

Vorlesung: Bewegungswissenschaftliche Grundlagen des Sports



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Kapitel 5: Was passiert im Kopf, wenn wir Bewegungen ausführen oder lernen?

Dozent: Prof. Dr. Josef Wiemeyer
Kontakt: josef.wiemeyer@tu-darmstadt.de

Überblick über Kapitel 5

5.1 Lernziele

5.2 Einstiegsfragen

5.3 Sensomotorische Zentren des Zentralnervensystems

5.4 Spinalmotorik

5.5 GMP- und Schema-Modell nach Schmidt (1975)

5.6 Modularitätshypothese

5.7 Ökologischer Realismus bzw. dynamische Systemansätze

5.8 Vergleichende Gegenüberstellung der Informationsver-
arbeitungsansätze und der dynamischen Ansätze

5.9 Neokonnektionismus - Grundlagen und Beispiele

5.10 Aufgaben

5.11 Literatur

Abschnitt/ Thema	eLecture
5.3 (1) Neurophysiologische Modelle	1
5.3 (2) Funktionelle Einteilung des Zentralnervensystems	2
5.3 (3) Sensomotorische Zentren des Zentralnervensystems	3
5.4 Spinalmotorik	4
5.5 GMP- und Schema-Modell nach Schmidt (1975)	5
5.6 Computer – Interne Modelle – Modularitätshypothese	6
5.7 Ökologischer Realismus bzw. dynamische Systemansätze	7
5.8 Vergleichende Gegenüberstellung der Informations- verarbeitungsansätze und der dynamischen Ansätze	8
5.9 Neokonnektionismus – Grundlagen und Beispiele	9

5.1 Lernziele



- *Die wichtigsten sensomotorischen Areale des ZNS benennen und ihre Funktionen nennen/erläutern können*
- *Die funktionellen Organisation des ZNS im Hinblick auf sensomotorische Leistungen erläutern können*
- *Ausgewählte Funktionsmechanismen der Spinalmotorik und ihrer Bedeutung für den Sport erläutern können*
- *Die wesentlichen Merkmale verschiedener Modelle der Bewegungskontrolle und des Bewegungslernens benennen, erläutern und vergleichen können*
- *Die Stärken und Schwächen der Modelle der Bewegungskontrolle und des Bewegungslernens benennen und kritisch diskutieren können*

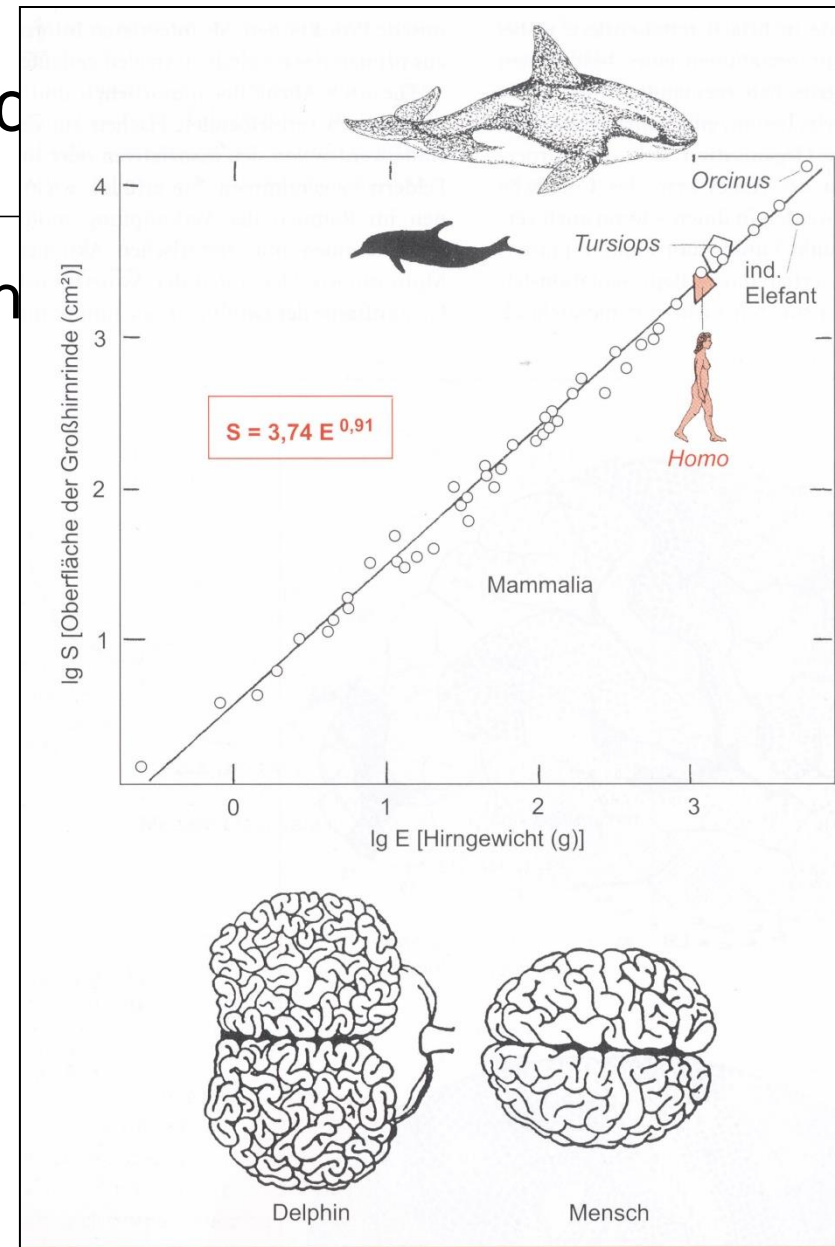
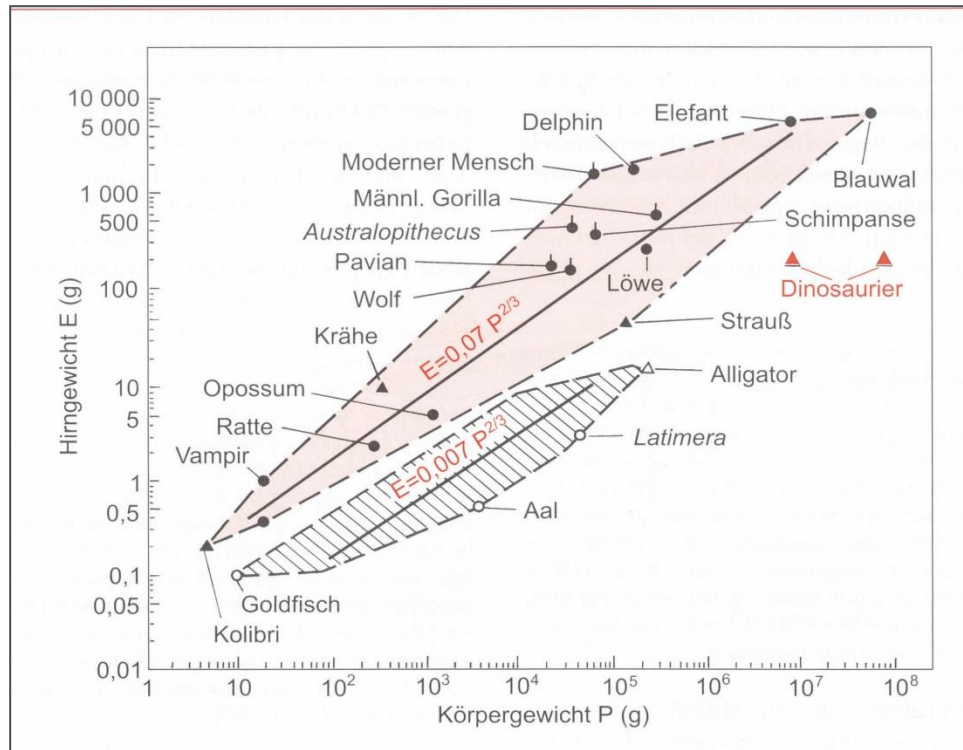
5.2 Einstiegsfragen



- Wie muss ein System strukturiert sein, das die in den vorherigen Kapiteln dargestellten Leistungen und Wechselwirkungen hervorbringt?
- Welche physiologischen Ursachen könnten hinter der hohen Variabilität von Bewegungen stehen?
- Diskutieren Sie Vor- und Nachteile der Komplexität, Flexibilität und Variabilität von Bewegungen!
- Was bedeutet die hohe Zahl von Freiheitsgraden für die Bewegungskontrolle und das Bewegungslernen?
- Kann man das Gehirn in seiner Funktion mit einem Computer vergleichen (mit Begründung)?
- Muss ein psychologisches Modell physiologisch plausibel sein?
- Wie können Kognitionen, Emotionen etc. überhaupt Bewegungen beeinflussen?

5.3 Neurophysiologische Mod

Gehirn des Menschen im Vergleich (Penzlin, 2005)



5.3 Neurophysiologische Modelle

Steckbrief des menschlichen Gehirns

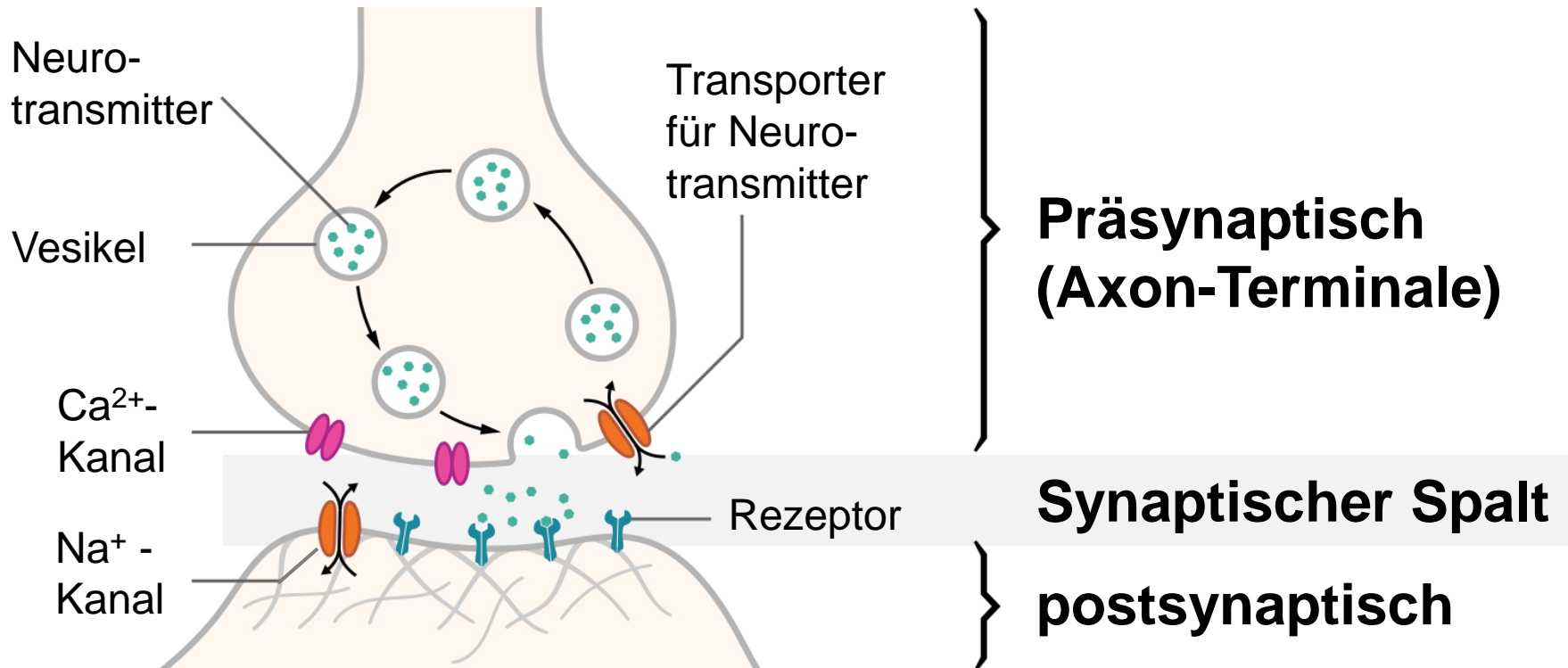
(modifiziert nach Reinhardt, 2012, S.138)

Gewicht	ca. 1375 Gramm (Männer) ca. 1245 Gramm (Frauen)
Energieverbrauch (Glukose/O₂)	25%/ 20% vom Gesamthaushalt (Ruhe)
Blutversorgung	750 ml/min (~15% HMV - Ruhe)
Anzahl der Nervenzellen (Neurone)	Über 100 Milliarden (10^{11})
Anzahl der Synapsen	Über 100 Billionen (10^{14})
Maximaler Input	750 Millionen Impulse/sec
Maximaler Output	450 Millionen Impulse/sec
Rechenleistung	$\leq 10^{16}$ Operationen/sec (10^7 GHz)
Speicherkapazität (Langzeit)	Nahezu unbegrenzt

5.3 Neurophysiologische Modelle

„Plastizität“ – Wie lernt das menschliche Gehirn?

- „Ort des Lernens“ – die Synapse



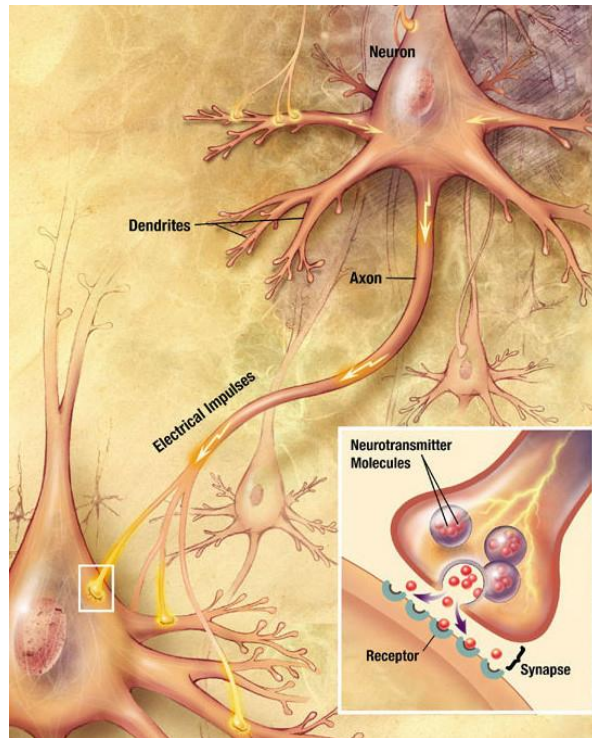
(Quelle: www.wikimedia.org – Splette, 2015)



5.3 Neurophysiologische Modelle

„Plastizität“ – Wie lernt das menschliche Gehirn?

- „Ort des Lernens“ – die Synapse



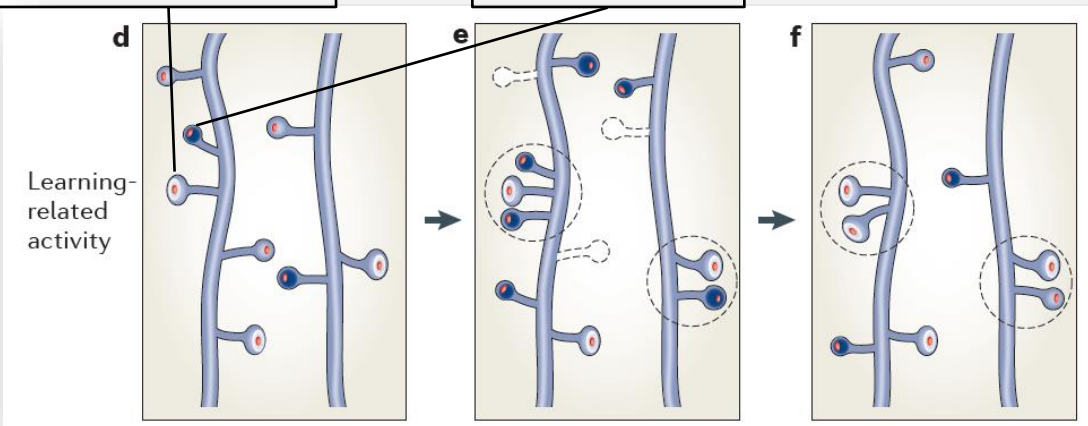
(Quelle: www.wikimedia.org)



Frage: Wie können Synapsen „Lernen“ ermöglichen?

„permanent spine“

„transient spine“



Dornenbildung an Dendriten

(Aus: Caroni, Donato & Muller, 2012, S.481)

Ende Kapitel 5 – Teil 1



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



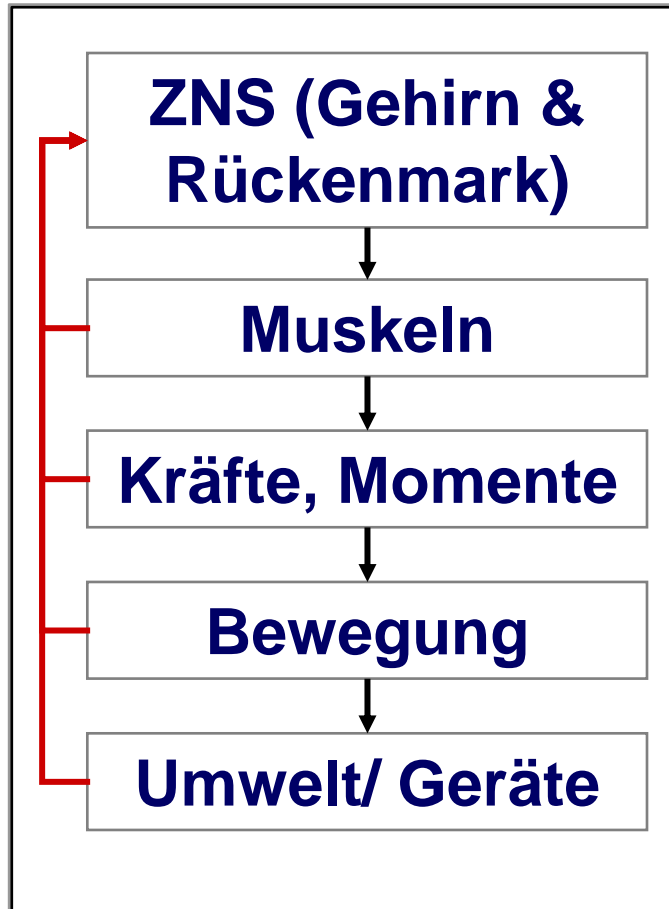
- **Wo stehen wir?**

- Aufbau des Gehirns
- Synapsen – Orte der Plastizität

- **Lernziele:**

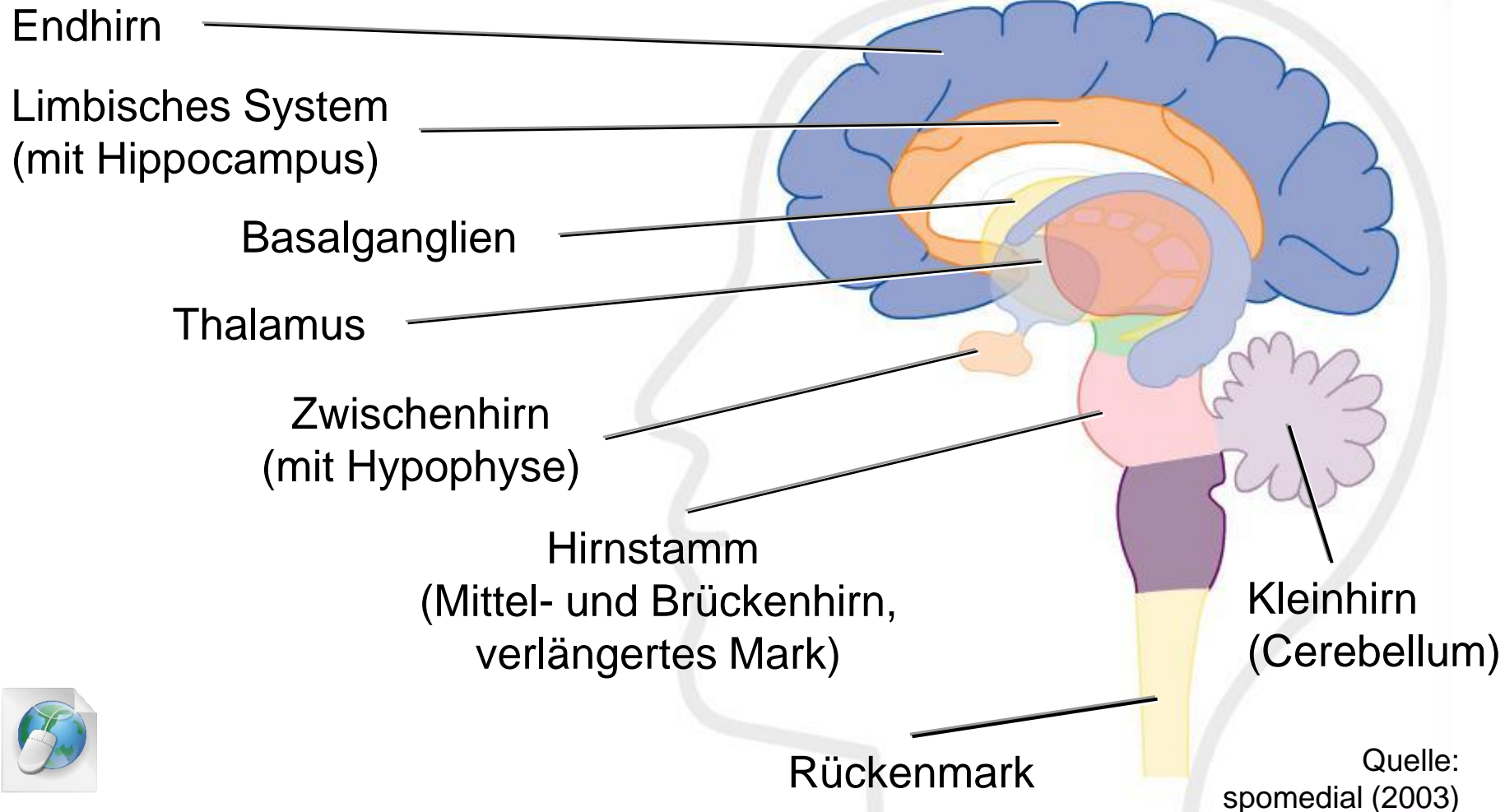
- Gesamtaufbau des motorischen Systems beschreiben können
- Wichtige Funktionsprinzipien erläutern können

5.3 Neurophysiologische Modelle



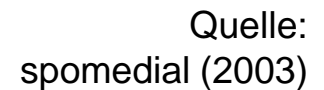
- Motorische Zentren des ZNS
- Informationsfluss zwischen den Zentren
- Funktionsschema
- Spinalmotorik

5.3.1 Funktionelle Einteilung des ZNS



Das Diagramm zeigt ein menschliches Gehirn in der Draufsicht, das in verschiedene farbige Regionen unterteilt ist. Die Beschriftungen sind wie folgt:

- Primärer Motor. Cortex (M I; MC)**: Ein Bereich im Frontallappen, der orange markiert ist.
- Supplementär-motor. Cortex (SMC/SMA)**: Ein Bereich im Frontallappen, der grün markiert ist.
- Prämotor. Cortex (PMC/PMA)**: Ein Bereich im Frontallappen, der blau markiert ist.
- (Prä)Frontaler Cortex (FC/PFC)**: Ein Bereich im Frontallappen, der hellblau markiert ist.
- Parietaler Cortex**: Ein Bereich im Parietallappen, der hellgrün markiert ist.
- Hirnstamm (Mittel- und Brückenhirn, verlängertes Mark)**: Ein Bereich im Hinterkopf, der lila markiert ist.
- Kleinhirn (Cerebellum)**: Ein Bereich im Hinterkopf, der hellviolet markiert ist.
- Rückenmark**: Ein Bereich im Nacken, der dunkelviolett markiert ist.
- Endhirn**: Ein Bereich im Frontallappen, der orange markiert ist.
- Zentralfurche**: Eine Vertiefung im Frontallappen, die die Grenze zwischen dem Frontallappen und dem Parietallappen markiert.

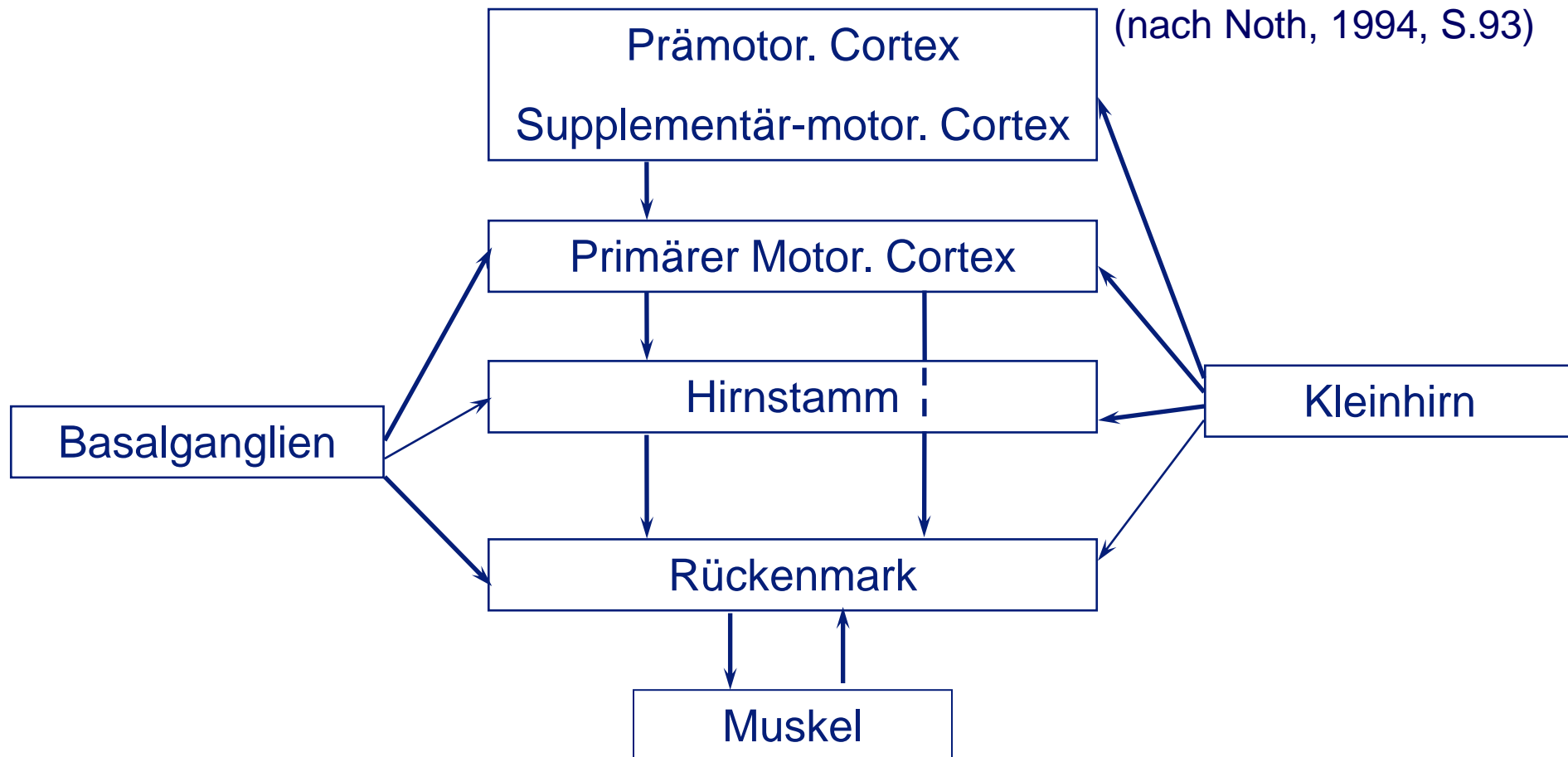


5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems Hierarchie und Kooperation



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

(nach Noth, 1994, S.93)



Ende Kapitel 5 – Teil 2



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



- **Wo stehen wir?**

- Motorische Areale – Überblick und Zusammenspiel

- **Lernziele:**

- Funktionen der einzelnen motorischen Areale des ZNS benennen und beschreiben können
- Beziehung zwischen Bewegung/Motorik und Kognition erläutern können

5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems

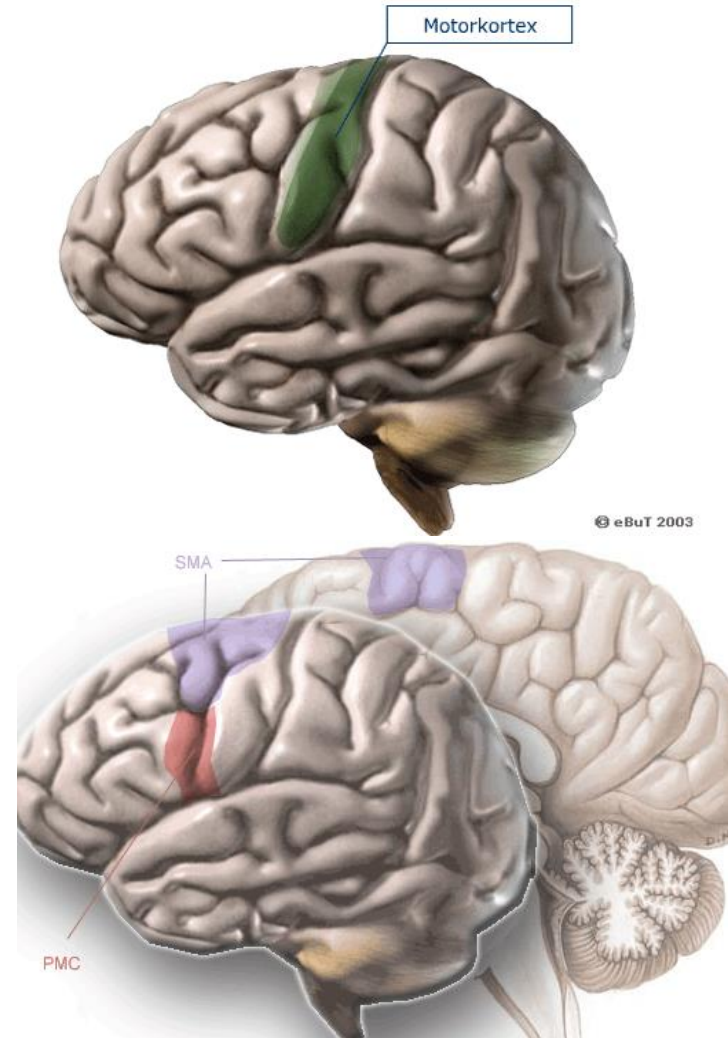


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Motorischer Cortex (Konczak, 2003; Lehmann-Horn, 2017; Kandel et al., 1996, 2013)

Wichtigste Areale (Motorcortex):

- Primär-motorischer Cortex:
Motorischer Homunkulus –
MI/SI (dyn.)
- Sekundär-motor. Cortex:
Supplementär-
und prämotorisches Areal:
SMA/PMA



5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems

Motorischer Cortex (Konczak, 2003; Lehmann-Horn, 2017)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

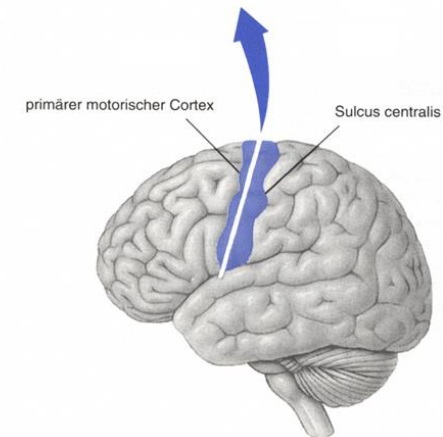
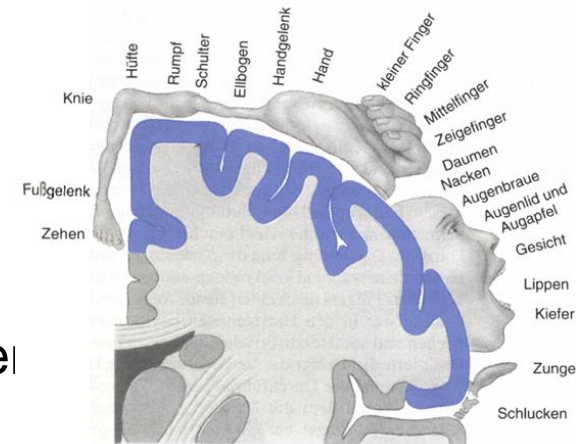
MI - Motorischer Homunkulus (Quelle: eBuT, 2003)

Funktionen - MI:

- Codierung globaler kinematischer und dynamischer Bewegungsparameter (z. B. Richtung oder Kraftrate)
- Bewegungslernen (initial)
- Kontrolle von Hand- und Fingerbewegungen

Ausfallssymptome:

- Lähmungen (kontralateral – MI)
- Reaktionszeit↑, Bewegungstempo↓
- Apraxie (Assoziationsfelder)



5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems

Motorischer Cortex (Konczak, 2003; Lehmann-Horn, 2017)

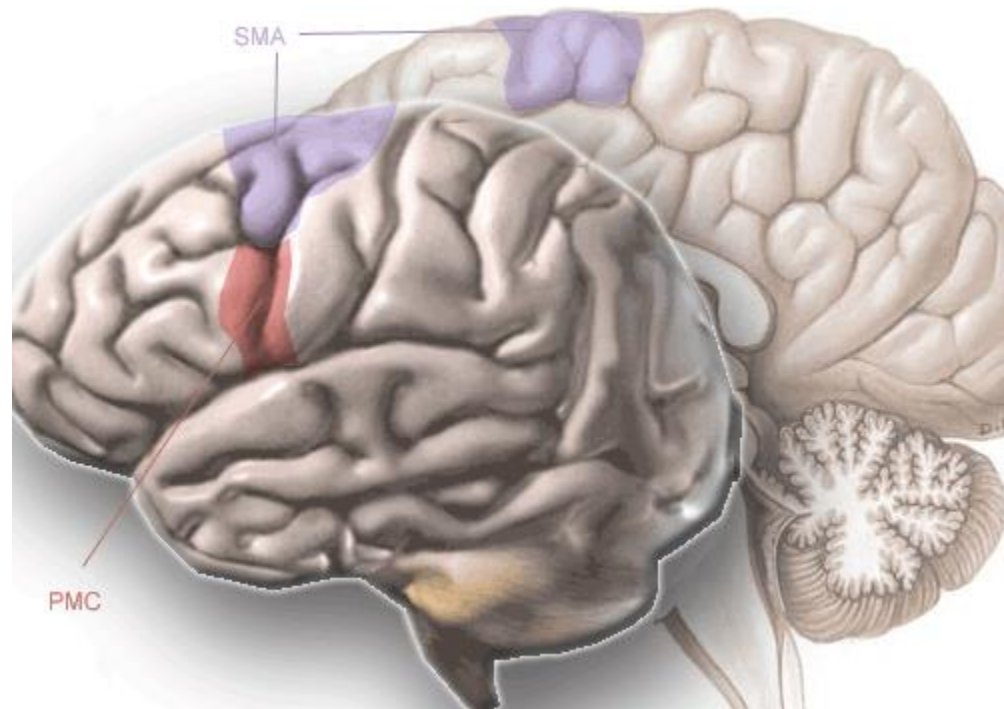


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Sekundär-motor. Cortex: Supplementär-
und prämotorisches Areal (**PMA/SMA**; Quelle: eBuT, 2003)

Funktionen PMA/SMA:

- (strategische) Planung
- Vorbereitung
(komplexe
Bewegungen)



5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems

Kleinhirn (Konczak, 2003; Lehmann-Horn, 2017)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Wichtigste Areale:

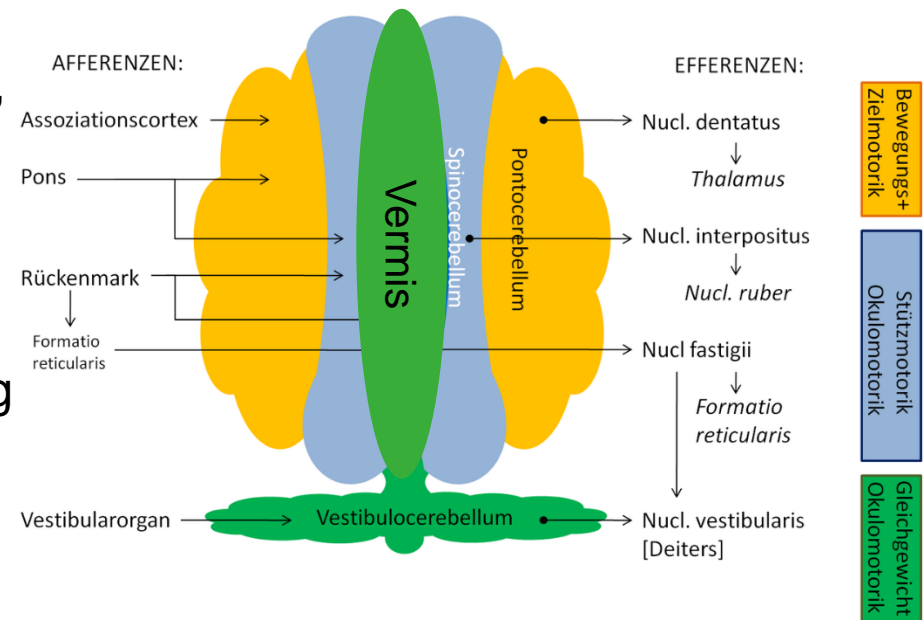
- Wurm (Vermis; Vestibulocerebellum), Kleinhirnhemisphären (Spino-/Pontocerebellum)
- Kleinhirnstiele und -kerne

Funktionen:

- Motorische Regelung und Steuerung (inverse Dynamik) – ballistische Zielmotorik, schnelle Feinmotorik
- Stütz- und Gangmotorik; Gleichgewicht/Lage im Raum
- Basale „Fehlerkorrektur“ (Lernen)

Ausfallsymptome – abhängig von der Lokation (s.o.):

- Dysmetrie, Gleichgewichtsstörungen
- Dysdiadochokinese (sequenzielle Bewegungen)
- Intentionstremor
- Dysarthrie (Sprechstörung)



(Quelle: www.wikimedia.org – ScarceCr0w, 2009)



5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Basalganglien (Konczak, 2003; Lehmann-Horn, 2017;
Doyon et al., 2009; Hélie et al., 2015; Kandel et al., 2013)

Wichtigste Areale –

5 subcorikale Kerne (Nuclei – Ncl.)

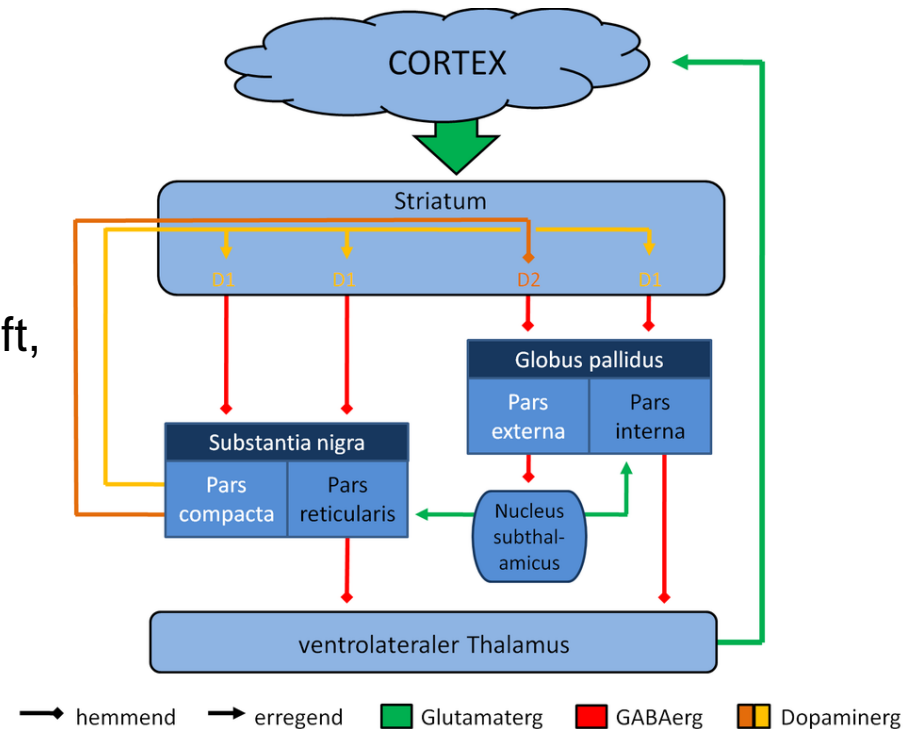
Striatum (Ncl. caudatus, Putamen),
Globus pallidus, Ncl. subthalamicus,
Substantia nigra, Ncl. accumbens

Motor. Funktionen:

- Koordination (Richtung, Amplitude, Kraft, Schnelligkeit; Sequenzen) – langsame Bewegungen
- Stützmotorik, Muskeltonus,
- Mimik, Gestik (Emotionen)
- Lernen – Sequenzen und Anpassung (Doyon et al., 2009)

Ausfallsymptome – abh. v. Lokalisation:

- Bradykinese (Verlangsamung), Tremor, Rigor
- Chorea – Ballismus (Schleudern)
- Athetose, Akinese (Verarmung)



(Quelle: www.wikimedia.org –
ScarceCr0w, 2009)

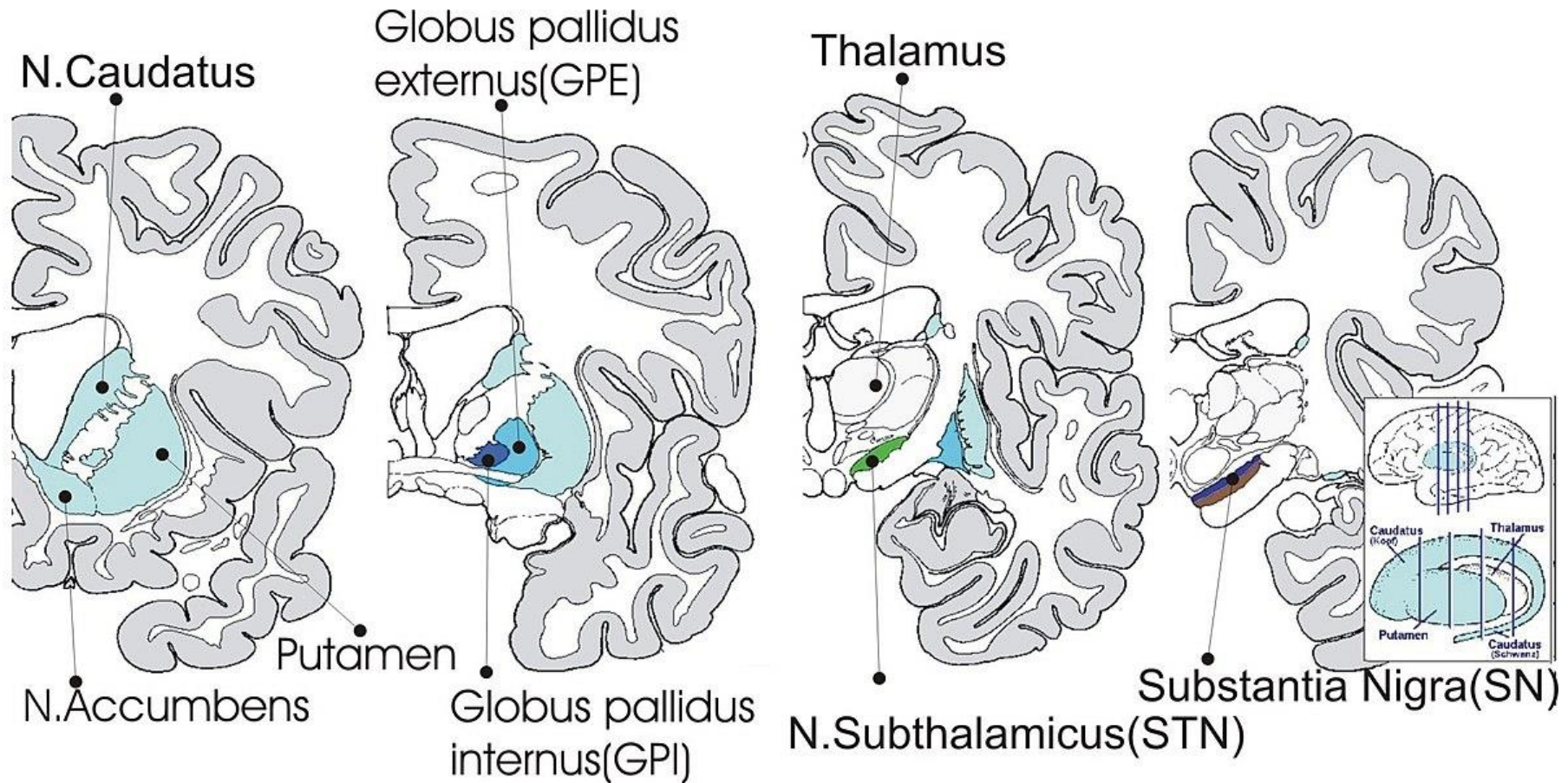


5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems

Basalganglien und ihre Interaktionen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Quelle: Wikimedia.org

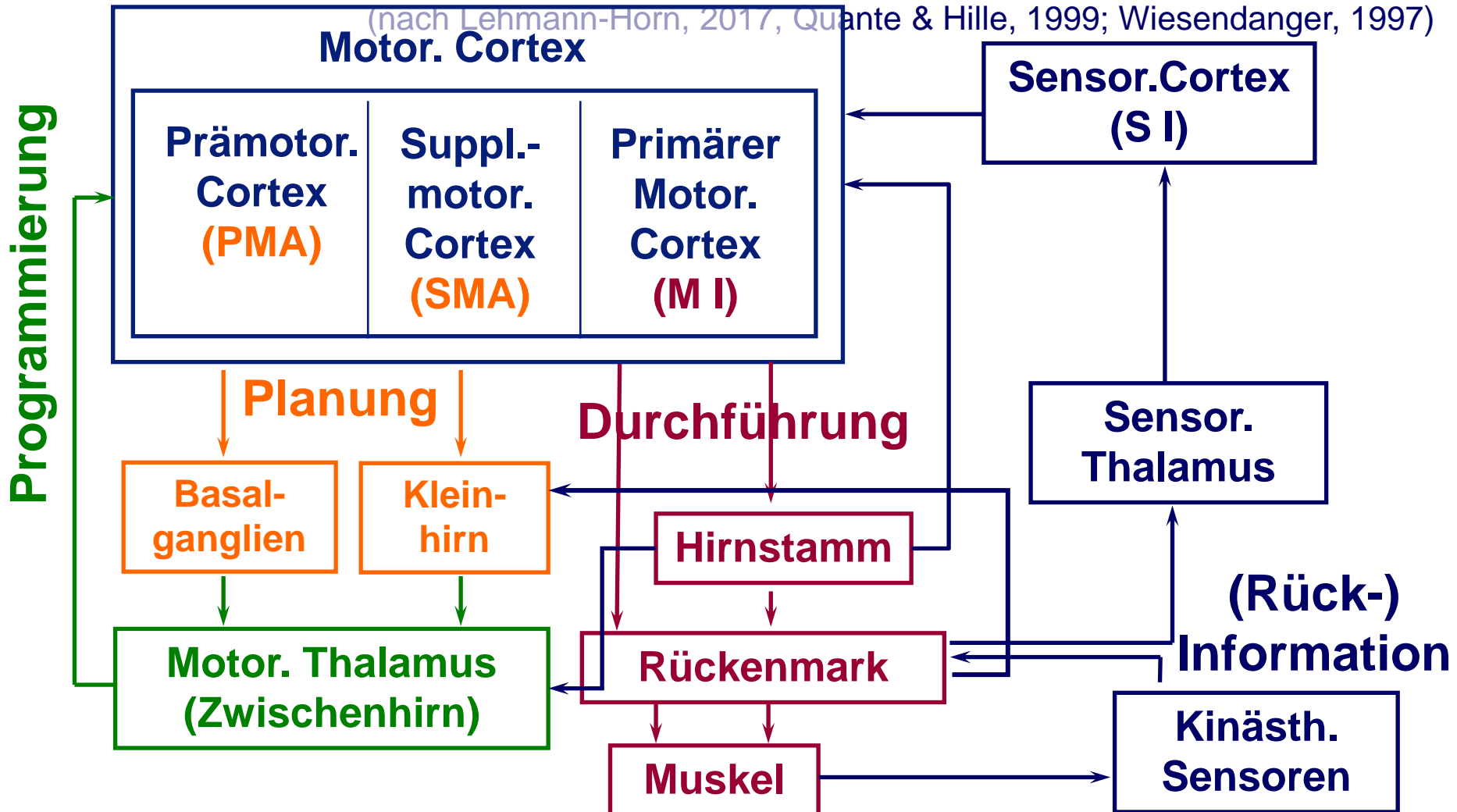


5.3.3 Nervenimpulse (Informationsfluss) im Verlauf einer Bewegung

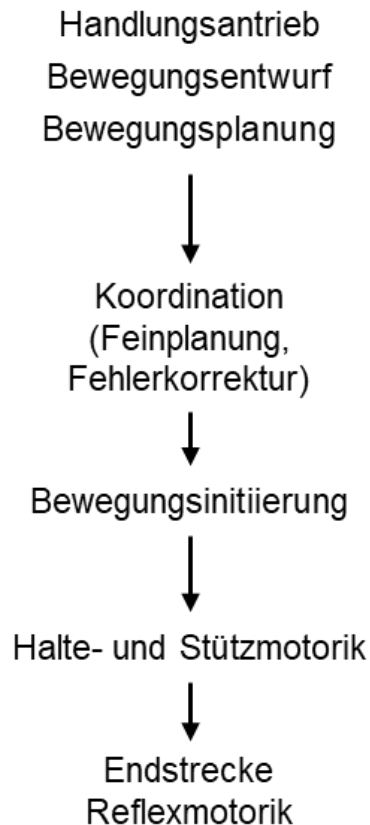
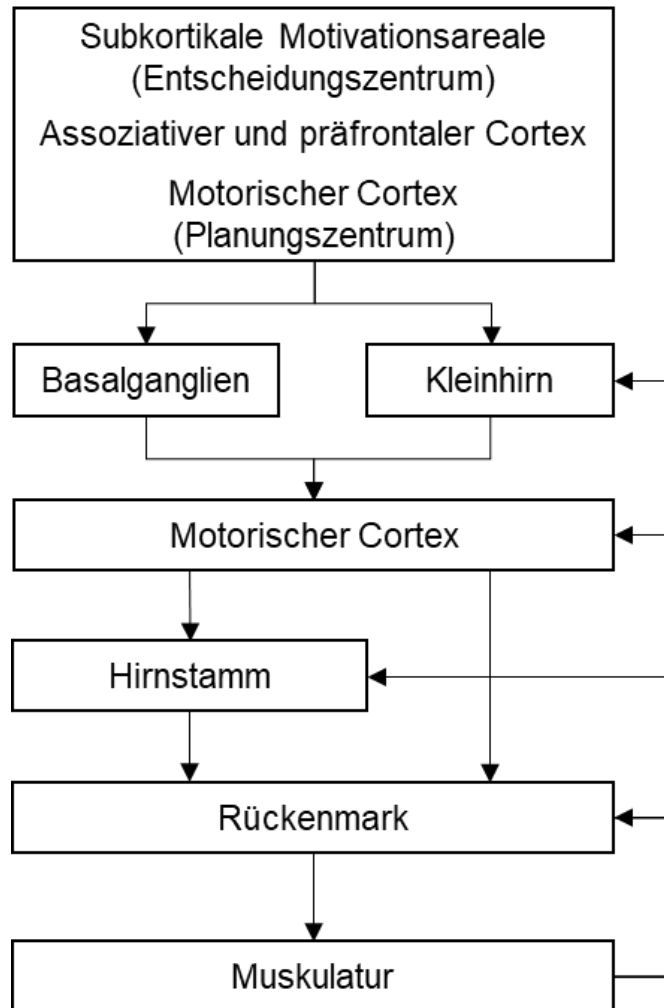


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

(nach Lehmann-Horn, 2017; Quante & Hille, 1999; Wiesendanger, 1997)



5.3.4 Sensomotorische Funktionen des ZNS





(modifiziert nach Wiemeyer & Wollny, 2019, S.10)

5.3.4 Sensomotorische Funktionen des ZNS



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

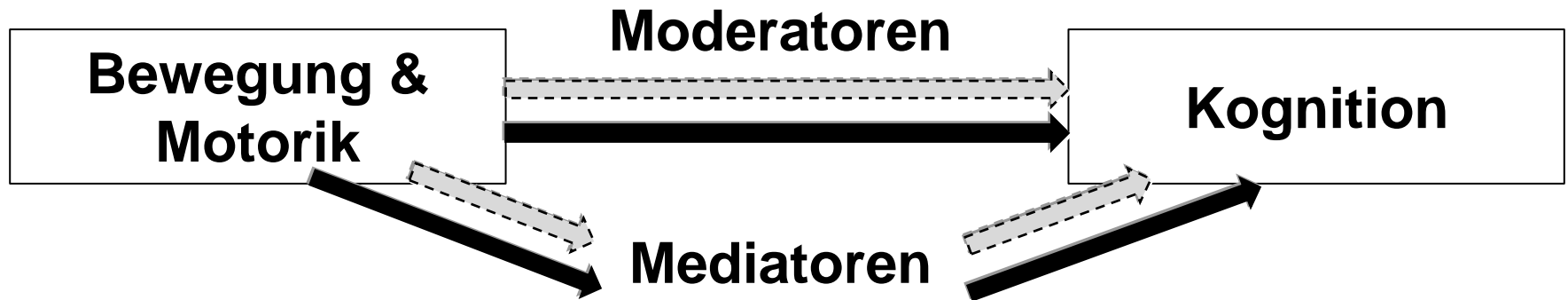
Quellen: Lehmann-Horn (2017); Doyon et al. (2009); de Marées (2002); Kandel et al. (1996, 2013)

Gebiet des ZNS	Funktion (👉 Beispiel)	 
SMA, PMA	Vorbereitung, Kontrolle, Initiierung (komplexe Bewegungen)	
M I	Grobplanung, Ausführung („Exekutivorgan“) Korrektur („Long-loop-Reflexe“, über S I) Lernen (initial)	
Kleinhirn	Motorische Regelung und Steuerung (inverse Dynamik) – ballistische Zielmotorik, schnelle Feinmotorik Stütz- und Gangmotorik; Gleichgewicht/Lage im Raum Basale „Fehlerkorrektur“ (Lernen)	
Basalganglien	Koordination (Richtung, Amplitude, Kraft, Schnelligkeit; Sequenzen) – langsame Bewegungen Stützmotorik, Muskeltonus, Mimik, Gestik (Emotionen) Lernen – Sequenzen und Anpassung	
Hirnstamm	Stützmotorik (Muskeltonus, reaktive/ proaktive Anpassung)	
Rückenmark	Spinalmotorik (Reflexe, elementare Bewegungsprogramme)	

5.3.4 Motorik und Kognition – Oder: Macht Bewegung schlau(er)?



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Motorik	Moderatoren	Mediatoren	Kognition
Fertigkeiten Fähigkeiten: •Kondition •Koordination Beanspruchungs- parameter	Alter & Gender Genetik Sozialstatus Soziale Umwelt Leistungsniveau Erfahrungen	Neuro-/Synapto-/ Angiogenese Gesundheit & Fitness Psychosoziale Faktoren Psychophysische Aktivierung Lokale Durch- blutung	Qualität: Sensorik, WN, Gedächtnis, Behalten, Transfer, Handlungs- regulation etc. Quantität: Geschwindigkeit, Genauigkeit, Leistungsgüte etc.

Ende Kapitel 5 – Teil 3

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



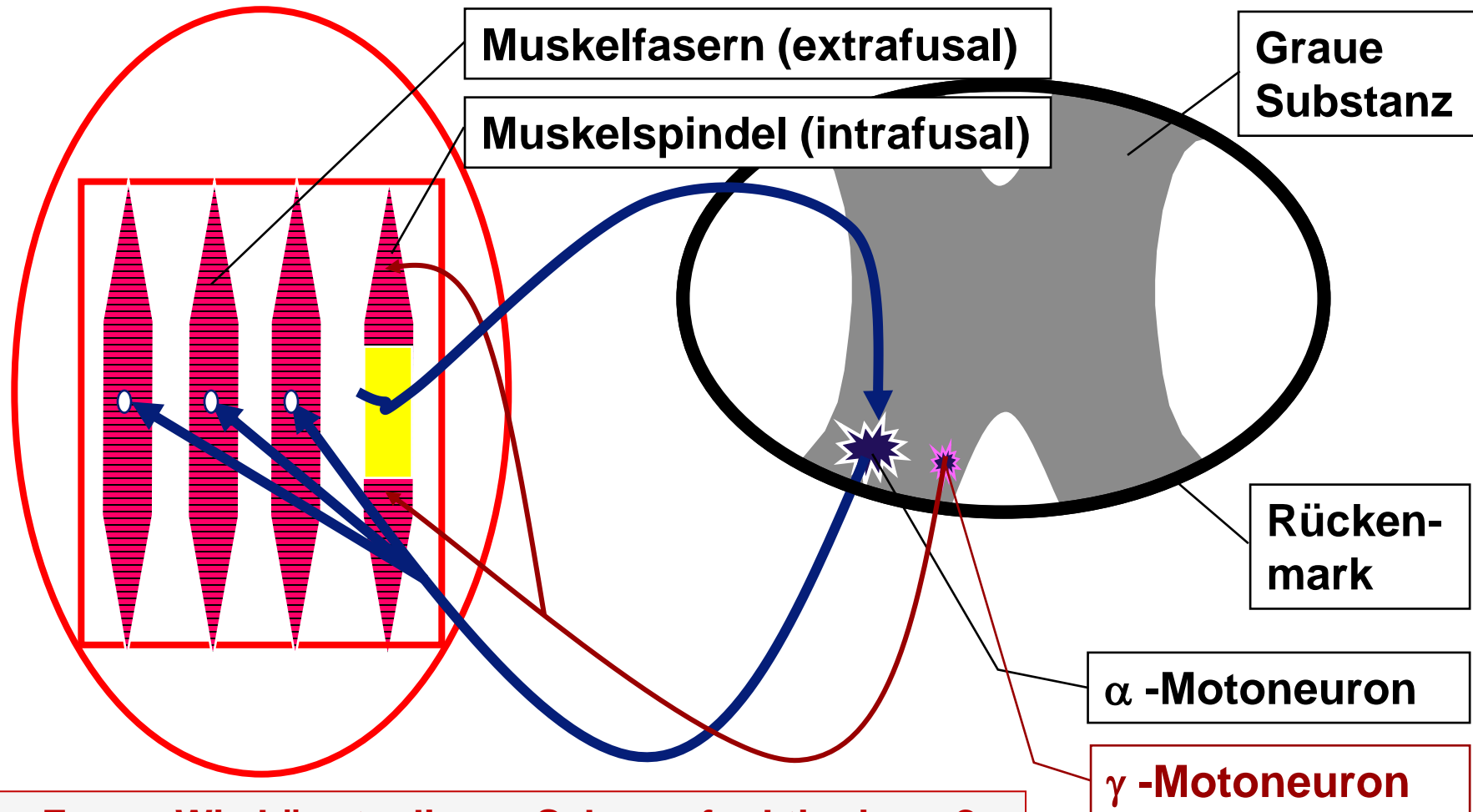
- **Wo stehen wir?**

Motorische Areale des ZNS –
Funktion und Zusammenspiel –
Motorik - Kognition

- **Lernziele:**

➤ Funktionen der Spinalmotorik erläutern können

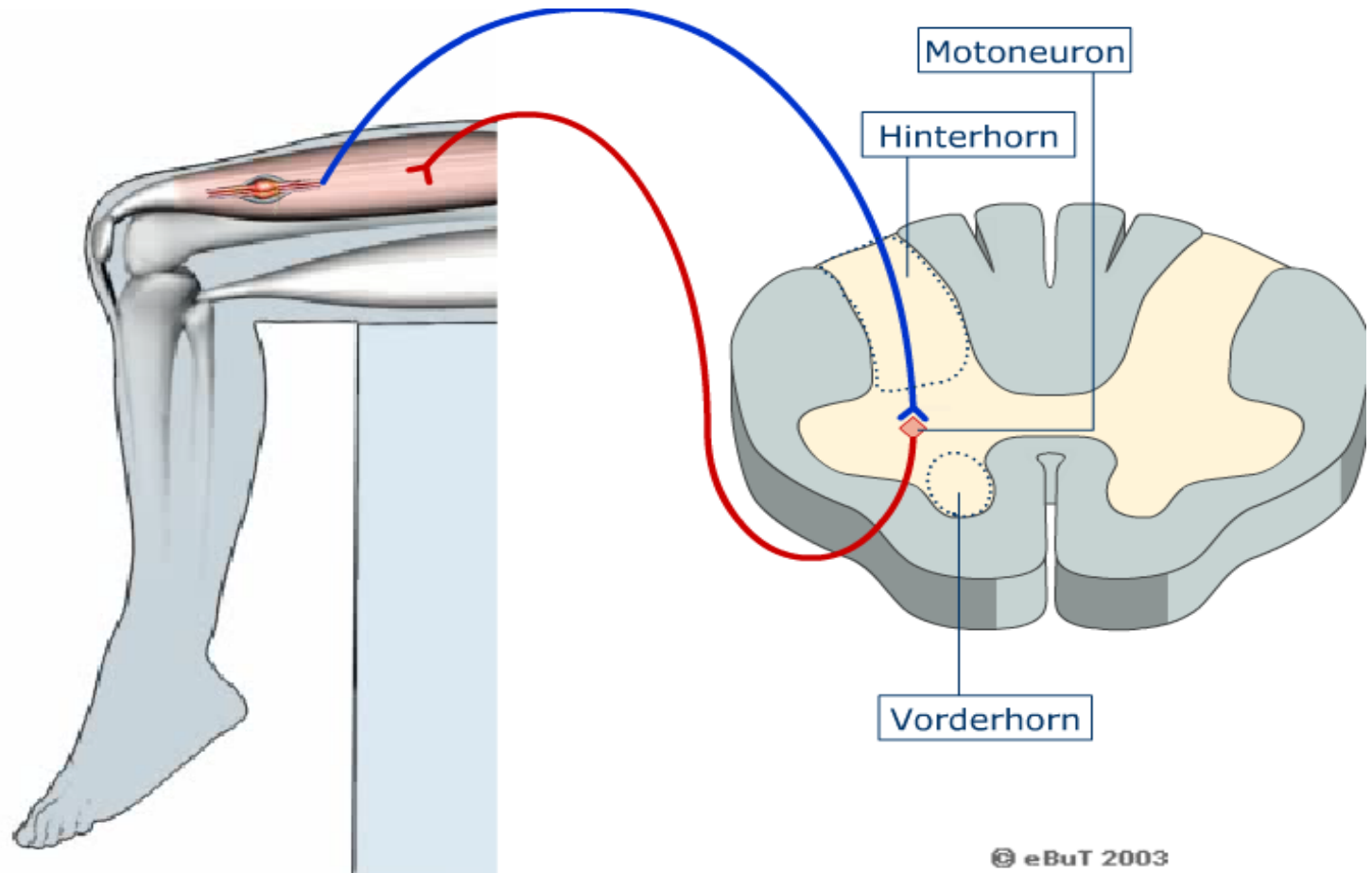
5.4 Spinalmotorik - schematisch



5.4 Spinalmotorik - konkret



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

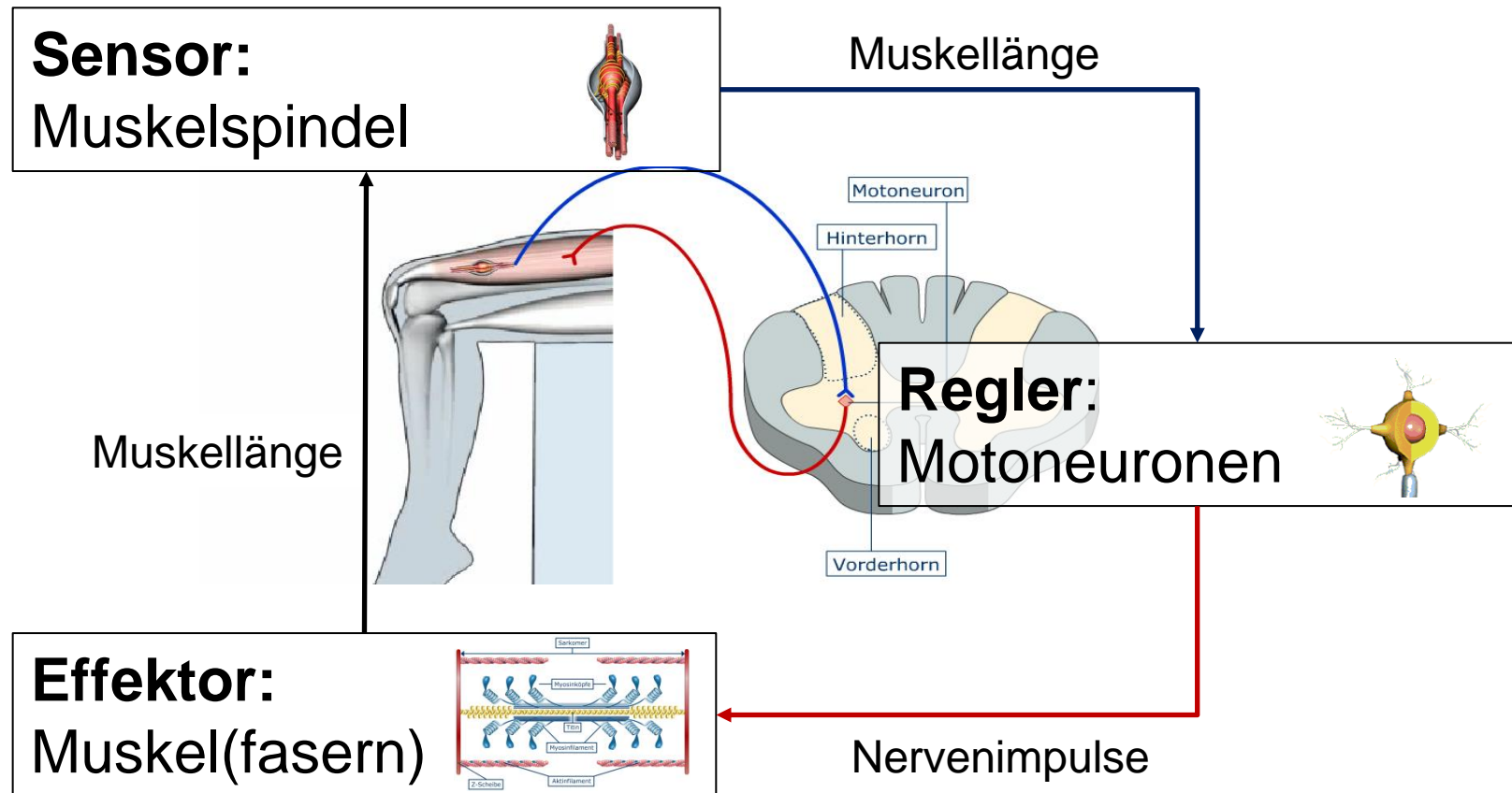


© eBuT 2003

5.4 Spinalmotorik – Regelkreismodell



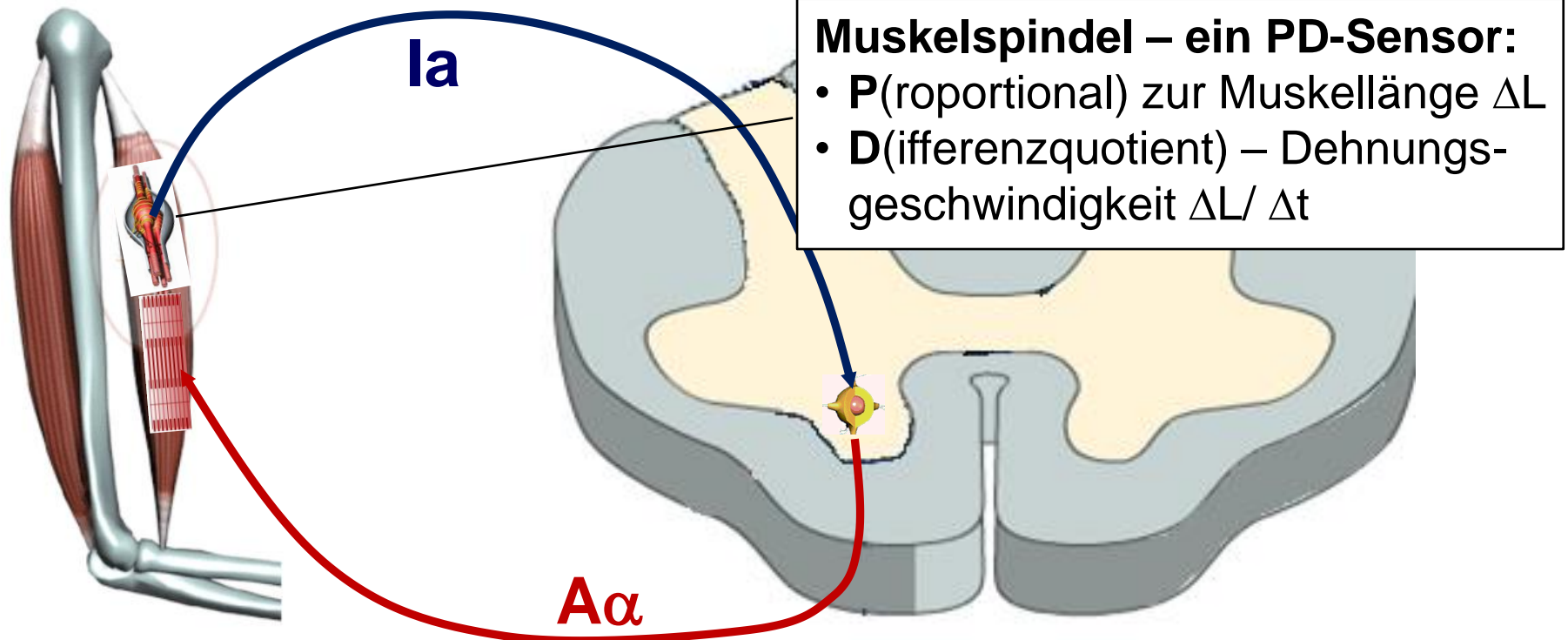
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



5.4 Spinalmotorik - Muskeldehnungsreflex



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

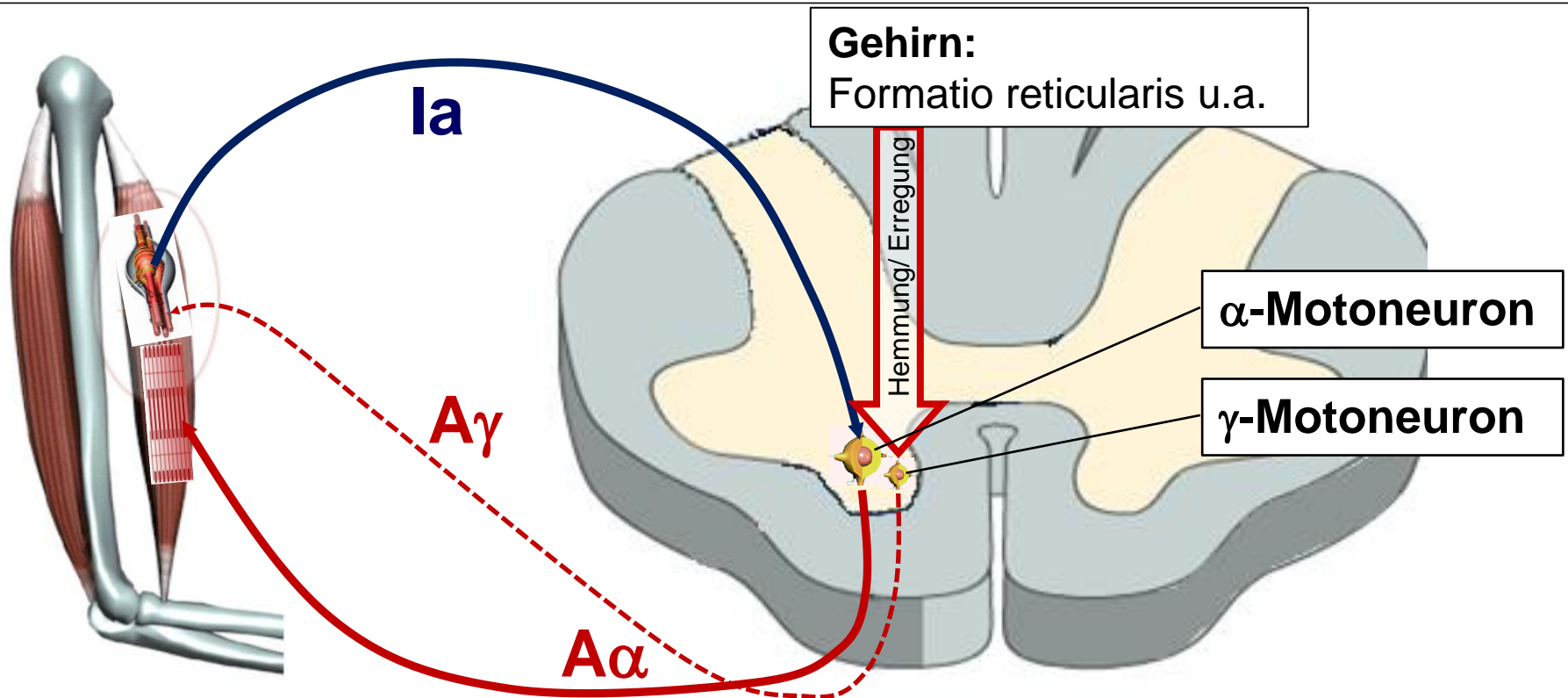


Fazit: Schnelle Dehnung → **sehr** schnelle Kontraktion (D)
Langsame Dehnung → langsame Kontraktion (P)



Frage: Unter welchen Bedingungen kann man diesen Mechanismus nutzen, wann muss man ihn vermeiden?

5.4 Spinalmotorik - Supraspinale Einflüsse



Fazit („γ-Schleife“):

Psychische/physische Beanspruchungen → Motoneuronen-Erregbarkeit

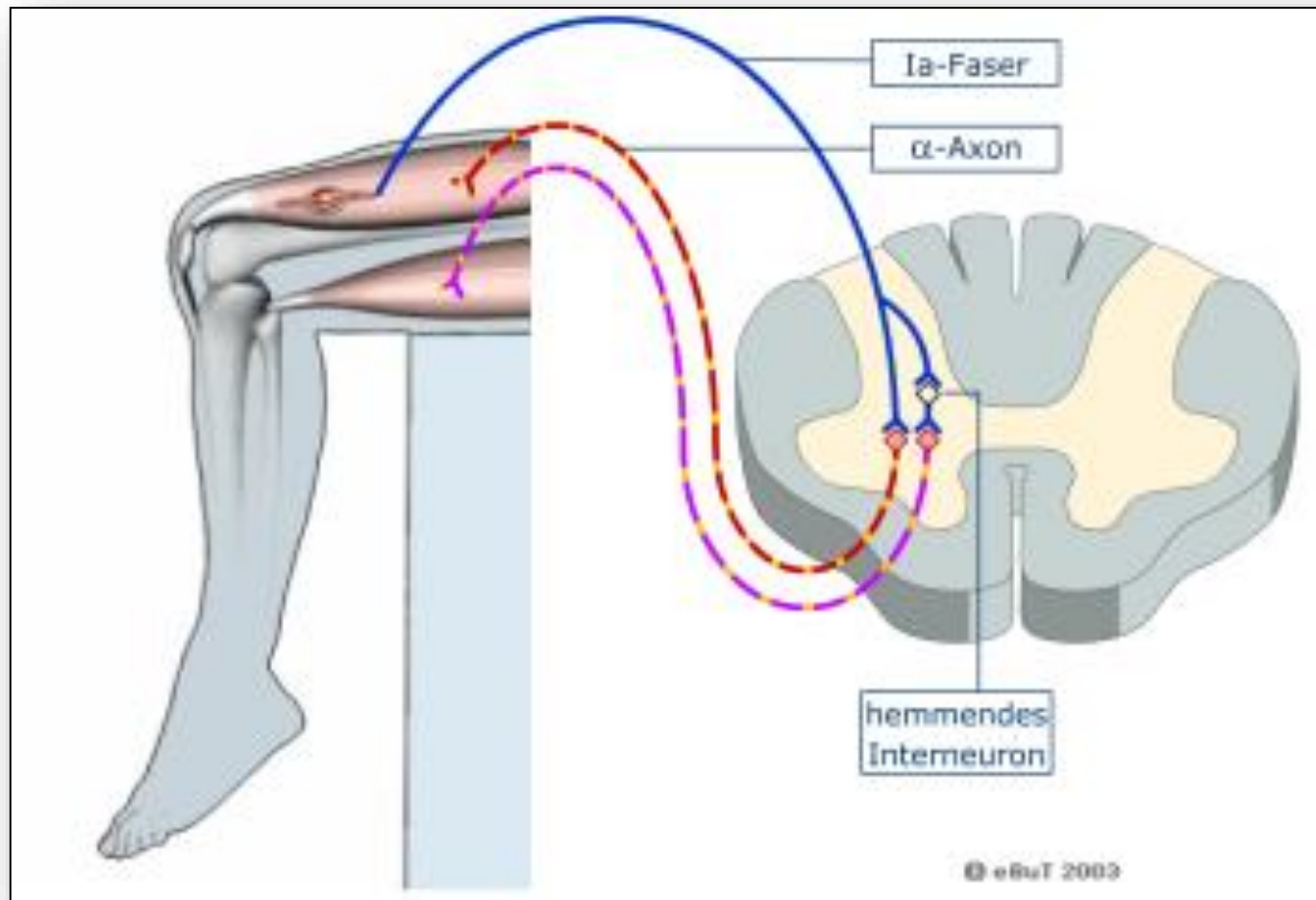
Frage: Was bedeutet das für die Praxis der Lehrens/Lernens?

5.4 Spinalmotorik – weitere Reflexe

Reziproke antagonistische Hemmung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

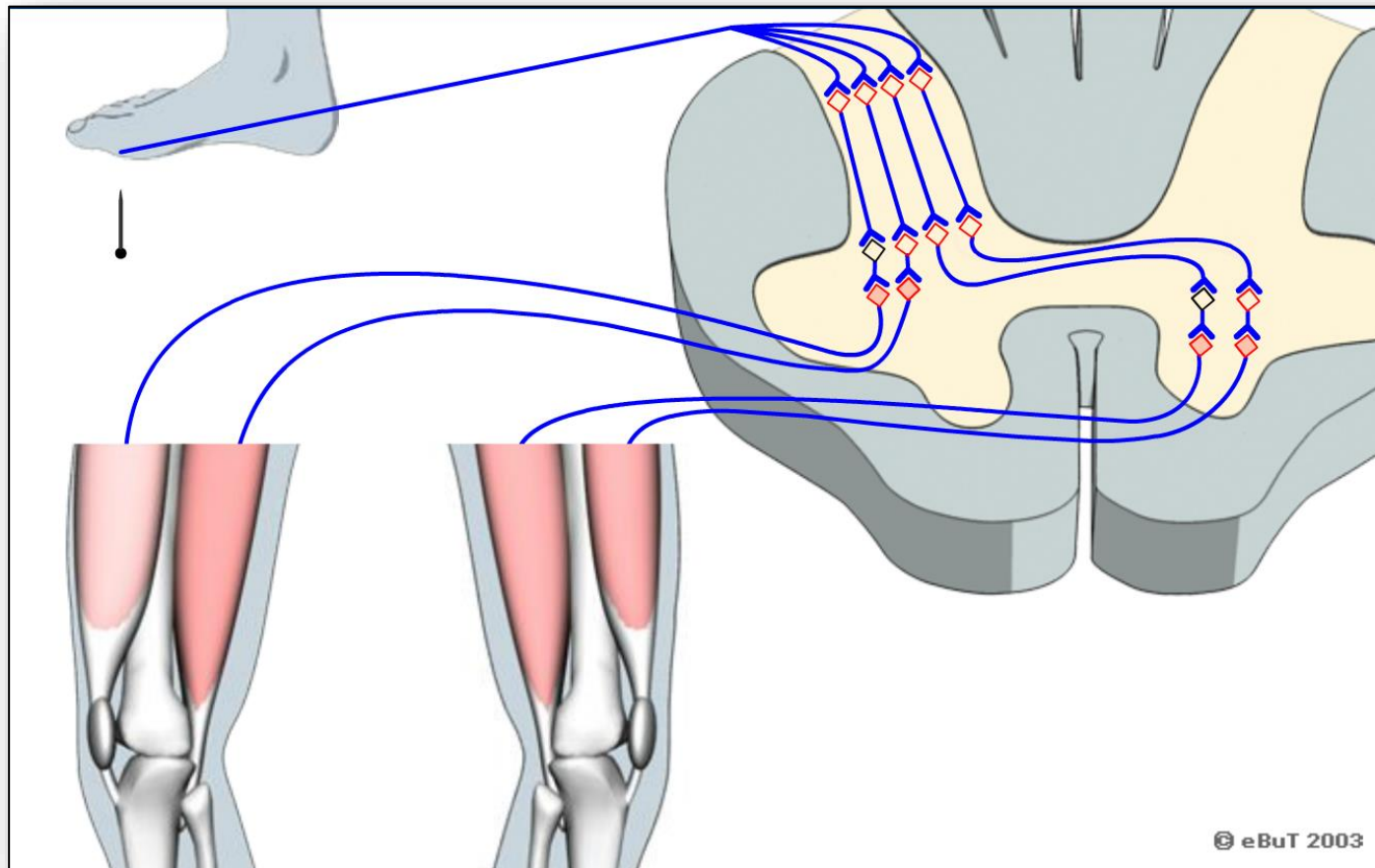


Quelle: eBuT (2003)

5.4 Spinalmotorik – weitere Reflexe

Schutzreflex

Reflex: polysynaptisch, Fremdreflex



Ende Kapitel 5 – Teil 4

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)





- **Wo stehen wir?**

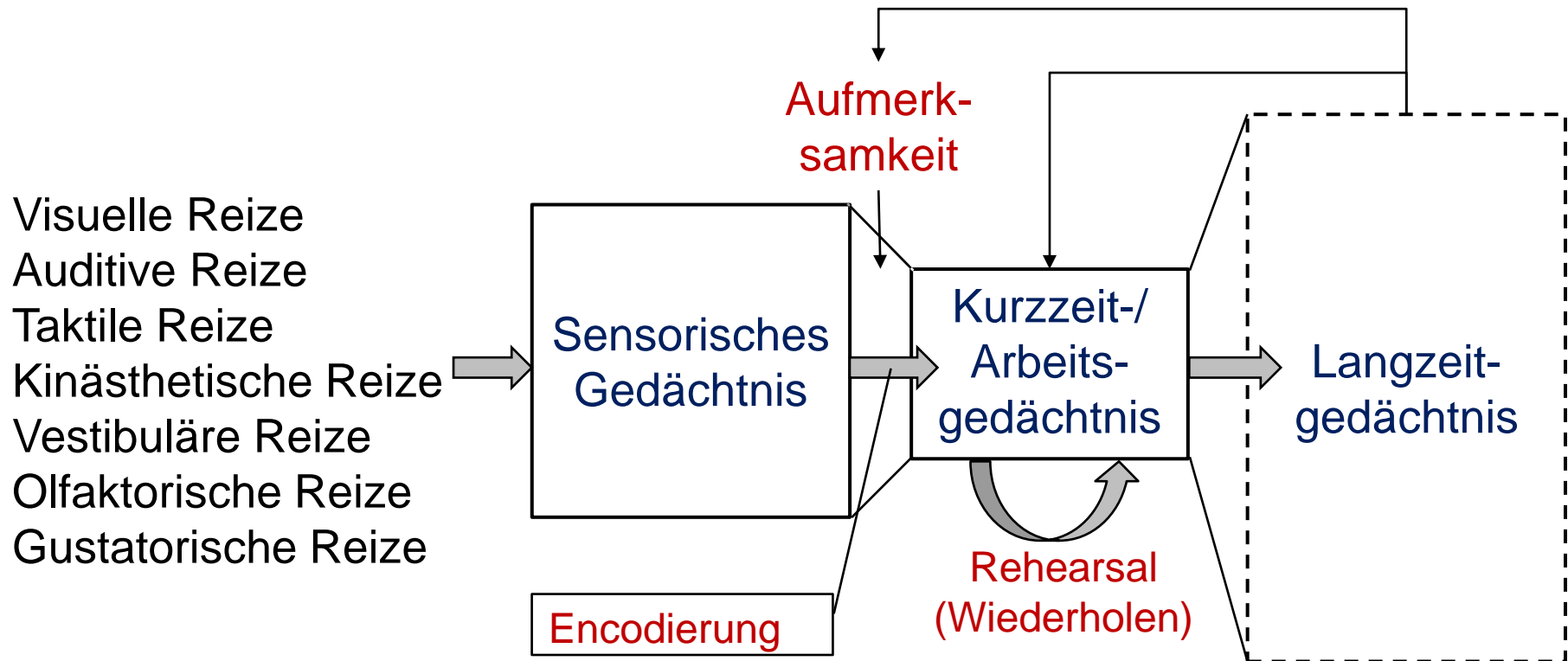
Bewegung und Kognition

Spinalmotorik – Reflexe

- **Lernziele:**

- Das allgemeine Gedächtnismodell erläutern können
- Das Schema-Modell erläutern können
- Die Grundannahmen von Repräsentationsansätzen erläutern können

5.5 Psychologische Modelle - Allgemeines Gedächtnismodell

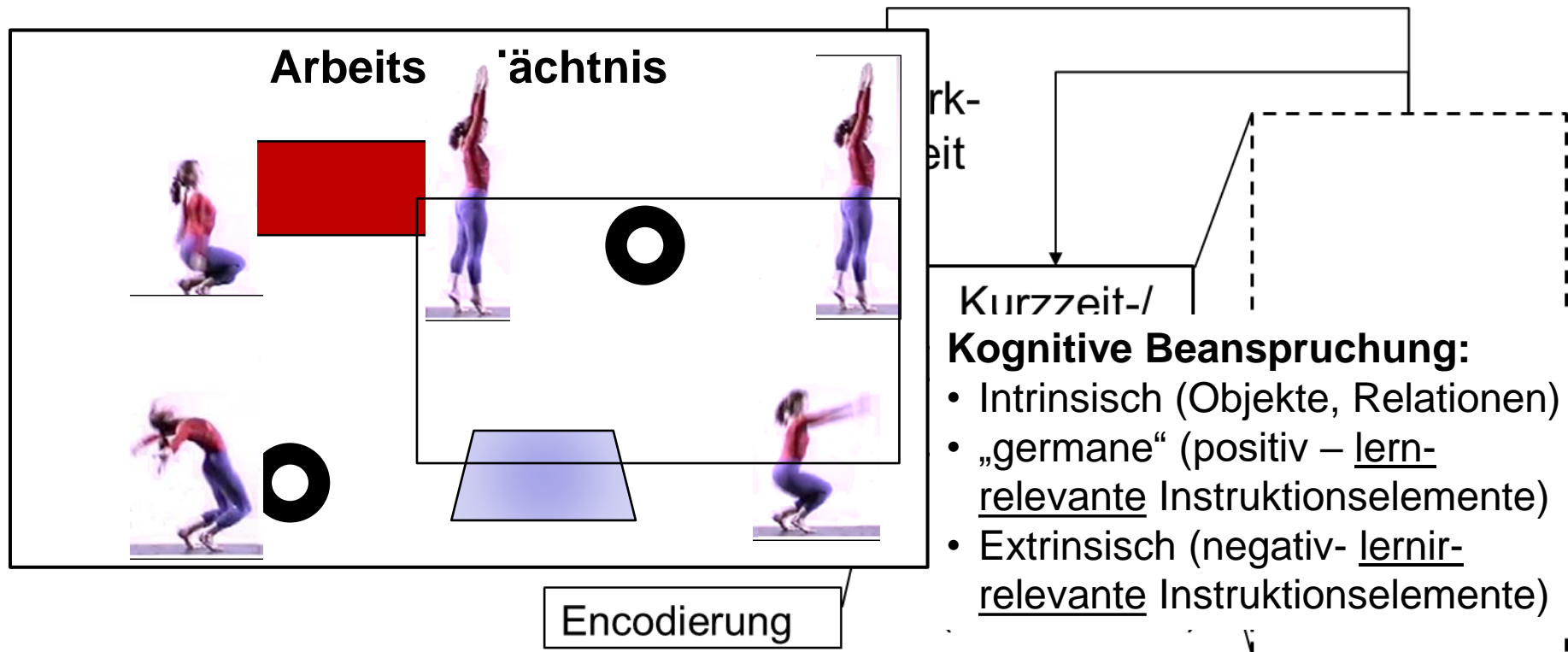


Quellen: Baddeley, 2012; Furley, 2012; Schmidt et al., 2007; Silverthorn, 2009

5.5 Psychologische Modelle – Arbeitsgedächtnis & kognitive Beanspruchung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

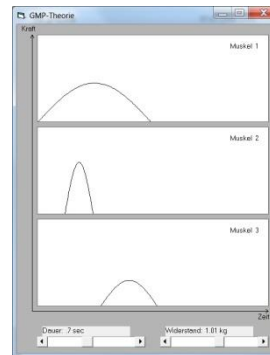


Frage: Wie kann man die kognitive Beanspruchung reduzieren?

Quellen: Baddeley, 2012; Furley, 2012; Chandler & Sweller, 1991; Paas, Renkel & Sweller, 2003; Leppink et al., 2013; Sweller, 2010

5.5 Psychologische Modelle

Informationsverarbeitungsansatz



Aufgabe:

Verändern Sie an den beiden Schiebereglern Bewegungszeit und Widerstand!

Fragen:

1. Welche Merkmale der Kraft-Zeit-Kurven verändern sich?
2. Welche Merkmale der Kraft-Zeit-Kurven bleiben gleich?

5.5.1 Modell Generalisierter Motorischer Programme (**GMP**)



GMP-Modell von Richard A. Schmidt

- **3 Invarianten:**

- Relatives Timing
- Relative Kraft
- Muskelreihenfolge

- **3 Parameter:**

- Absolute Bewegungszeit
- Absolute Kraft
- Aktivierte Muskeln

- **Belege - Überblick:**

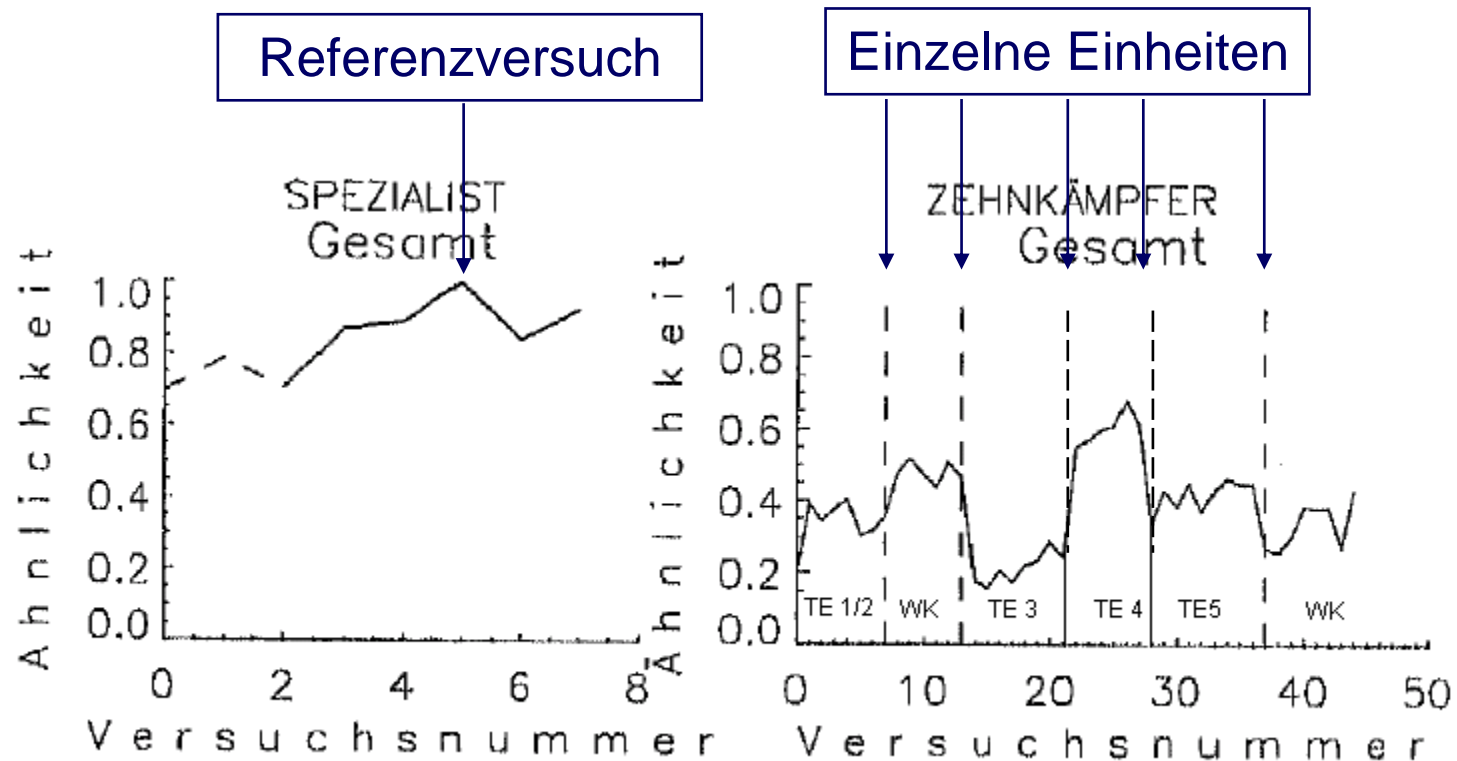
Roth (1989), Wiemeyer (1982a, 1994), Wollny (1993)

Fragen:

- 1. Wie werden spezifische Parameter in das GMP eingesetzt?**
- 2. Wie werden GMP und Parametrisierung gelernt?**

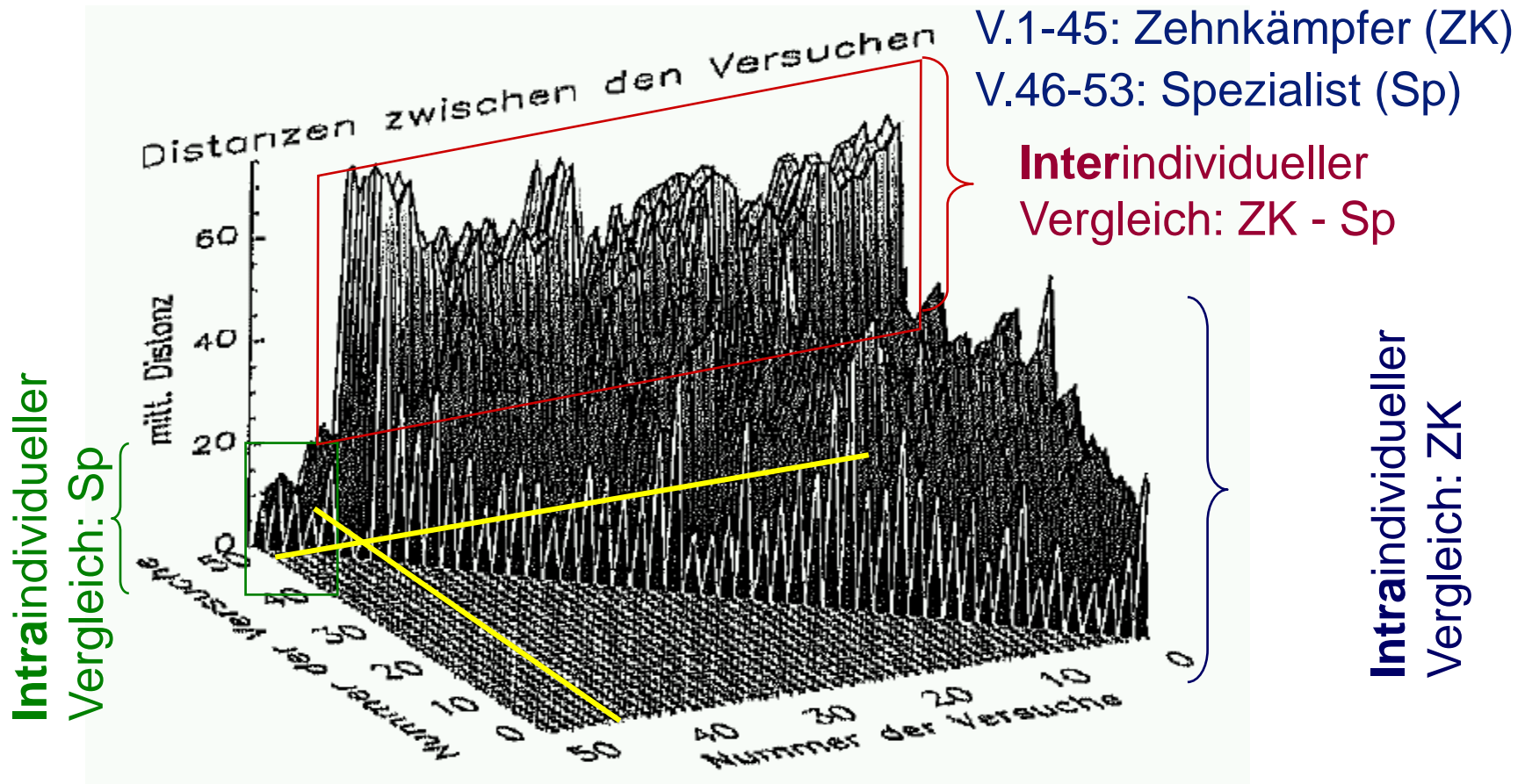
5.5.1 Modell Generalisierter Motorischer Programme (**GMP**)

**Ein kritischer Befund – Selbstähnlichkeit von Diskuswürfen
über ein Jahr (Schöllhorn, 1997a und b; Schöllhorn & Bauer, 1999)**

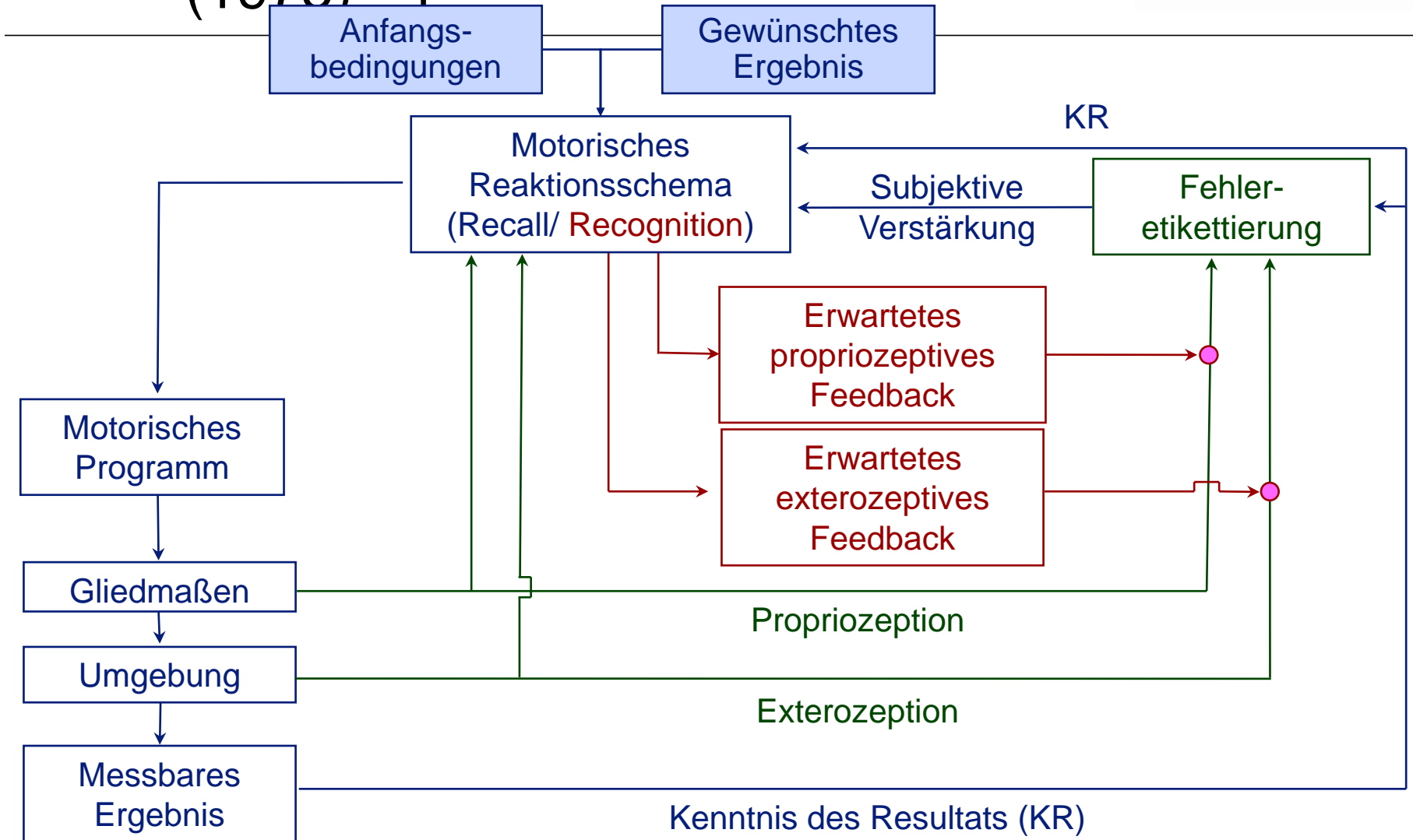


5.5.1 Modell Generalisierter Motorischer Programme (**GMP**)

Ein kritischer Befund – Selbstähnlichkeit von Diskuswürfen (Schöllhorn, 1997a und b)



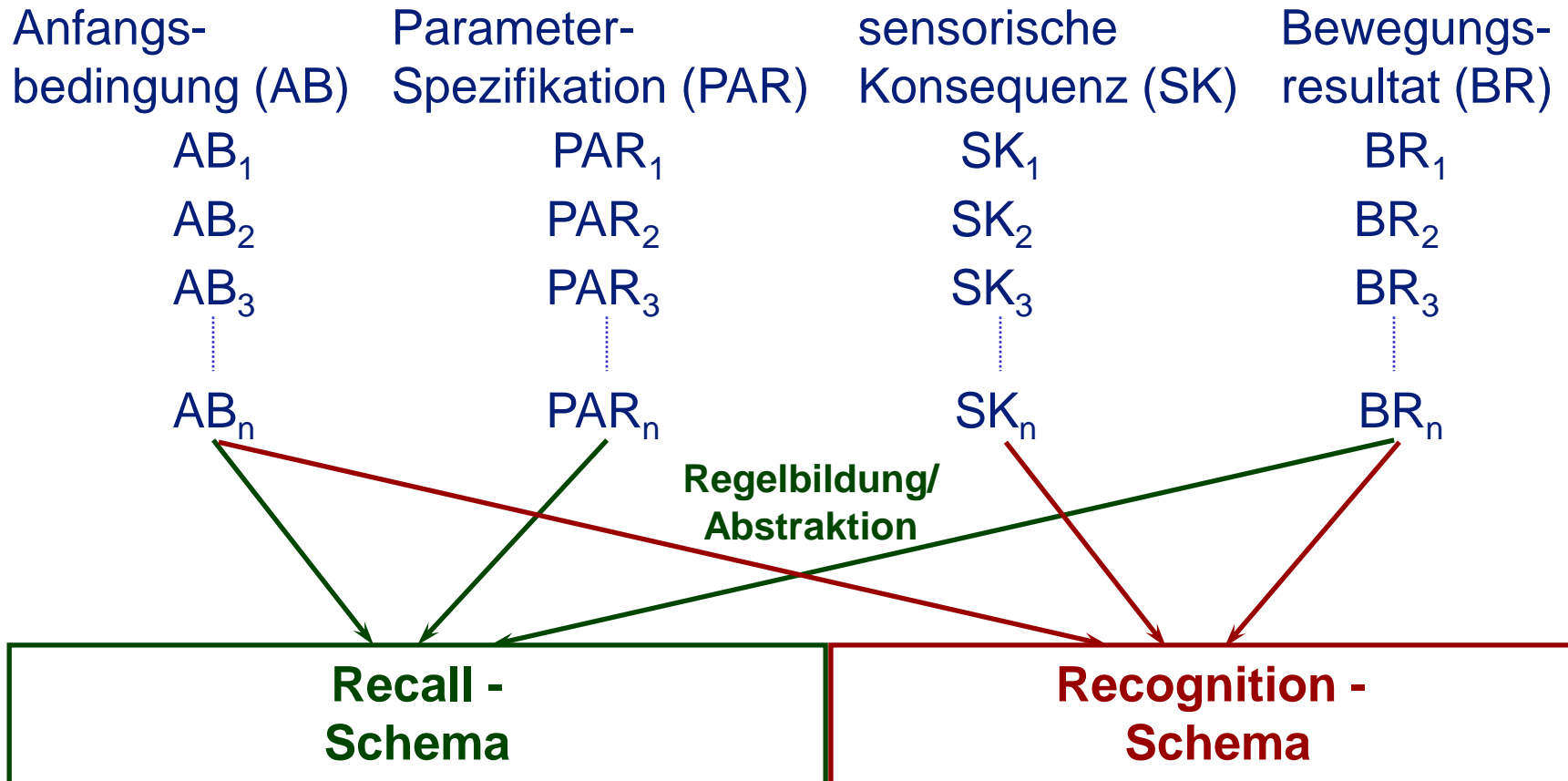
5.5.2 Schema-Modell nach Schmidt (1975) - 1



5.5.2 Schema-Modell nach Schmidt (1975) - 2

- Grundannahmen des Schema-Modells (Computer-Analogie!)

4 Speicherinhalte:



5.5.2 Schema-Modell nach Schmidt (1975) - 3



- **Stabilitäts- und Variabilitätsannahmen des GMP-Modells:**
 - Artefakt-Problem
 - enge Grenzen (fast nur **metrische** Variationen)
 - widersprüchliche und widersprechende Befunde (Übersicht: Wiemeyer, 1992a, 1994; Wollny, 1993)
- **Wichtigste Prognose des Schema-Modells:**
 - “variability of practice” – Hypothese*
 - ☞ geringe Evidenz (van Rossum, 1990)

5.5.2 Schema-Modell nach Schmidt (1975) - 4

- **Weitere Kritik** (z.B. Munzert, 1989 ; Wiemeyer, 1992a und b, 1994; Newell, 2003; Schmidt, 2003; Sherwood & Lee, 2003)
 - viele Unklarheiten
 - zu enge Modellgrenzen (topologische Varianten)
 - Vernachlässigung des Programmierlernens
 - Vernachlässigung kognitiver Prozesse (Modelllernen, Feedback-Verarbeitung, kognitiver Aufwand etc.)
- **Alternative Modelle** (Überblick: Wiemeyer, 1994; Wollny, 1993; Birklbauer, 2006)
 - *Operational Timing*: Relatives Timing, **konstante** absolute Zeit
 - *Motorikschema*: Topologische Invarianten (Munzert, 1989)
 - *Masse-Feder-Modelle*: Äquilibriumpunkte (Endpunktkontrolle)
 - *Oszillationsmodelle*: Überlagerung von Schwingungen

Ende Kapitel 5 – Teil 5



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



- **Wo stehen wir?**

Allgemeines Gedächtnismodell

GMP-Modell – Schema-Modell

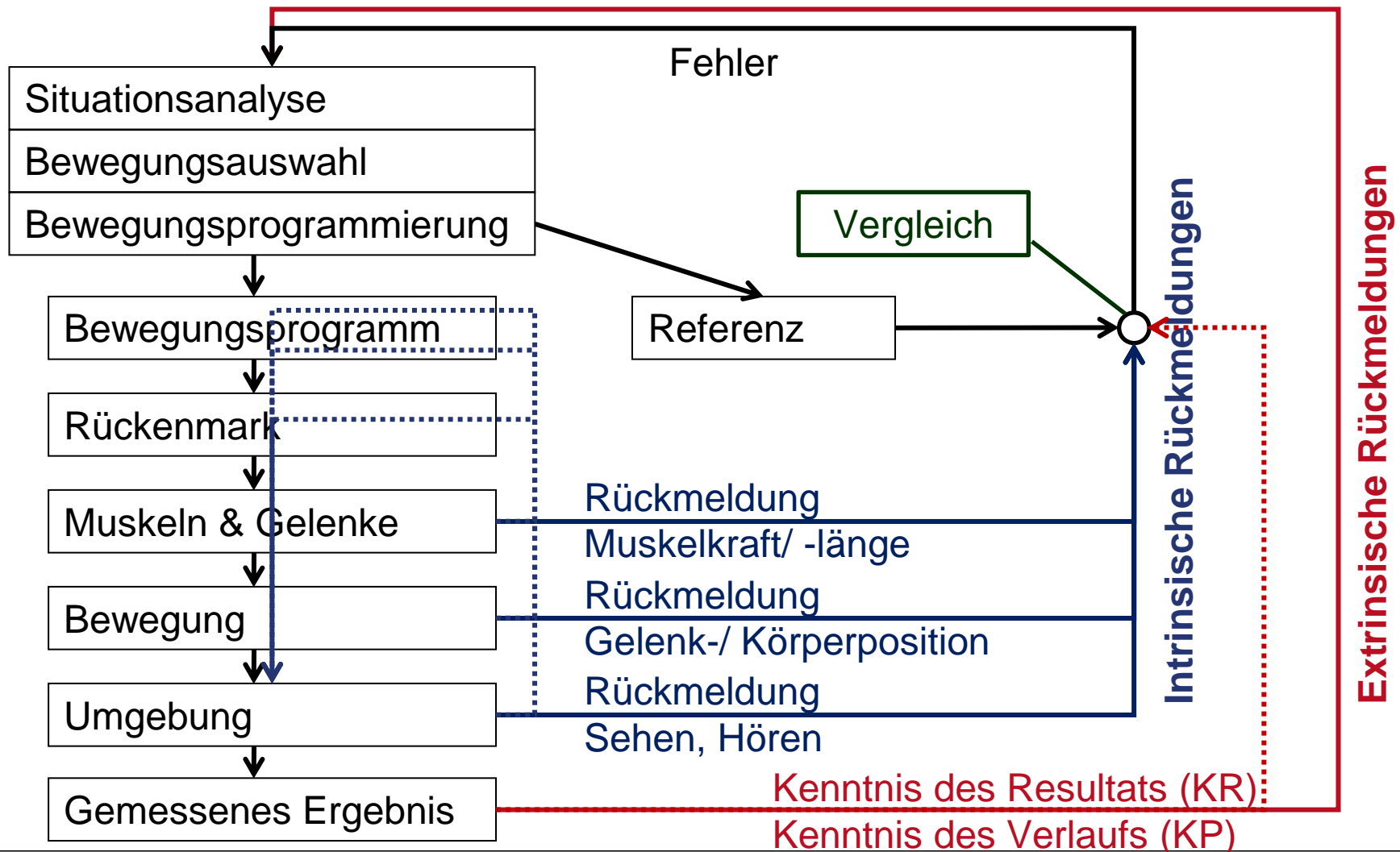
- **Lernziele:**

- Allgemeine Annahmen der Repräsentationsansätze erläutern und kritisch reflektieren können
- Das Konzept der internen Modelle erläutern und einordnen können
- Den Modularitätsansatz erläutern können

5.5.2 Generalisierung – Allgemeines Modell (modifiziert/ergänzt nach Schmidt, 1991, S.265)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



5.5.2 Hintergrund: Die Computer-Metapher (nach Wollny, 1993, S.37)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Computer

Beschreibung eines spezifischen Problems
Übertragung in eine höhere
Programmsprache

Transformation durch den
Compiler in Maschinensprache

Ausführung des Programms
durch den Prozessor

Sichtbares Ergebnis (z.B.
Druckvorgang)

Mensch

Bewegungsvorstellung im
Limbischen System
Übertragung in ein abstraktes
motorisches Programm

Transformation durch den
Hirnstamm in neuromuskuläre
Impulse

Ausführung des motorischen
Programms durch die
Skelettmuskulatur

Sichtbares Ergebnis
(z.B. Rolle vorwärts)

5.5.3 Interne Modelle – alter Wein in neuen Schläuchen?



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

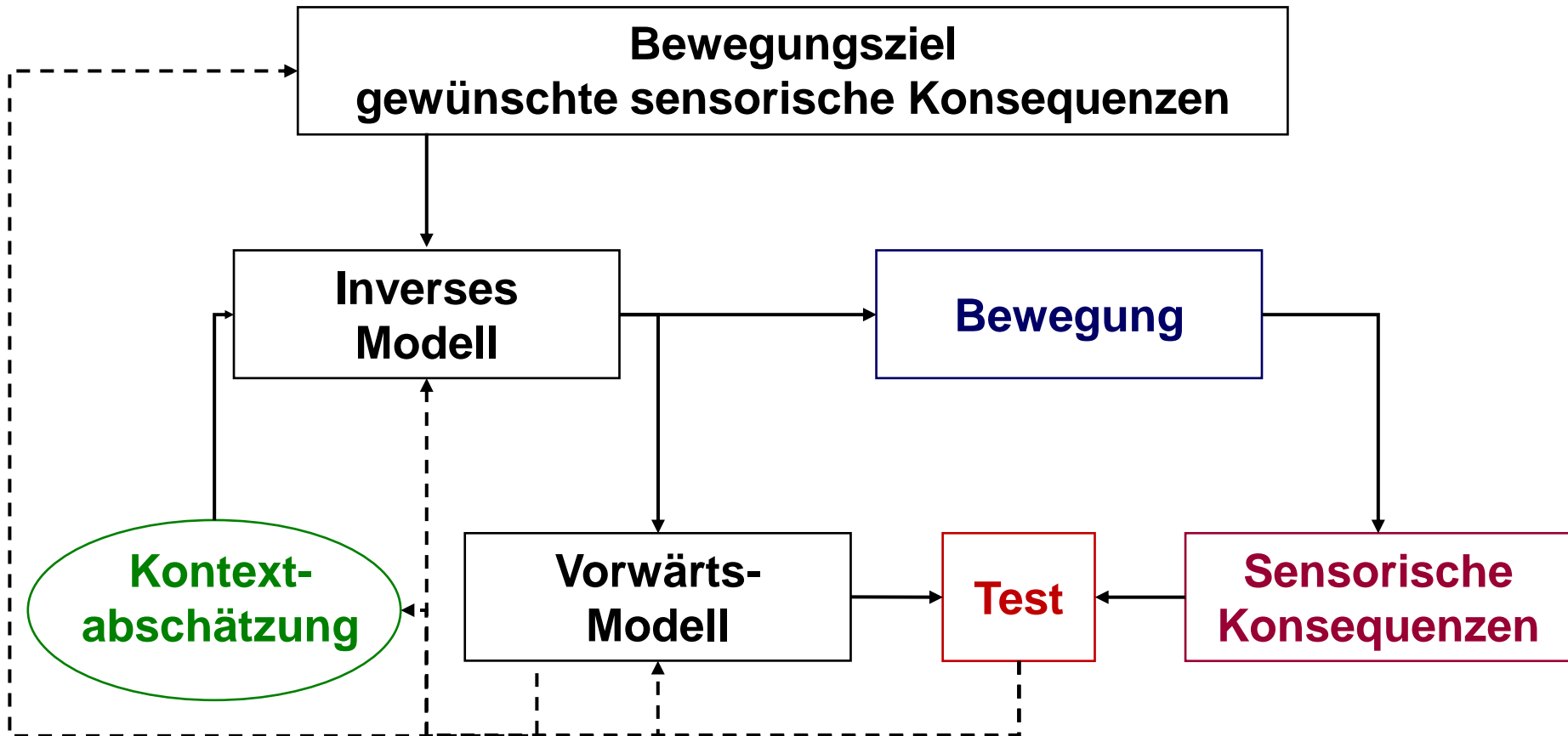
Internes Modell (z. B. Schiebl, 2006)

- „neuronale Repräsentation der funktionalen Relationen zwischen motorischen Kommandos und sensorischen Ereignissen bzw. Konsequenzen“ (Schiebl, 2006, S.4)
- Verbindungsstelle von Sensorik und Motorik
- Inverse Modelle:
Bewegungsziele → Winkel, Kräfte, Muskelaktionen
- Vorwärts-Modelle:
Winkel, Kräfte, Muskelaktionen → Bewegungsergebnis
- Integration

5.5.3 Interne Modelle – alter Wein in neuen Schläuchen?



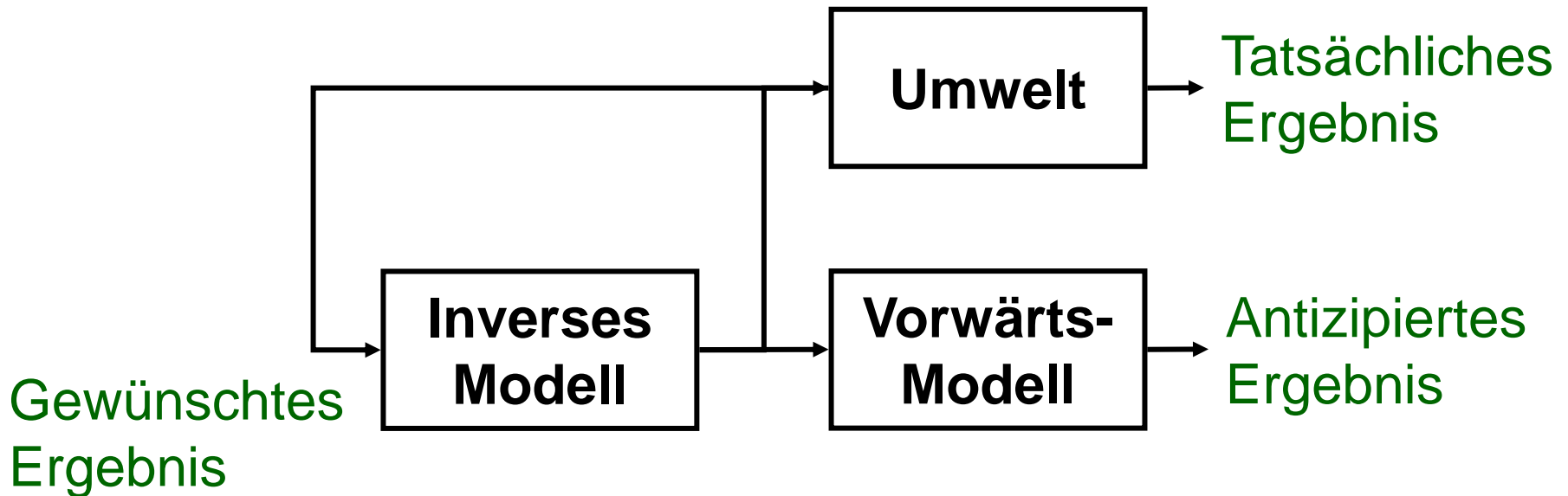
Integriertes Modell (Schiebl, 2006, S.16)



Aufgabe: Vergleichen Sie dieses Modell mit dem Schema-Modell!

5.5.3 Interne Modelle – alter Wein in neuen Schläuchen?

Kernfrage: Was muss mindestens repräsentiert werden?
(Antwort: Hossner & Künzell, 2003)



5.6 Modularitätshypothese (1)



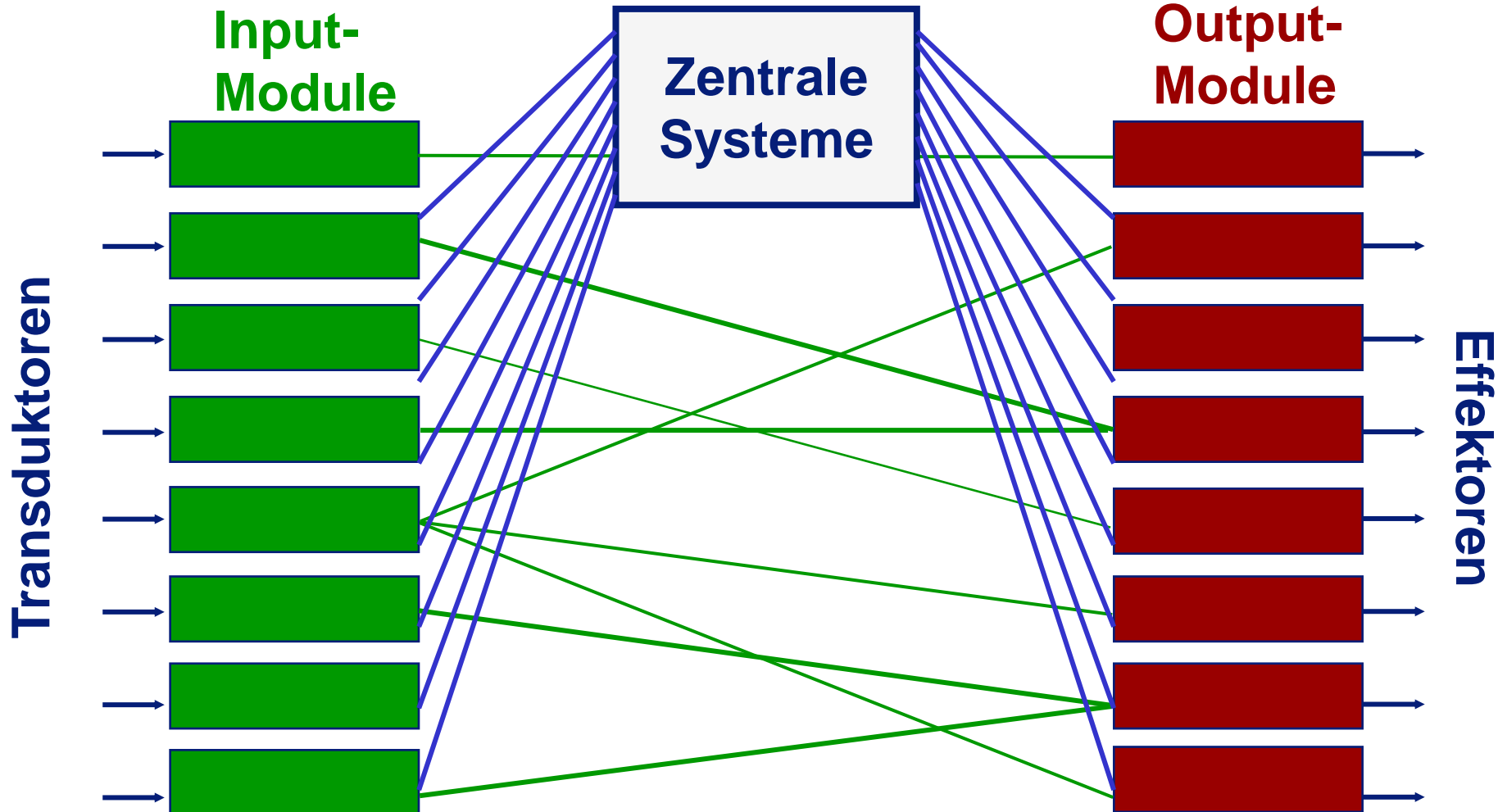
Grundannahmen (vgl. Fodor, 1985; Hossner, 1995)

- „Modul“ - computationales System mit folgenden Eigenschaften
 - Domänenspezifität
 - Informationelle Einkapselung, Autonomie
 - Fixe neurale Assoziation, Unzerlegbarkeit
 - Genetische Präspezifikation, charakteristische Ontogenese, spezifische Ausfallmuster
 - grobe kategoriale sensor./ motor. Spezifikation
 - schnell
- Zentrales System
 - nicht-modular, integrative Funktion
 - domänenneutral
 - willkürliche Kontrolle

Frage: Wie könnten Module und zentrale Systeme zusammenarbeiten?

5.6 Modularitätshypothese nach Fodor (1985)

[nach Hossner, 1997, S.57; Roth & Hossner, 1999, S.215]



5.6 Modularitätshypothese (4)

*Technikbausteine für eine spezifische Situationsklassengruppe im Volleyball
(Feldabwehr von Blockabprallern und über/neben den Block gelegten Bällen)*
[nach Hossner & Kortmann, 1996, 1997]

Input- Module

- Ausgangsposition wählen
- Ball im Blick halten
- Angriffsort vorwegnehmen
- Blockposition beobachten
- Spielpunkt des Balles vorwegnehmen
- Laufwege beobachten
- Schlagrichtung vorwegnehmen

Zentrale Systeme

Output- Module

- Sich verfügbar machen
- Laufweg zum Ball anpassen
- Bewegungswinkel zum Ball anpassen
- Bewegungstempo zum Ball anpassen
- Körperschwerpunkt ausbalancieren
- Armbeugewinkel steuern
- Handgelenkwinkel steuern
- Krafteinsatz steuern

Ende Kapitel 5 – Teil 6



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)





- **Wo stehen wir?**

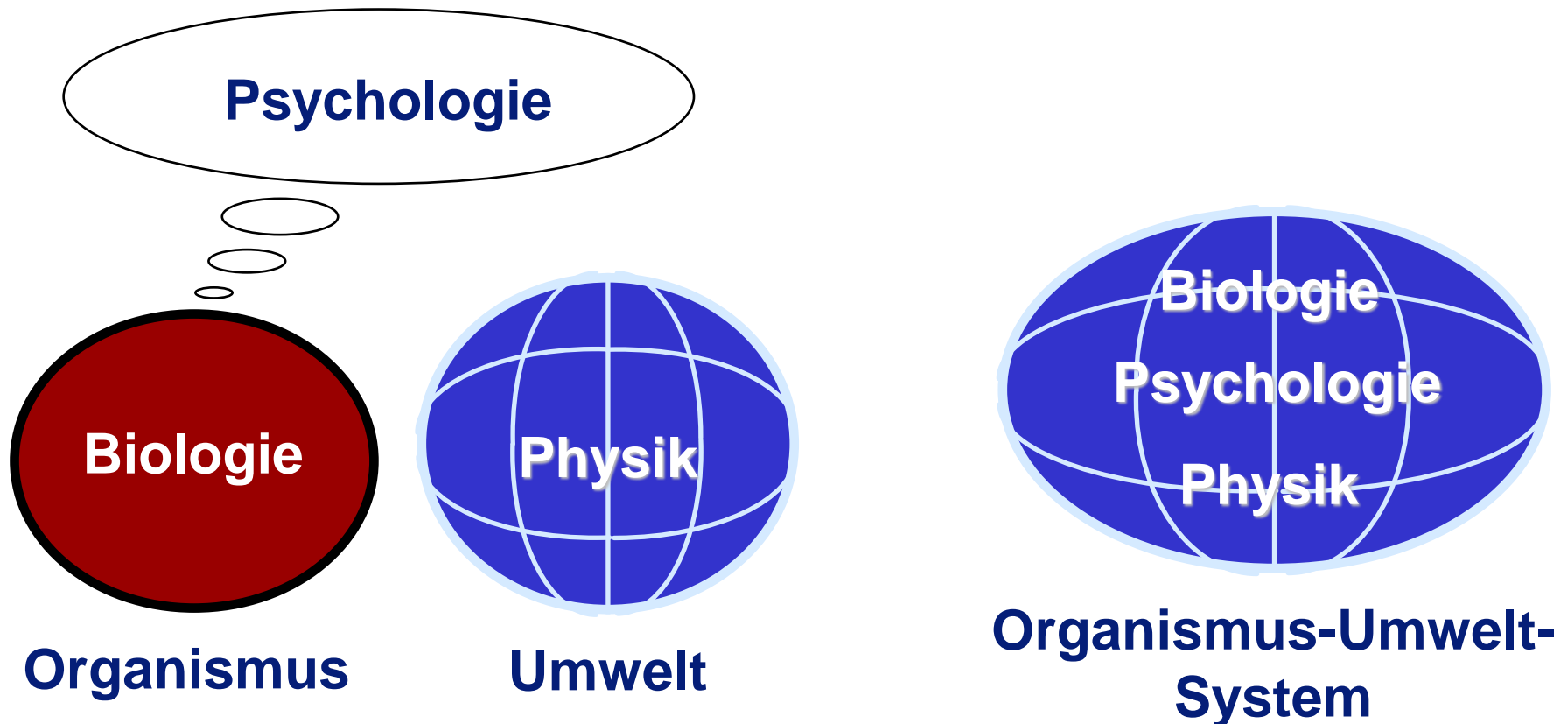
- Allgemeines Repräsentationsmodell – Computer-Analogie
- Interne Modelle
- Modularitätsansatz

- **Lernziele:**

- Die Grundannahmen des ökologischen Realismus/ dynamischer Systemansätze erläutern können

5.7 Ökologischer Realismus – systemdynamische Ansätze

Der traditionelle Dualismus von Organismus und Umwelt und das Organismus-Umwelt-System der ökologischen Optik (nach Michaels & Carello, 1981, zitiert nach Kebeck, 1994, S.290)

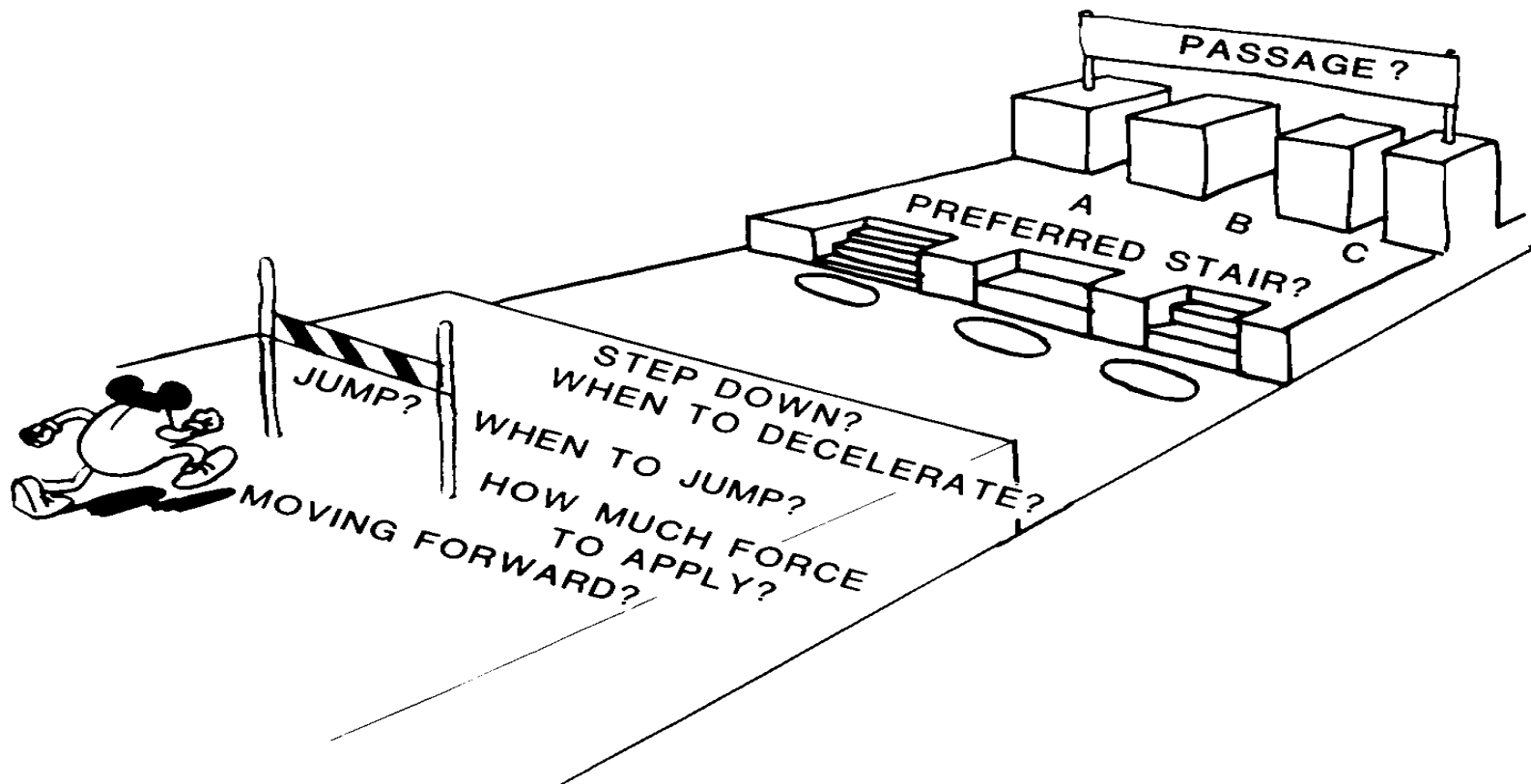


5.7.1 Grundposition des ökologischen Ansatzes (1)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Ein kleiner Ausschnitt aus den Handlungsproblemen eines sich bewegenden Lebewesens (aus Turvey & Kugler, 1984, S.375)



Frage: Wie lernt ein Wesen, seine Probleme zu lösen?

5.7.1 Grundposition des ökologischen Ansatzes (2)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Kernfrage: Wie kommt
Ordnung zustande –
durch ein „intelligentes
Zentrum“ oder
intrinsische
Systemdynamik?

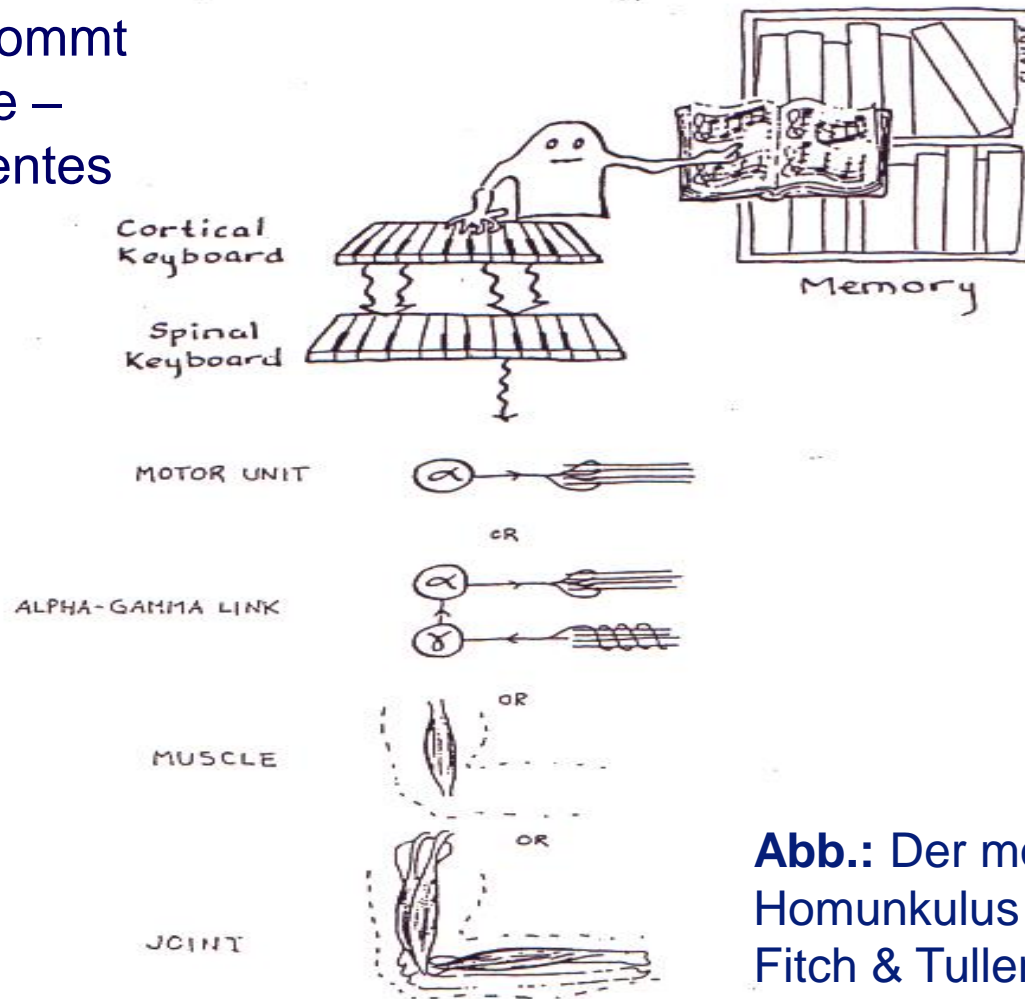


Abb.: Der motorische
Homunkulus (aus Turvey,
Fitch & Tuller, 1982, S.240)

5.7.1 Grundposition des ökologischen Ansatzes(3)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Alternative Antwort: „Selbstorganisation“ – Nichtlinearität

Begriff „Selbstorganisation“:

- „spontane Ordnungsbildung komplexer Systeme ohne steuernde Eingriffe von außen“ (Wiemeyer, 2003, S.471).
- **Verschiedene Modelle:**
 - Chaostheorie
 - Katastrophentheorie
 - Autopoiese
 - Synergetik
(Überblick: Birklbauer, 2006, Kap. 4)

5.7.1 Grundposition des ökologischen Ansatzes (4)

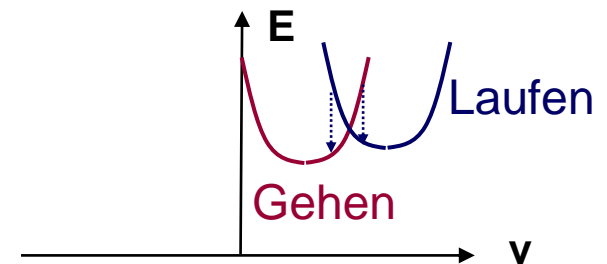
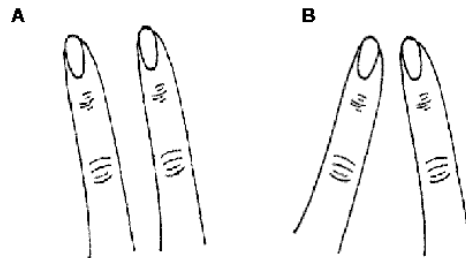
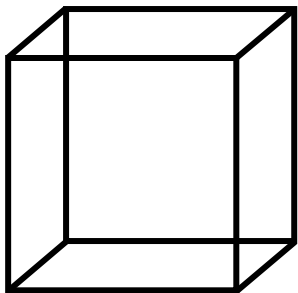
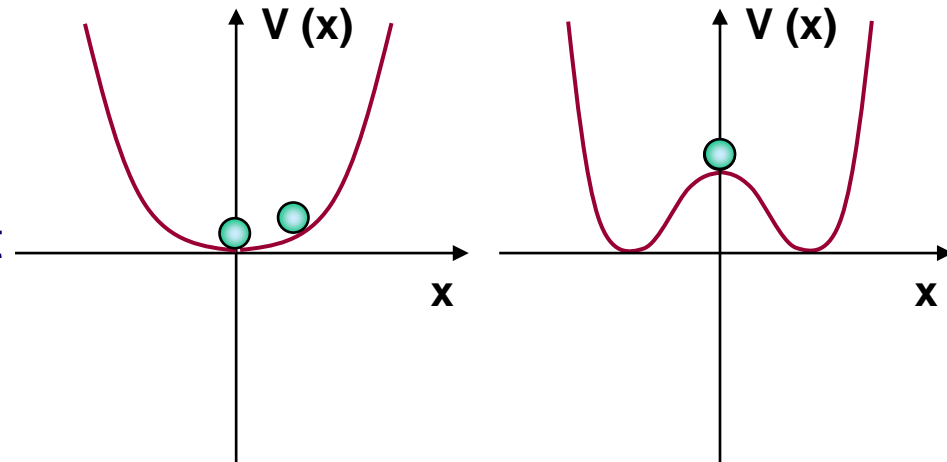


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Synergetik – Grundkonzepte (Haken, 1990; Haken & Haken-Krell, 1989):

- Ordnungs- und Kontrollparameter (Versklavung)
- Symmetriebruch
- Kritische Fluktuationen
- Kritisches Langsamerwerden
- Hysterese
- **Visualisierung:** Potenziallandschaft
- **Beispiele:**

Wahrnehmung, Kelso-Bewegung,
Gehen \leftrightarrow Laufen

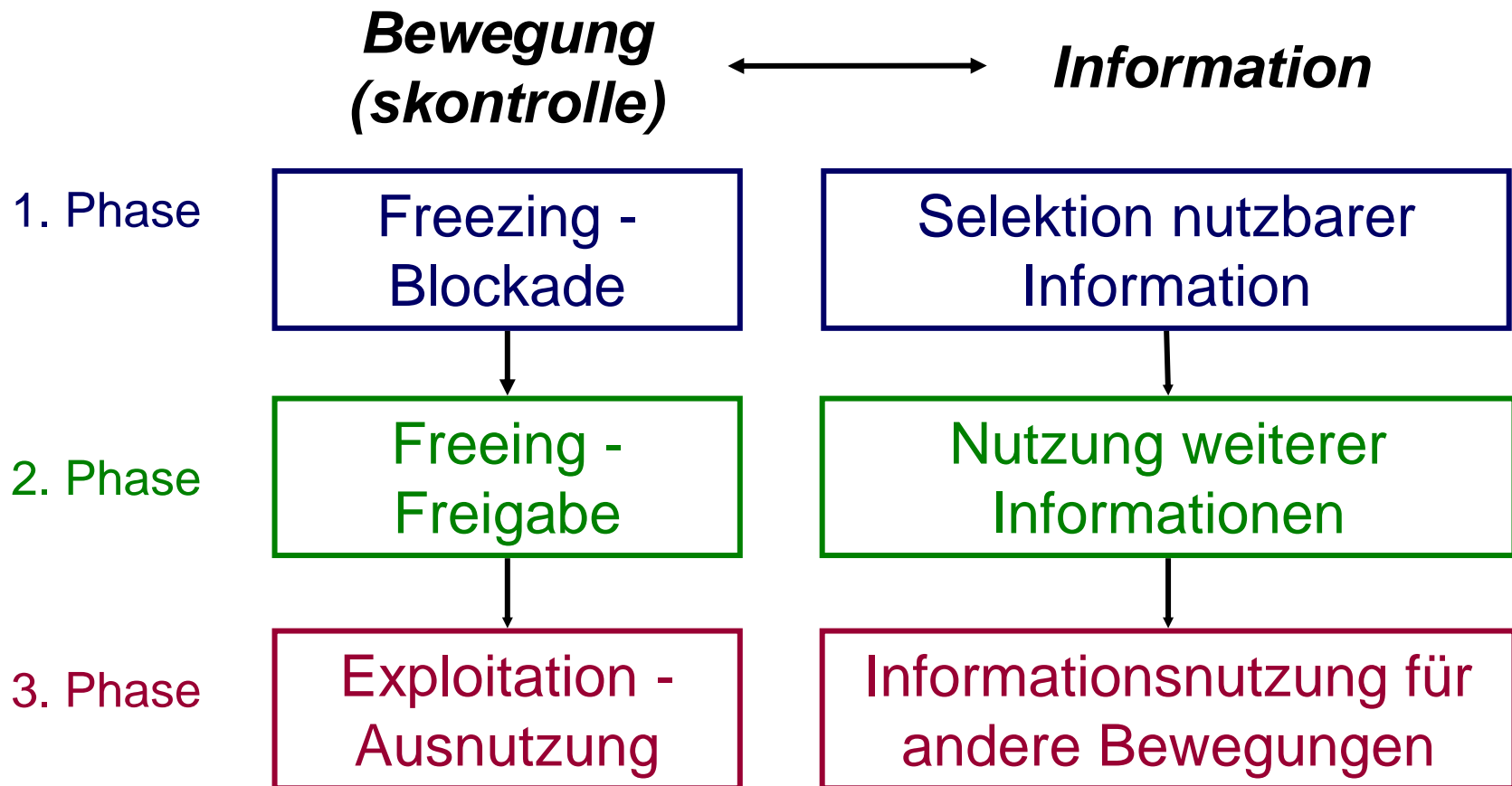


5.7.2 Lernen im ökologischen Ansatz



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Veränderung von Bewegung(skontrolle) und Information
(Bernstein, 1987; Savelsbergh & van der Kamp, 2000)

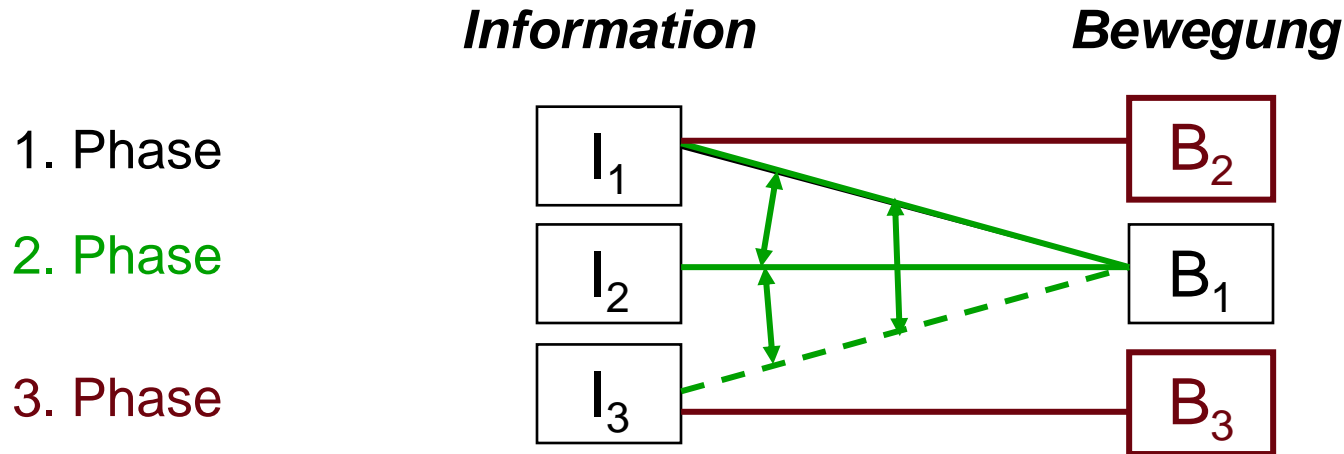


5.7.2 Lernen im ökologischen Ansatz

Stufen-Modell nach Savelsbergh & van der Kamp (2000)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



- 1. Phase:** Emergenz / Stärkung der Kopplung von bestimmten Informationen und Handlungen (isoliert)
- 2. Phase:** Zunahme der Kopplungen / Wechsel zwischen Kopplungen
- 3. Phase:** Ausnutzung verschiedener Informations-Bewegungs-Kopplungen (Transfer)

5.7.2 Lernen im ökologischen Ansatz



Differentielles Lernen nach Schöllhorn (1999, 2003a/b, 2005)

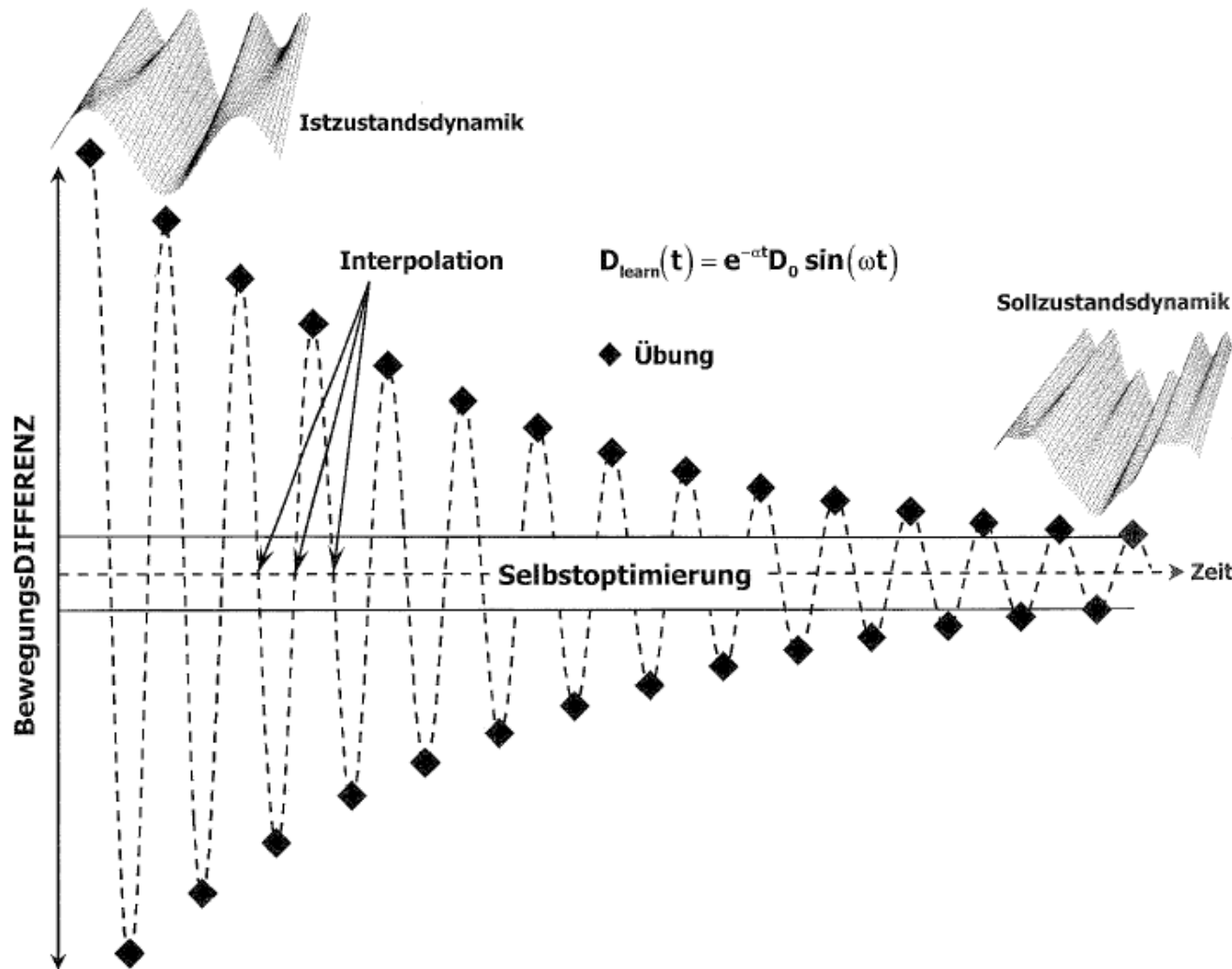
- Lernen **aus** Differenzen („Lernen von und mit Fehlern“ – zur Effektivität von „error management training“ vgl. auch Keith & Frese, 2007):
Konfrontation mit ständig veränderten Bewegungsausführungen bzw. Ausführungsbedingungen – Lernen von Anpassungen an Veränderungen bzw. „Rauschen“ durch „Abtasten“ des Lösungsraumes (besonders der Grenzen!)
 - Variation der räumlichen, zeitlichen & räumlich-zeitlichen Bewegungsausführung
 - Variation der dynamischen Bewegungsausführung
 - Variation des Bewegungsrhythmus
 - Variation der Aufmerksamkeitslenkung
 - Variation der perzeptiven Bedingungen
- Lernen **durch** Differenzen (*variables Lernen*)
 - Konzentration auf einzelne Bewegungsaspekte
 - Erst Konstanz, dann Variation
 - Kontrastübungen
 - Zwingende Übungsbedingungen

5.7.2 Lernen im ökologischen Ansatz



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Modellierung der Differenzstruktur von Birklbauer (2006)



Legende:

- D_{learn} – Variabilität/
Abweichung
der Übungen
- D_0 – Anfangs-
differenz
- α – Lernfaktor
(Dämpfung)
- ω – Übungs-
frequenz

Ende Kapitel 5 – Teil 7



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



- **Wo stehen wir?**

Ökologischer Realismus/ dynamische Systemansätze -
Grundannahmen

- **Lernziele:**

- Kriterien für die Vergleich von Repräsentationsansätzen und dynamischen Systemansätzen erläutern können
- Repräsentationsansätze und dynamische Systemansätze vergleichen können

5.8 Vergleich: motor approach (Informationsverarbeitung) vs. action approach (dynam. Systeme) - Überblick



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

**action
approach**

**motor
approach**

Integrierte Modelle

**Dynamische
Systeme**

Selbst-
organisation

Freiheitsgrade –
Komplexität
Ordnung –
Variabilität

Repräsentation

**Informations-
verarbeitung**

Vorläufer:

Gestalttheorie, Gibson,
Bernstein

Allgemeine Modelle:

Chaostheorie, Auto-
poiese, Synergetik,
Katastrophentheorie

Spezifische Modelle:

Body-scaled perception,
 τ , Jonglieren, Zielwurf,
differentielles Lernen

**(Neo-)
Konnektionismus**

Allgemeine Modelle:

Meinel & Schnabel, Hirtz,
Bernstein, Pöhlmann,
R.A.Schmidt

Semispezif. Modelle:

Memory drum, Motor.
Programm, GMP, Fourier,
Masse-Feder

Spezifische Modelle:

Adams, Schema, CI,
Guidance, Mentales
Training



5.8 Vergleich: motor vs. action approach - Fragen

1. Wissenschaftlicher Wert

1.1 Welche Lösungen werden für die **Grundprobleme der Bewegungsregulation** vorgeschlagen?

Organisation, Komplexität, Konstanz und Variabilität, Wahrnehmung - Bewegung, Individuum-Umwelt, Lernen

1.2 Welche **Fragestellungen** werden bearbeitet?

1.3 Welche **Methoden** werden eingesetzt?

2. Praktischer Wert

2.1 Methodische **Organisation** von Bewegungslernen:
Üben, Erleichterungen etc.

2.2 **Information**: Instruktion, Bewegungskorrektur etc.

2.3 **Bewegungsanalyse**

5.8 Vergleich: motor approach vs. action approach

Tabelle (1)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Kriterium	Motor Approach	Action Approach
Alternative Bezeichnungen	Informationsverarbeitung Repräsentationalismus Programmansatz	Dynamische Systeme, ökolog. Realismus, Emergenz
Organisation der Bewegungsregulation	Hierarchie, z.B. GMP Bewegungsbefehle Computer-Metapher A-priori-Planung (Zeit)	Heterarchie Bewegungsvorschläge Selbstorganisation
Komplexität (Freiheitsgrade, df)	df = Problem Kontrolle durch zentrale Repräsentation	df = Segen Vor. für verschiedene Ordnungszustände
Konstanz/ Variabilität	Zentrale Ordnungs- instanz Variabilität = Störung, Fehler, Rauschen	Emergente Ordnung - als Folge der Systemdynamik Variabilität = Ausdruck der Systemdynamik, wichtige Vor. für Phasenübergänge

5.8 Vergleich: motor approach vs. action approach

- Tabelle (2)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Kriterium	Motor Approach	Action Approach
Wahrnehmung - Bewegung	Trennung (Unabhängige Prozesse)	Unauflösliche Kopplung
Individuum - Umwelt	Trennung Vermittelte Wahrneh- mung (Repräsentation) Mathemat. Informations- begriff	Kopplung Individuum-Umwelt- Verschränkung Relationaler Informationsbegriff
Lernen	Aufbau/ Stabilisierung interner Repräsentationen	Such-/ Entdeckungspro- zess im Wahrnehmungs- Bewegungsraum Veränderung der Attraktor-Layouts
Vertreter	R.A. Schmidt, T.D. Lee, R.A. Magill, G. Wulf, K. Roth, T. Schack u.v.m.	E. Reed, M. Turvey, P.N. Kugler, J.A.S. Kelso, D. Sternad, P. Beek, W. Schöllhorn, K. Davids u.v.m.

5.8 Vergleich: motor approach vs. action approach



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Tabelle (3)

Kriterium	Motor Approach	Action Approach
Forschungsprobleme	Informationelle/ organisatorische Bedingungen des Bewegungslernens: <ul style="list-style-type: none"> • Instruktion, Feedback • Übungsreihenfolge • Übungsverteilung • Mentales Üben 	Suche nach einfachen Gesetzen der Person-Umwelt-Kopplung: <ul style="list-style-type: none"> • Körperbezogene Wahrnehmung • Ordnung bei zyklischen Bewegungen
Forschungsmethoden	Typisches Experiment: <ul style="list-style-type: none"> • Aneignung • Frühes/spätes Behalten • Früher/ später Transfer Vorgehen: <ul style="list-style-type: none"> • Modell/Hypothese • Experiment 	Vielfältige Methoden Vorgehen (Beispiel): <ul style="list-style-type: none"> • Biomechan. Aufgabenanalyse (Aktionsraum, Lösungsmöglichkeiten, Ordnungsbedingungen) • Prüfung der Prognosen
Beispiele	Schmidt (1975, 1988, 1991, 1999 mit Lee) - Modelle/Methode Wulf (1994) - CI Wiemeyer (1994, 1997)	Jonglieren - Beek (1989); Sternad (1998); Wurf - Müller (1996), Müller et al. (1998); Skilauf (Schöllhorn et al., 2007a/b)

5.8 Vergleich: motor approach vs. action approach

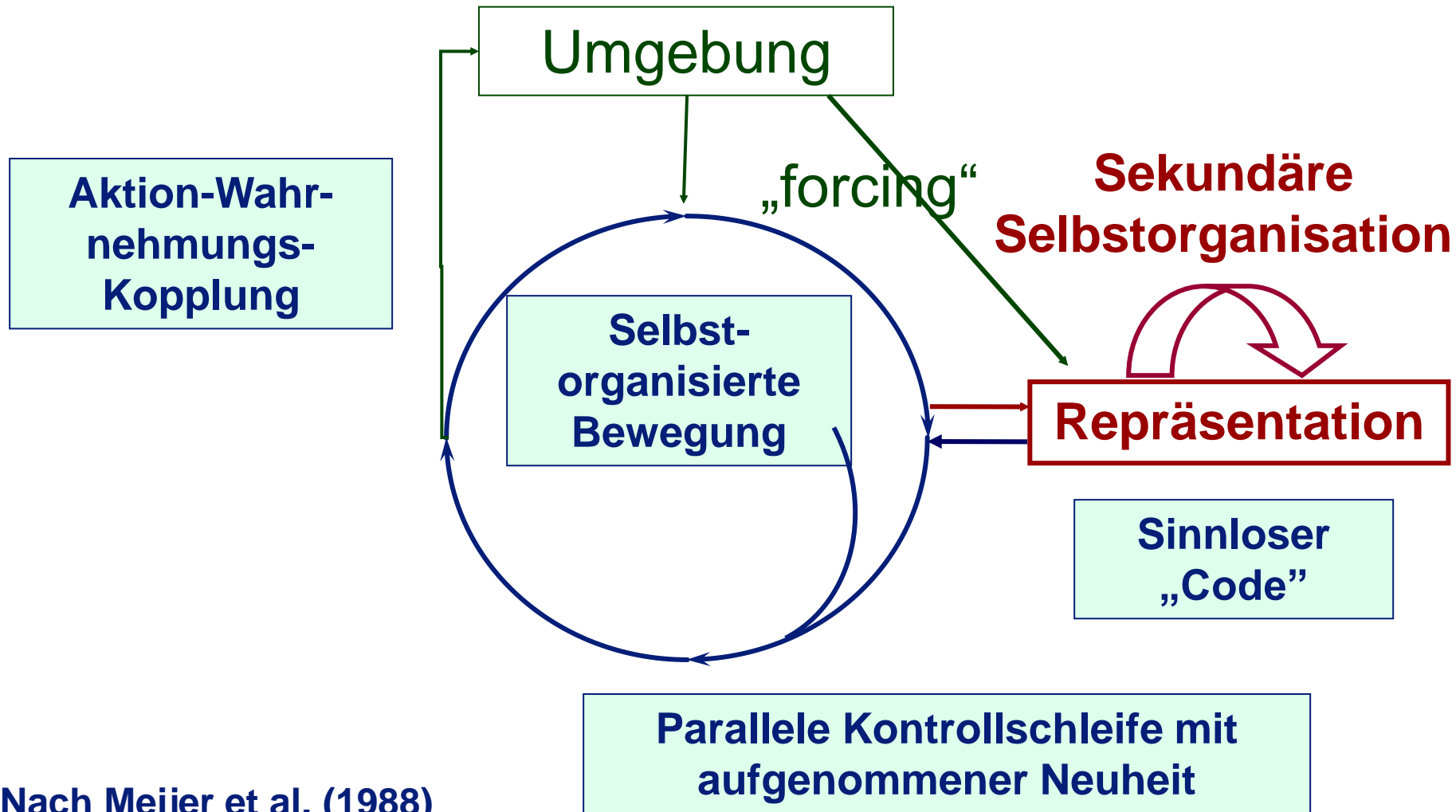
Tabelle (4)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Kriterium	Motor Approach	Action Approach
Method. Organisation von Lernprozessen (z.B. Wiemeyer, 2002)	<p>Bewegungsmuster-orientiertes Lernen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Physikal. Hilfen • Pausen • Randomisiertes Üben • Technische Hilfsmittel • etc. 	<p>Üben in authentischen Kontexten – Suchen & Entdecken</p> <p>„Differentielles Lernen“ - Fluktuationen und Anpassungen (Schöllhorn, 2003a/b, 2005; Trockel & Schöllhorn, 2003)</p>
Instruktion/Information	<p>Bild und Text</p> <p>Verbale Kurzphrasen etc.</p>	<p>Inhalt: Randbedingungen („constraints“): Aufgabe, Person, Umwelt</p>
Bewegungskorrektur	<p>Reduzierte Häufigkeit</p> <p>Toleranzbereiche</p> <p>Präskriptives Feedback etc.</p>	-

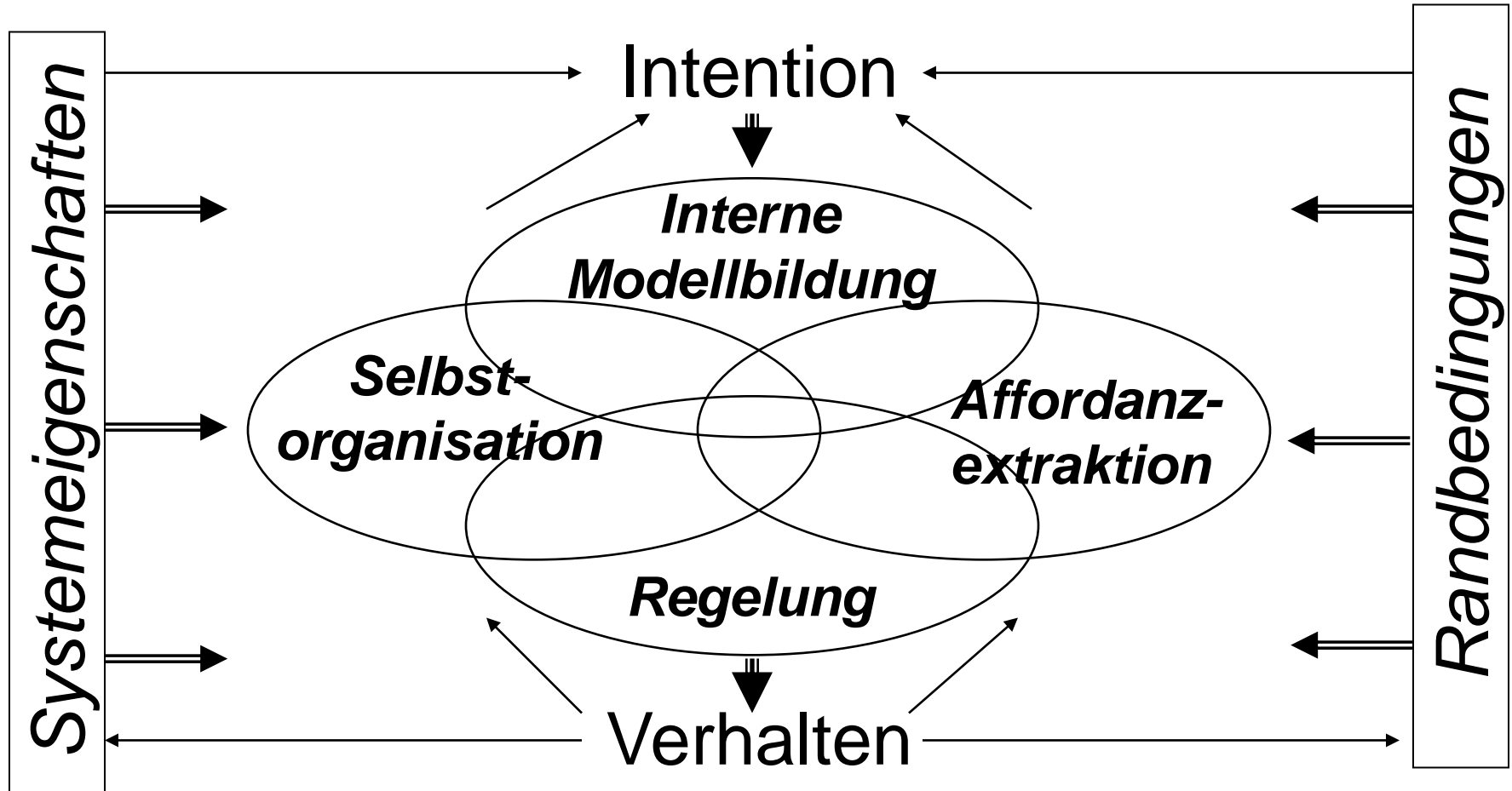
5.8 Potentielle Synthese zwischen Repräsentation und Selbstorganisation



Nach Meijer et al. (1988)

5.8 Potentielle Synthese zwischen Repräsentation und Selbstorganisation

Nach Nitsch (1996, S.84) sowie Nitsch & Munzert (1997)



Ende Kapitel 5 – Teil 8



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)





- **Wo stehen wir?**

Repräsentationsansätze und dynamische
Systemansätze – Vergleich

- **Lernziele:**

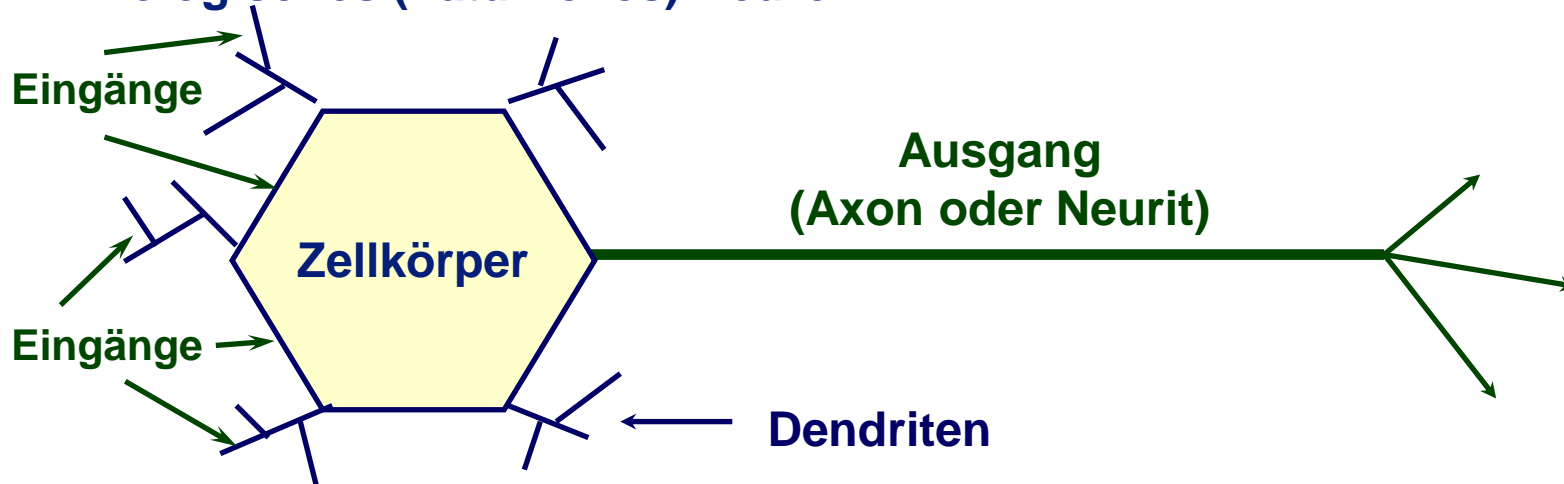
- Die Grundannahmen des Neo-Konnektionismus (Künstliche Neuronale Netze; KNN) erläutern können
- Beispiele für Anwendung von KNN erläutern und reflektieren können

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (1)



Vergleich: Biologisches Neuron und konnektionistisches Modell-Neuron (nach Lawrence, 1992, S.19)

1. Biologisches (natürliches) Neuron



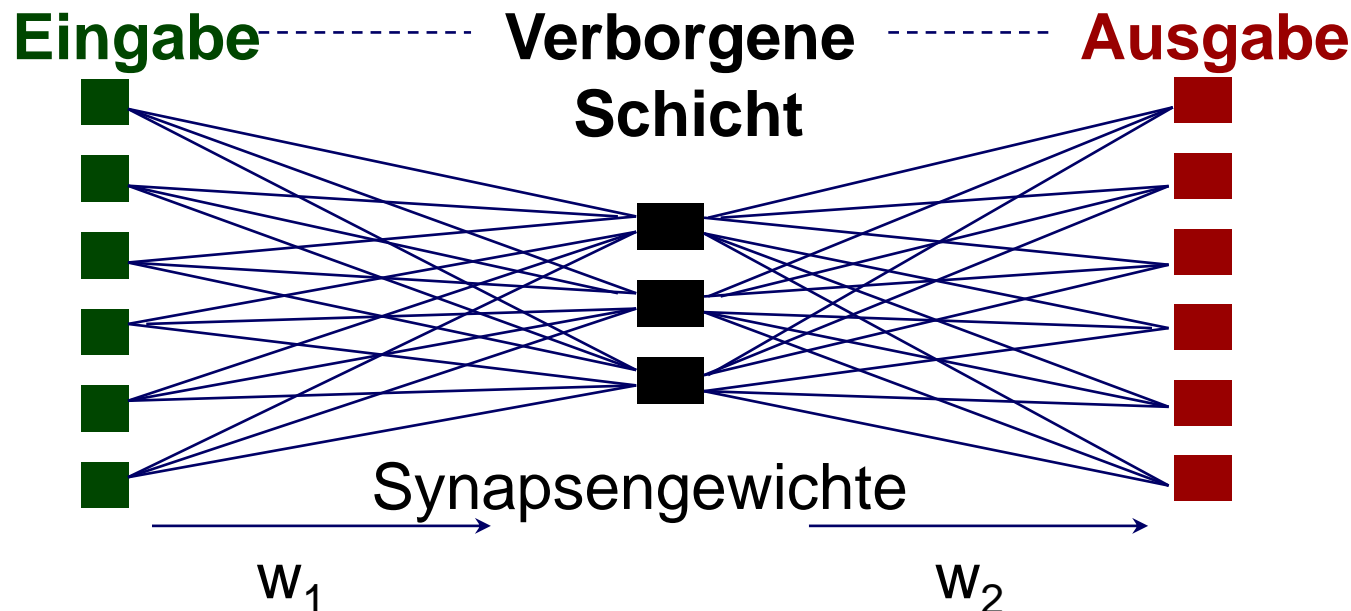
2. Künstliches Neuron



5.9 Modelle des Neokonnektionismus (2)



- Modellneuronen mit Ein- und Ausgängen (nach Farkas & Paris, 1996, S.78)
- Hochgradige Vernetzung
- Verschiedene Schichten von Neuronen

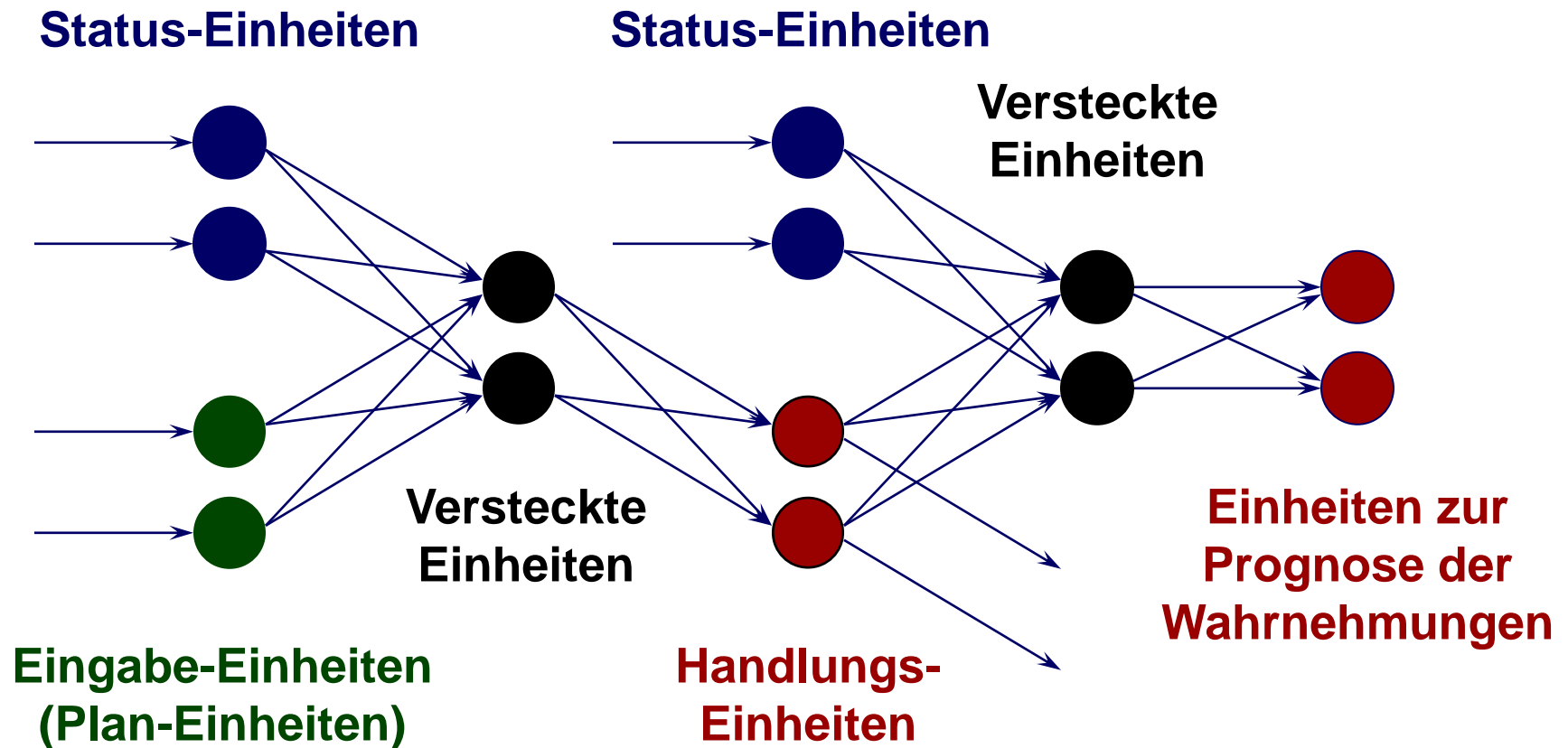


Frage: Wie können Aktivierung/Hemmung in den Synapsengewichten codiert sein?

- Lernalgorithmen zur Veränderung synaptischer Gewichte (z.B. HEBBsche Lernregel)
- Trainings- und Anwendungsphase

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (3)

Ein vorwärtsgerichtetes Netzwerk
zum Schema-Modell von Schmidt
(nach Jordan & Rumelhart, 1992, zitiert nach Künzell, 1996, S.67)

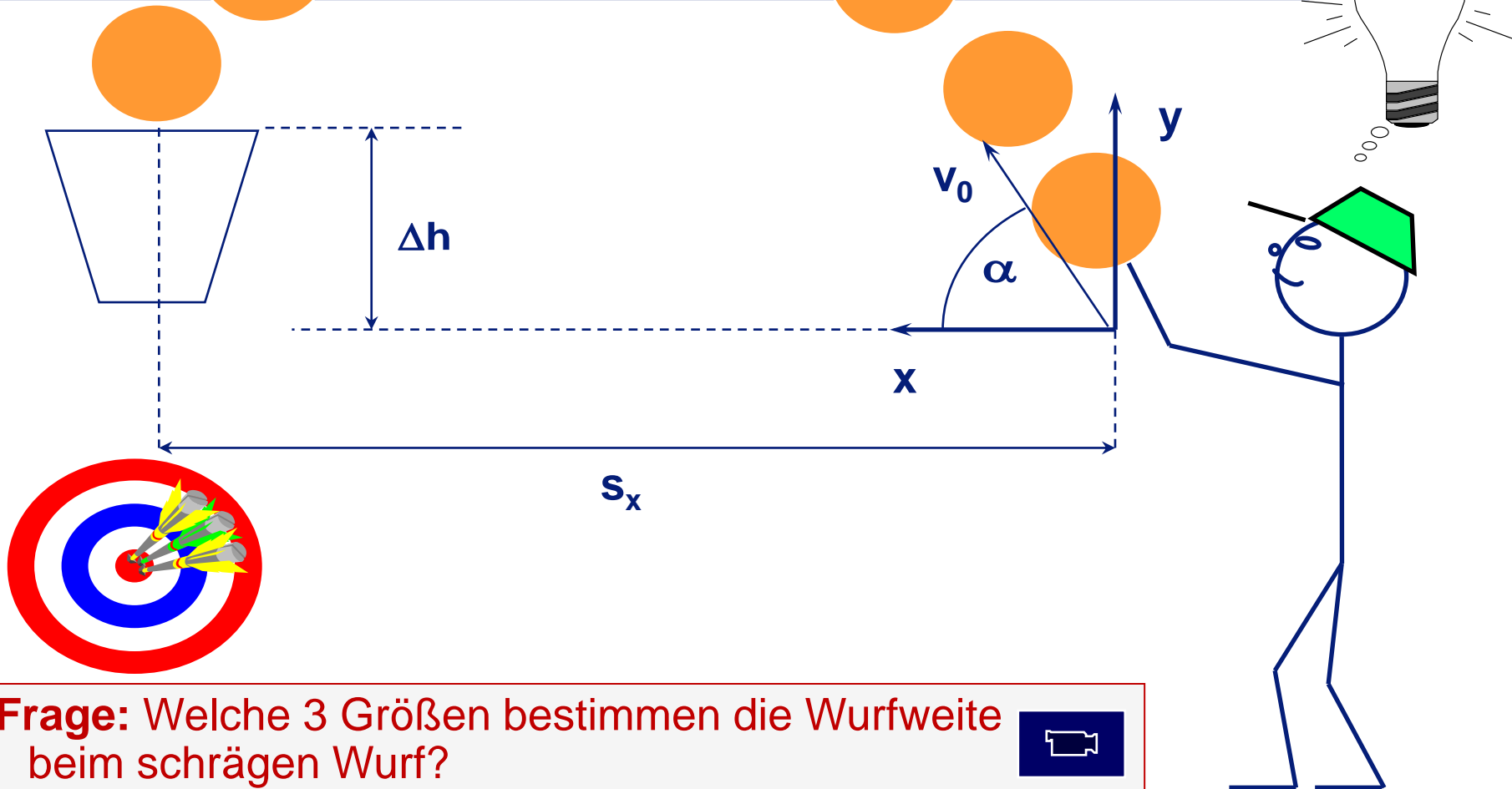


5.9 Modelle des Neokonnexionismus (4)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

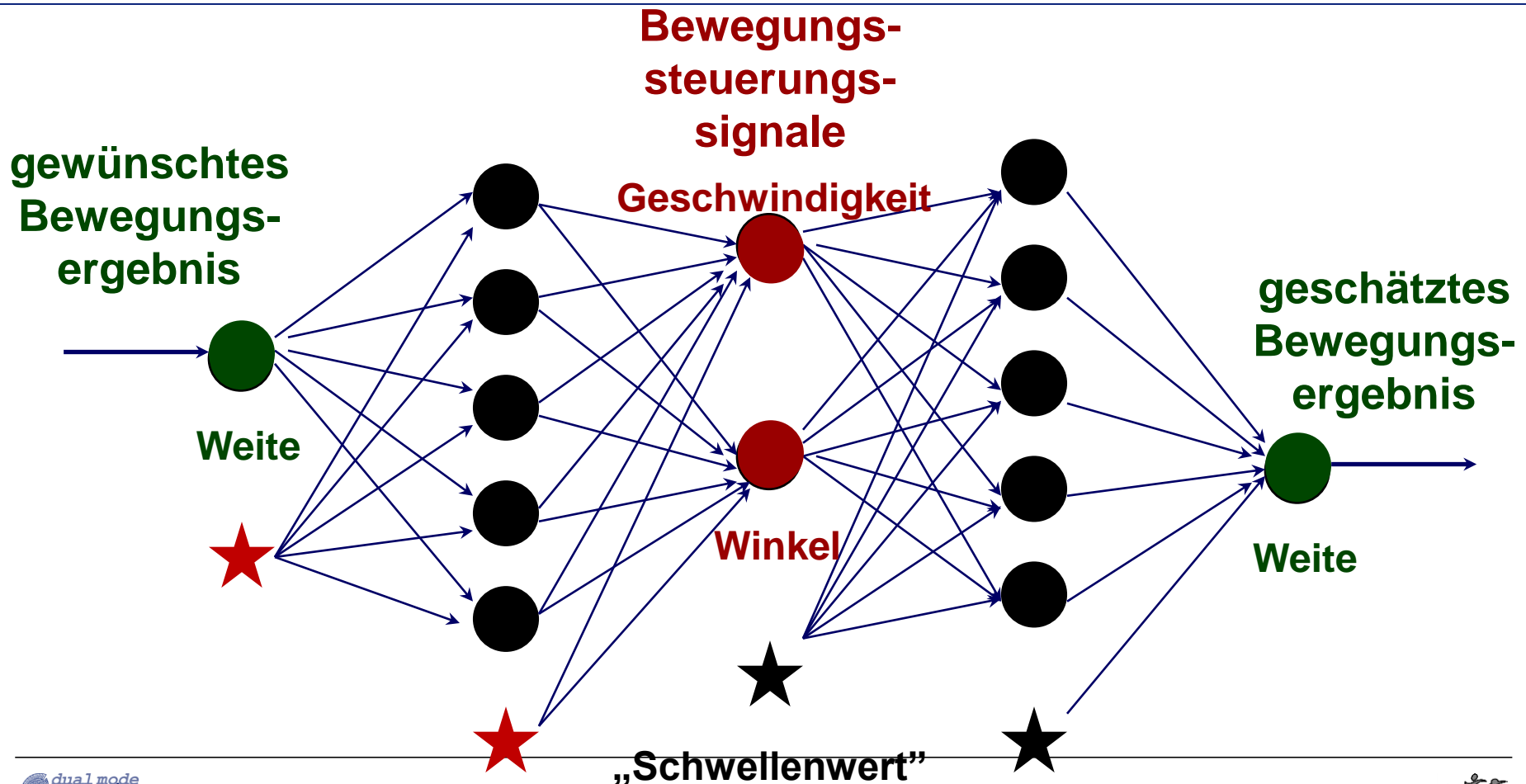
Simulation zur Kontextinterferenz (nach Zell, 1996, S.89)



5.9 Modelle des Neokonnektionismus (5)

Das in der Simulation benutzte Netz (nach Künzell, 1996, S.96)

Die roten Sterne (☆) feuern jeweils eine 1, sie ersetzen den “Schwellenwert”.



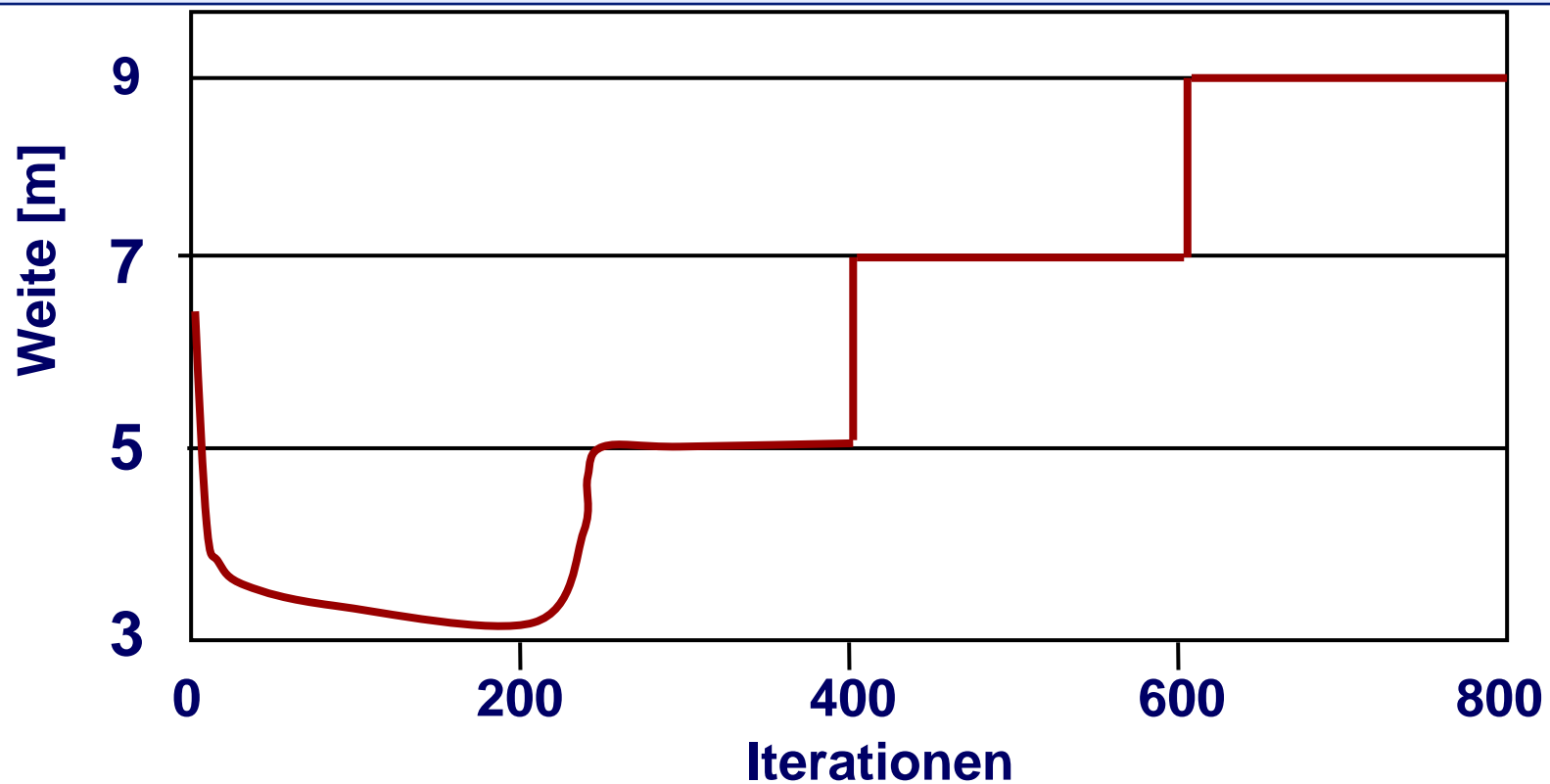
5.9 Modelle des Neokonnektionismus (6)

Übersicht über die Übungsbedingungen für die verschiedenen Gruppen von neuronalen Netzen (nach Künzell, 1996, S.101)

Gruppe	Random	B 1	B 2	B 5	B 10	B 200
Anzahl der Blöcke	-	800	400	160	80	4
Wiederholungen pro Block	-	1	2	5	10	200
Reihenfolge	zufällig	3-5-7-9	3-5-7-9	3-5-7-9	3-5-7-9	3-5-7-9
Trainingsvektoren (gesamt)	800	800	800	800	800	800

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (7)

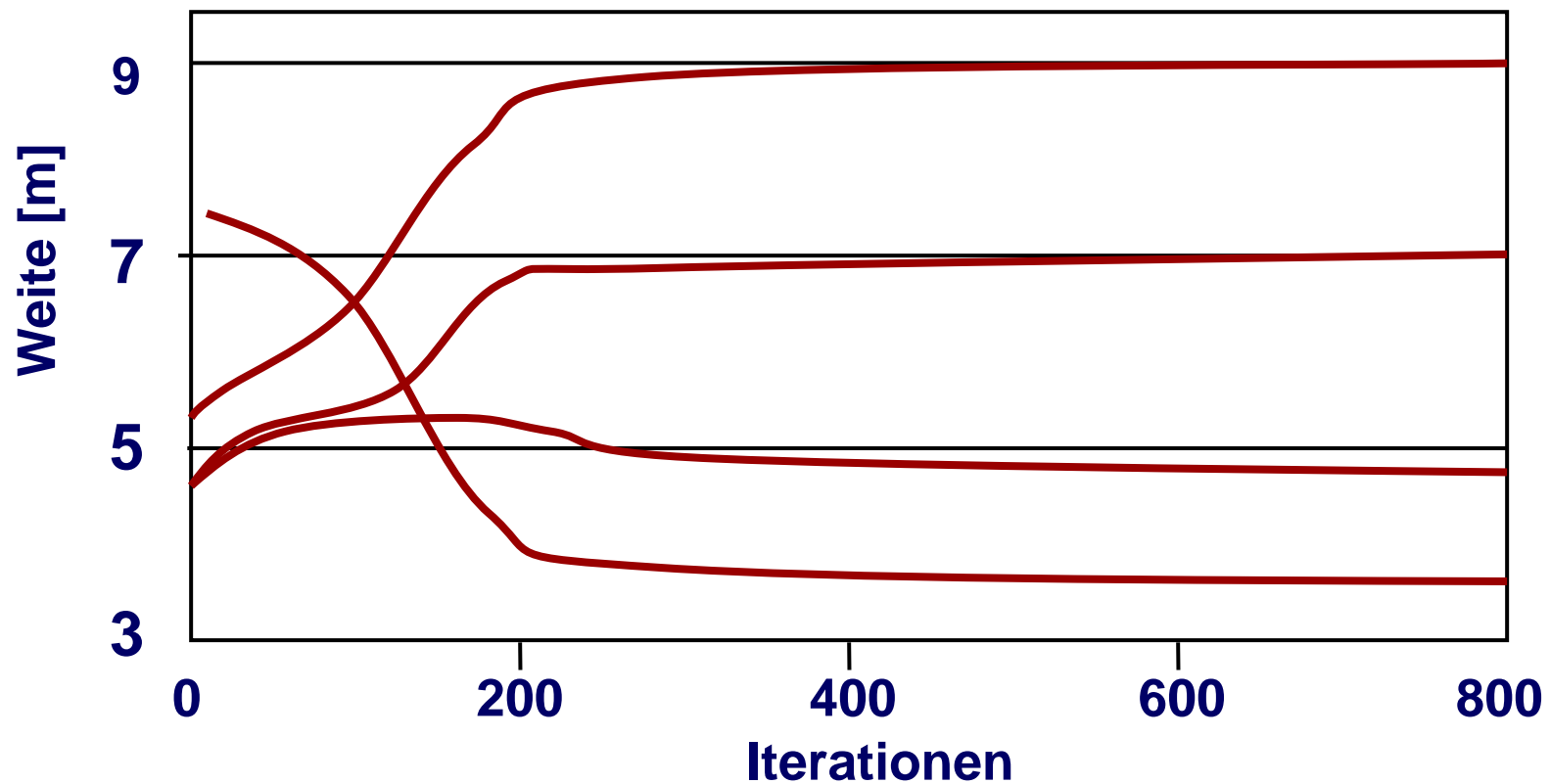
Abb.: Lernverlauf eines Bewegungssteuerungsnetzes der Gruppe „B 200“
(nach Künzell, 1996, S.103)



Aufgabe: Analysieren Sie die Abbildung!

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (8)

Abb.: Lernverlauf eines Bewegungssteuerungsnetzes der Gruppe “B 1” über 800 Iterationen (nach Künzell, 1996, S.103)



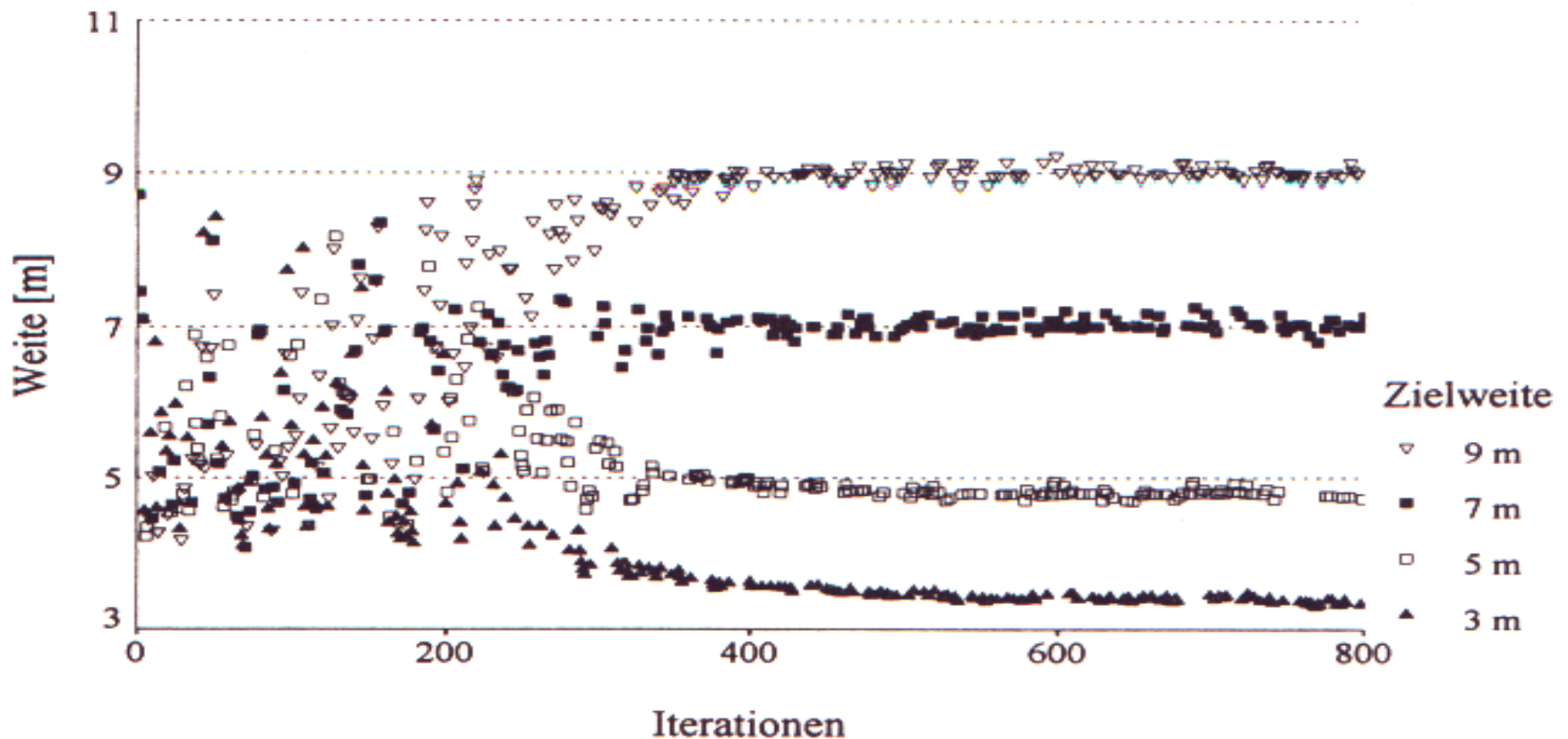
Aufgabe: Analysieren Sie die Abbildung!

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (9)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Abb.: Lernverlauf eines Bewegungssteuerungsnetzes der Gruppe „Random“ (aus Künzell, 1996, S.102)

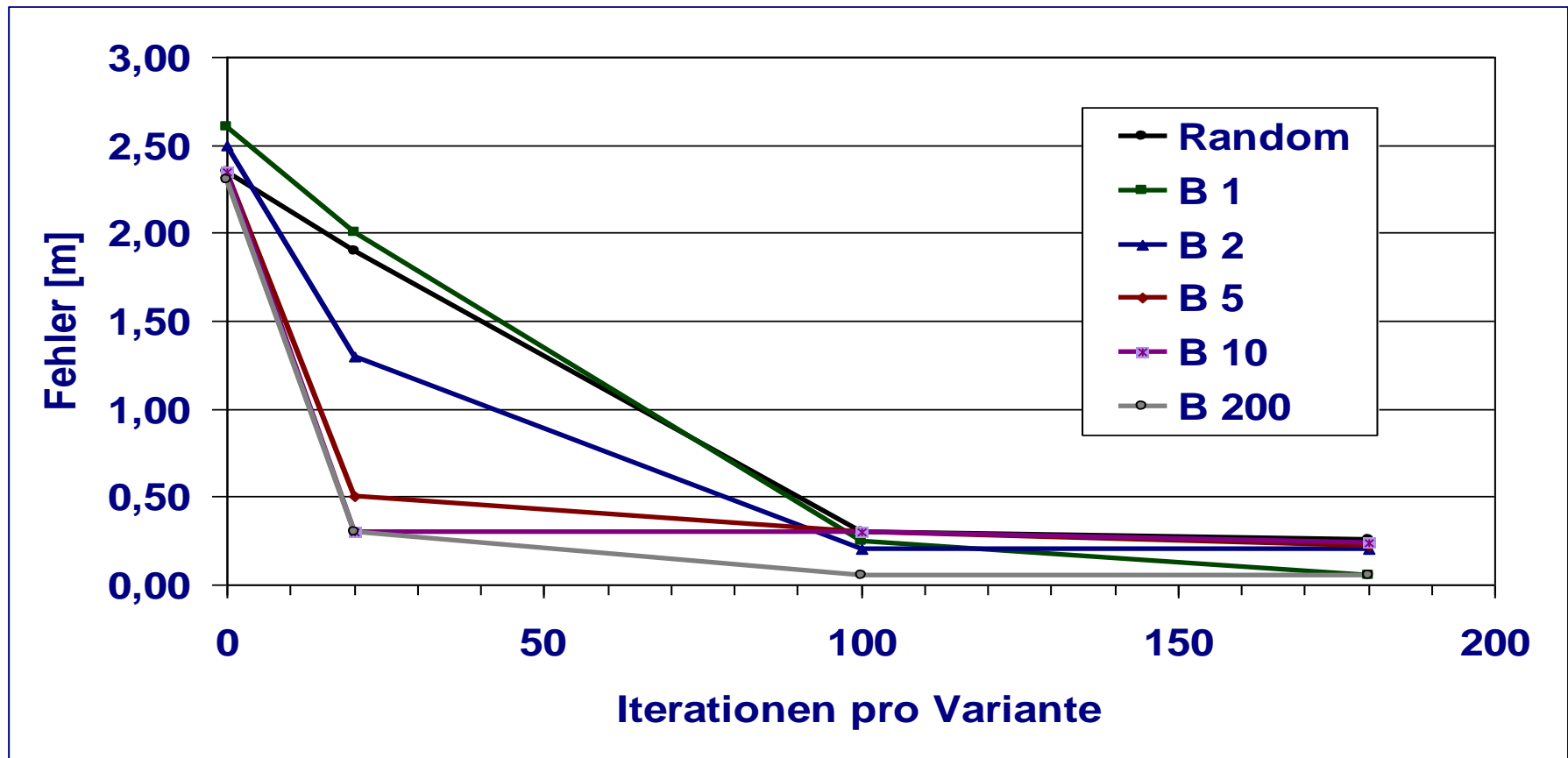


Aufgabe: Analysieren Sie die Abbildung!

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (10)



Abb.: Lernverläufe der verschiedenen Gruppen (nach Künzell, 1996, S.108)



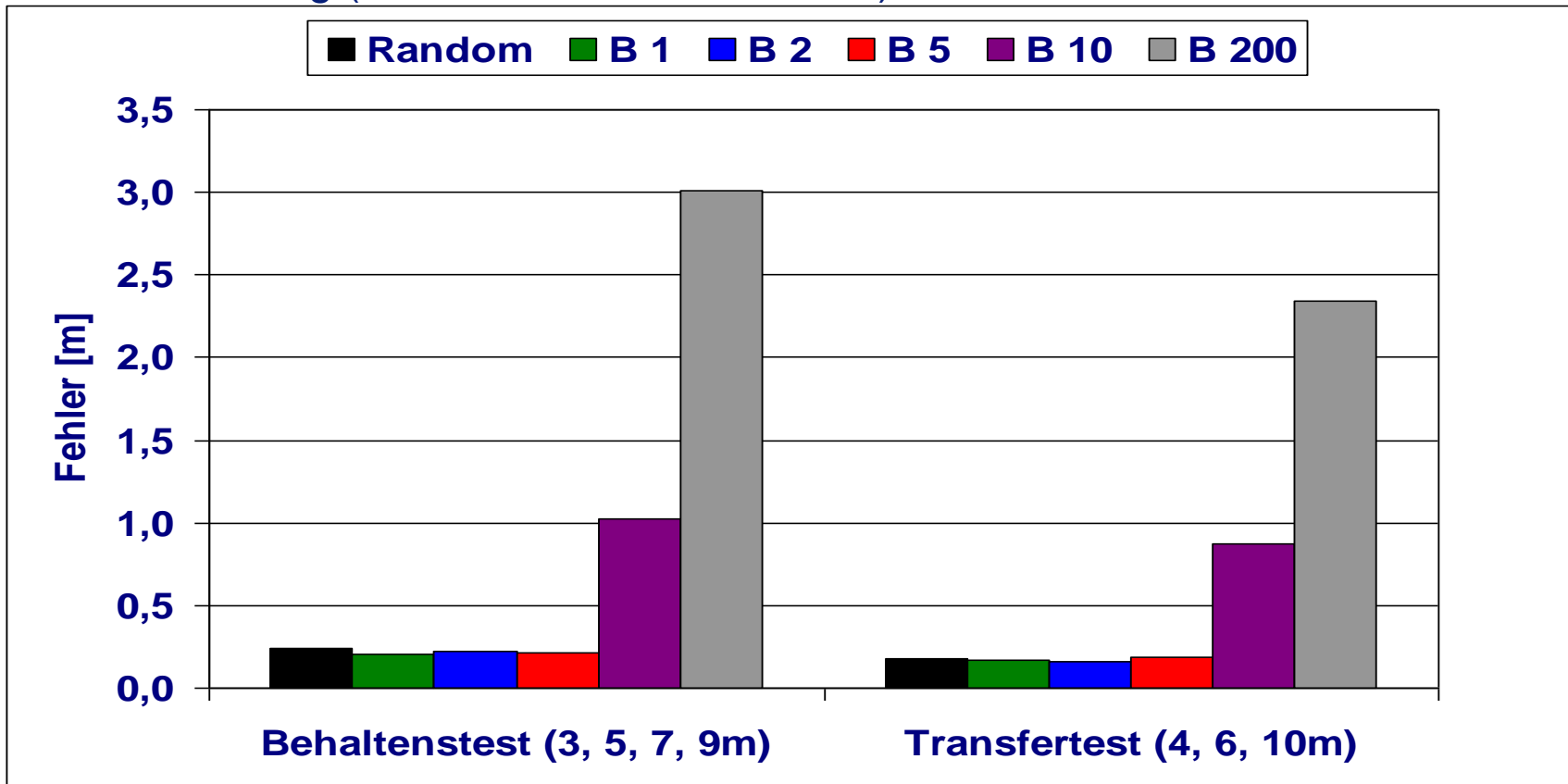
Aufgabe: Analysieren Sie die Abbildung!

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (11)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Abb.: Mittlere Fehler der Gruppen im Test der Lernleistung und der Transferleistung (nach Künzell, 1996, S.109)



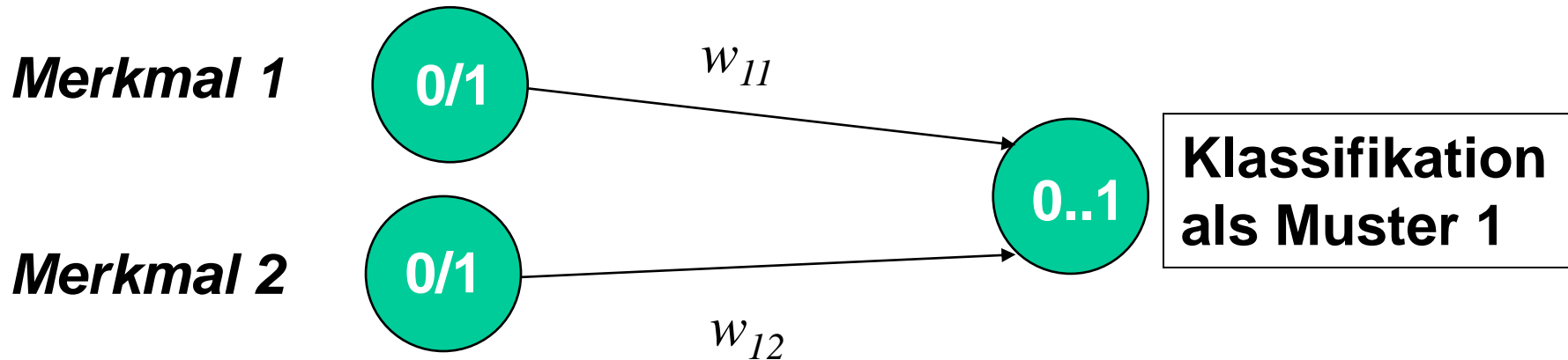
Aufgabe: Analysieren Sie die Abbildung!

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (12)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Beispiel: Einfaches 2-Schichten-Netz (vgl. Schmidt, 1998)



Netzwerk-Merkmale (vgl. Schmidt, 1998)

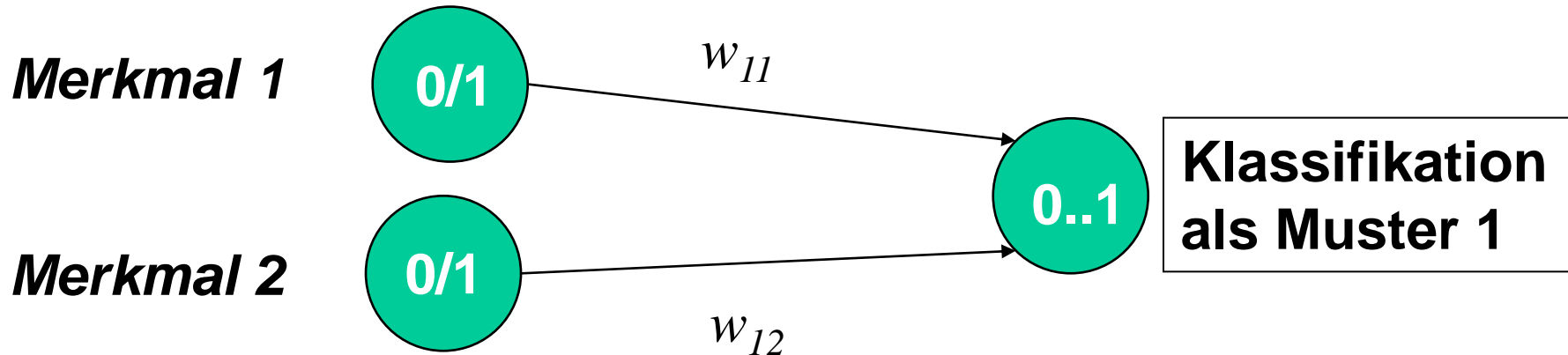
- **Eingabe-Vektor:** 2 Merkmale $[S(x,y); x, y \in \{0,1\}]$
- **Ausgabe-Neuron:** Summenbildung

$$\sigma(\text{Netinp}) = \frac{1}{1 + e^{-a \cdot \text{Netinp}}};$$

$$\text{Netinp} = x \cdot w_{11} + y \cdot w_{12}$$

Frage: Wie verändert sich
Sigma (σ) in Abhängigkeit
von a und Netinp ?

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (13)



- **Lernregel: Delta-Regel**
 - bei **Lernstimulus**
 g - Lernrate für Lernstimulus
 - bei **Interferenzstimulus**
 l - Lernrate für Interferenz
 - bei **Vergessensintervall**
 f - Vergessensrate

$$\Delta w_{11} = g \cdot [1 - \sigma(w_{11} + w_{12})]$$
$$\Delta w_{12} = \Delta w_{11}$$

$$\Delta w_{11} = -l \cdot \sigma(w_{11})$$
$$\Delta w_{12} = 0$$

$$\Delta w_{11} = -f \cdot \sigma(w_{11})$$
$$\Delta w_{12} = 0$$

Fragen:

1. Was muss dieses Netz letztlich lernen?
2. Wie wirkt sich die Veränderung von g , l und f aus?

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (14)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Was ist besser?

Lernen mit Pausen (verteiltes Üben) oder Lernen ohne Pausen (massiertes Üben)?

Simulationsprogramm „Delta-Netzwerk“: start- dt – start engl.

Aufgabe: Simulieren Sie massiertes und verteiltes Üben!

Randbedingungen (Vorschlag):

- 100 Lernversuche
- 100 Störversuche
- 0, 50 oder 100 Vergessensversuche
- Variieren Sie bitte die **Verteilung der je 100 Lern- und Störversuche**, z.B. 4 Gesamtdurchgänge mit je 25 Lern- und Störversuchen oder 20 Gesamtdurchgänge mit je 5 Lern- und Störversuchen
- Notieren Sie für jeden Simulationslauf

Sigma 1 (Musteridentifikation, wenn tatsächlich das Kriteriumsmuster anliegt) und

Sigma 2 (Musteridentifikation, wenn das Kriteriumsmuster nicht anliegt)!

Lösungen: Wiemeyer (2000 und 2001)

Ende Kapitel 5 – Teil 9

- Nachdenken – Anwenden – Hinterfragen ...
- Welche Fragen sind offen?
- Aufgaben bearbeiten



Quelle: Addor (2015)



5.10 Fragen/ Aufgaben zu Kapitel 5 (1)



- **Erläutern Sie den Aufbau des ZNS!**
- **Nennen Sie die Gebiete des ZNS, die motorische Funktionen haben und skizzieren Sie den Informationsfluss zwischen diesen Gebieten!**
- **Ordnen Sie den verschiedenen Gebieten des ZNS ihre spezifische Funktion zu!**
- **Welche 2 Prinzipien sind im ZNS realisiert?**
- **Skizzieren und erläutern Sie die Funktionsweise der Spinalmotorik!**
- **Welche praktischen Konsequenzen lassen sich aus der Funktionsweise des Muskeldehnungsreflexes ableiten?**
- **Wie reagiert die Muskelspindel auf Dehnungen unterschiedlicher Amplitude und Geschwindigkeit?**
- **Erläutern Sie das GMP-Modell und diskutieren Sie es kritisch!**
- **Erläutern und diskutieren Sie die Schema-Theorie von Schmidt!**
- **Kennzeichnen Sie die Grundannahmen des Informationsverarbeitungsansatzes (motor approach)!**
- **Kennzeichnen Sie die Grundannahmen des dynamischen Systemansatzes bzw. ökologischen Ansatzes (action approach)!**

5.10 Fragen/ Aufgaben zu Kapitel 5 (2)



- ***Stellen Sie motor und action approach einander gegenüber!***
- ***Wie unterscheiden sich motor und action approach hinsichtlich der Empfehlungen für die Praxis des Bewegungslernens im Sport?***
- ***Erläutern Sie eine mögliche Synthese zwischen motor und action approach!***
- ***Nennen Sie Grundannahmen und praktische Bedeutung der Modularitätshypothese!***
- ***Skizzieren Sie Aufbau und Funktionsweise künstlicher neuronaler Netze!***
- ***Erläutern Sie Vorgehen und Ergebnisse von Künzell bei der Simulation des Kontextinterferenz-Effektes!***
- ***Erläutern Sie Aufbau und Funktionsweise des Delta-Netzes von Schmidt!***
- ***Erläutern und diskutieren Sie Ihre eigenen Simulationen am Delta-Netz!***

5.11 Literatur und Links zu Kapitel 5



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Literatur: siehe Word-Datei

Links:

Spomedial-Animationen:

http://vmrz0100.vm.ruhr-uni-bochum.de/spomedial/content/e866/e2442/e6328/e6331/e6390/e6434/index_ger.html

Zusatzfolien



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

5.3.1 Funktionelle Einteilung des ZNS (nach de Marées, 2002, S.66)

