sensorische Informationen und Feedback.....	90
1.5.2	Aufgabenbezogene Steuerung	92
1.5.3	Hierarchische Steuerung.....	92
1.5.4	Intermittierende Steuerung.....	93
1.5.5	Klassifizierung unterschiedlicher Korrektursysteme.....	93
2	Optimierungsmodelle und Effektivitätsprinzipien.....	102
2.1	Minimierung der Bewegungszeit (<i>Movement Time</i>)	102
2.2	Minimierung des Impulses (<i>Impulse</i>).....	103
2.3	Minimierung der Energie (<i>Energy</i>).....	104
2.4	Minimierung des Rucks (<i>Jerk</i>)	104
2.5	Minimierung der Drehmomentänderung (<i>Torque-Change</i>).....	105
2.6	Minimierung von <i>Effort</i>	105
2.7	Maximierung von <i>Comfort</i>	106
2.8	Komplexe <i>Cost Functions</i>	106
3	Frequenzkodierungsmodelle	108
4	Systemdynamische Modelle	116

4.1 Gestaltpsychologie	123
4.1.1 Gestaltpsychologie und Bewegung	129
4.1.2 Die motorische Forschung der Ganzheitspsychologie in den 20er und 30er Jahren	132
4.1.3 Renaissance der Gestaltpsychologie in der Motorik.....	134
4.2 Der bewegungsphysiologische Ansatz von N. A. Bernstein.....	142
4.2.1 Das Problem der Freiheitsgrade	143
4.2.1.1 Art und Umfang der Freiheitsgrade.....	143
4.2.1.2 Drei Stadien des Lernprozesses: <i>From Freezing to Freeing</i>	146
4.2.2 Der ganzheitliche Charakter lebendiger Bewegungen	147
4.2.3 Topologie und Metrik.....	149
4.2.4 Das Problem der Wechselbeziehung von Lokalisation und Koordination	151
4.2.4.1 Die grundlegende Differenzialgleichung der Bewegung	151
4.2.4.2 Zur Koordination von Bewegungen.....	154
4.2.4.3 Zum Unterschied zwischen Lokalisation und Topik	156
4.2.4.4 Das Prinzip der gleichen Einfachheit	157
4.2.5 Selbstregulierende Systeme – Ringregulation.....	158
4.3 The Ecological Approach	164
4.3.1 Ökologische Wahrnehmungspsychologie nach Gibson.....	165
4.3.2 Die Verbindung von Wahrnehmung und Handlung zur Onlineregulation von Bewegungen	169
4.3.3 Time-to-Contact-Hypothese – die optische Variable <i>Tau</i>	175
4.3.3.1 Global Tau	176
4.3.3.2 Lokal Tau.....	176
4.3.3.3 Empirische Untersuchungen.....	177
4.3.3.4 Modellerweiterung	181
4.3.3.5 Ergänzende Kritikpunkte.....	184
4.3.4 Die Hypothese <i>körperskaliertes</i> Wahrnehmung.....	186
4.3.5 Ökologische Analyse komplexer Bewegungen	189
4.3.6 Der systemdynamische Ansatz von Franks und Goodman	192
4.4 Chaostheorie – eine Theorie nichtlinearer Systeme	194
4.4.1 Das Chaospendel – ein Weg ins Chaos	199
4.4.2 Die logistische Gleichung (Logistic Map)	208
4.4.3 Selbstähnlichkeit – die Symmetrie nichtlinearer Systeme	213
4.4.4 Chaostheorie und Motorik.....	217
4.5 Synergetik – die Lehre vom Zusammenwirken.....	237
4.5.1 Synergetik in der unbelebten Natur.....	241

4.5.1.1	Laserparadigma.....	241
4.5.1.2	Rayleigh-Bénard-Experiment (<i>the Fluid Dynamics Paradigm</i>)	245
4.5.1.3	Grundbegriffe und -prinzipien der Synergetik	249
4.5.2	Synergetik in der belebten Natur.....	251
4.5.2.1	Haken-Kelso-Bunz-Modell für gekoppelte Fingerbewegungen.....	251
4.5.2.2	Absolute und relative Koordination	262
4.5.2.3	Folgeexperimente – Koordinationsmodelle zyklischer Bewegungen.....	267
4.5.2.4	Koordinationsmodell zielgerichteter Bewegungen – <i>Basic Coordination Dynamics and Intentional Information</i>	274
4.5.3	Synergetik im Sport.....	281
4.5.3.1	Zyklische Bewegungen	286
4.5.3.2	Azyklische Bewegungen	292
4.5.4	Zusammenfassung Synergetik.....	318
4.6	Problembereiche und Kritikpunkte der systemdynamischen Modelle	321
IV	Motorisches Lernen.....	326
1	Stufentheorien	330
1.1	Zwei-Stufen-Modelle	334
1.1.1	Zwei-Stufen-Modell nach Pöhlmann.....	334
1.1.1.1	Acquisitionsphase	334
1.1.1.2	Perfektionierungsphase	334
1.1.2	Zwei-Stufen-Modell nach Lehnertz.....	335
1.1.2.1	Technikerwerbstraining	335
1.1.2.2	Technikanwendungstraining	336
1.1.3	Zwei-Stufen-Modell nach Glencross	336
1.1.4	Zwei-Stufen-Modell nach Daugis und Blichke.....	336
1.2	Drei- und Mehrstufenmodelle.....	337
1.2.1	Das Fitts-Posner-Modell	337
1.2.2	Drei-Stufen-Modell nach Martin, Carl und Lehnertz.....	337
1.2.3	Drei-Phasen-Modell nach Meinel und Schnabel.....	338
1.2.3.1	Entwicklung der Grobkoordination.....	339
1.2.3.2	Entwicklung der Feinkoordination.....	339
1.2.3.3	Stabilisierung der Feinkoordination und Entwicklung der variablen Verfügbarkeit	340
1.2.4	Lernbereiche nach Hotz.....	341
1.2.5	Drei-Stufen-Modell nach Roth	343
1.2.6	Drei-Phasen-Modell nach Loosch	343
1.2.6.1	Phase der Aneignung und Vollzugsorientierung	343

1.2.6.2	Phase der Vervollkommnung und Individualisierung	344
1.2.6.3	Phase der Perfektionierung und Leistungsorientierung	344
1.2.7	Crattys Drei-Stufen-Theorie	344
1.2.8	Fünf Lernstufen nach Letzelter	345
1.3	Kritik an den Stufentheorien	345
2	Hierarchisches Modell der Bewegungsautomatisierung	347
3	Theorie des motorischen Lernens nach Adams	349
3.1	Kritik an Adams Lerntheorie	351
4	Schematheorien	353
4.1	Frühe Schematheorien	353
4.1.1	Schematheorie nach Head	353
4.1.2	Schematheorie nach Bartlett	354
4.1.3	Schematheorie nach Attneave	354
4.2	Schematheorie nach Schmidt	354
4.2.1	Struktur und Inhalt der Schemata	355
4.2.2	Experimentelle Studien	360
4.2.3	Kritik an der Schematheorie sowie an der Theorie der generalisierten motorischen Programme	364
4.3	Alternative Schematheorien	367
4.3.1	Schematheorie und Mass-Spring-Kontrolle nach Wulf	367
4.3.2	Konzept des Motorikschemas nach Munzert	371
4.3.3	Hierarchisches Schemamodell nach Zimmer und Körndle	373
4.3.4	Interne Bewegungsrepräsentation nach Wiemeyer	374
4.4	<i>Variability-of-Practice</i> -Hypothese	375
5	Systemdynamische Lerntheorie	383
5.1	Lernen als systemdynamischer Prozess	384
5.2	Differenzielles Lernen	409
5.2.1	Kritik an klassischen Lerntheorien und -strategien	412
5.2.2	Differenzielle Selbstorganisation	413
5.2.3	Praktisch-methodische Lehr- und Lernprinzipien	418
5.2.4	Experimentelle Studien	423
5.3	Alternative Konzepte variablen Übens	427
5.3.1	Variables Üben nach Schmidt	429

5.3.2 Funktionelle Variabilität nach Loosch	438
5.3.3 Instruierte und resultative Variabilität nach Hillebrecht	443
5.3.4 Versuch-Irrtum-Lernen	447
5.3.5 Methode des variierten Übens nach Hirtz	450
5.4 Systemdynamische Modellierung einer nichtlinearen (fraktalen) Methodik zum differenziellen Lernen	452
5.4.1 Stabilität und Flexibilität – eine Widerspruchseinheit	452
5.4.2 Systemdynamische Analyse von Ist- und Sollzustand	455
5.4.2.1 Istzustandsanalyse	456
5.4.2.2 Sollzustandsanalyse	462
5.4.3 Modellierung der Differenzierungsstruktur	468
5.4.3.1 Anfangsdifferenz – D_0	471
5.4.3.2 Lernfaktor –	475
5.4.3.3 Übungsfrequenz – ω	477
5.4.3.4 Selbstähnlichkeit der Differenzierungsstruktur	478
5.4.3.5 Differenzierungsmöglichkeiten	480
5.4.3.6 Ausblick	485
6 Feedbacktraining	487
6.1 Knowledge of Result (KR)	487
6.1.1 Relative KR-Häufigkeiten	487
6.1.2 Zeitlicher Einsatz von KR	488
6.1.3 Genauigkeit von KR	488
6.2 Knowledge of Performance (KP)	489
7 Motorisches Gedächtnis (Motor Memory)	490
7.1 Sensorisches Gedächtnis	491
7.2 Kurzzeitgedächtnis	492
7.3 Langzeitgedächtnis	493
7.4 Vergessensprozesse	494
V Zusammenfassung	497
VI Ausblick	507
VII Literaturverzeichnis	513
VIII Stichwortverzeichnis	547