

Vorlesung: Bewegungswissenschaftliche Grundlagen des Sports



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



INSTITUT FÜR
SPORT
WISSENSCHAFT

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

Prof. Dr. Josef Wiemeyer

Tutor Tom fragt...



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

??



Hast du dich schon mal gefragt, wie der Körper seine vielen Freiheitsgrade zu einer Zielbewegung zusammenstellt?

Worin liegt der Unterschied zwischen einem Golfabschlag und dem Wegziehen der Hand von einer heißen Herdplatte?

Wie kontrolliere ich meine Bewegungen und wie lerne ich vollkommen neue?

Überblick über Kapitel 5



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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 Informationsverarbeitungsansätze und der dynamischen Ansätze

5.9 Neokonnektionismus - Grundlagen und Beispiele

5.10 Aufgaben

5.11 Literatur

5.1 Lernziele



- *Erkennen der wichtigsten sensomotorischen Areale des ZNS*
- *Erkennen der funktionellen Organisation des ZNS im Hinblick auf sensomotorische Leistungen*
- *Erkennen ausgewählter Funktionsmechanismen der Spinalmotorik und ihrer Bedeutung für den Sport*
- *Erkennen der wesentlichen Merkmale verschiedener Modelle der Bewegungskontrolle und des Bewegungslernens*
- *Kritische Bewertung der Stärken und Schwächen der Modelle der Bewegungskontrolle und des Bewegungslernens*

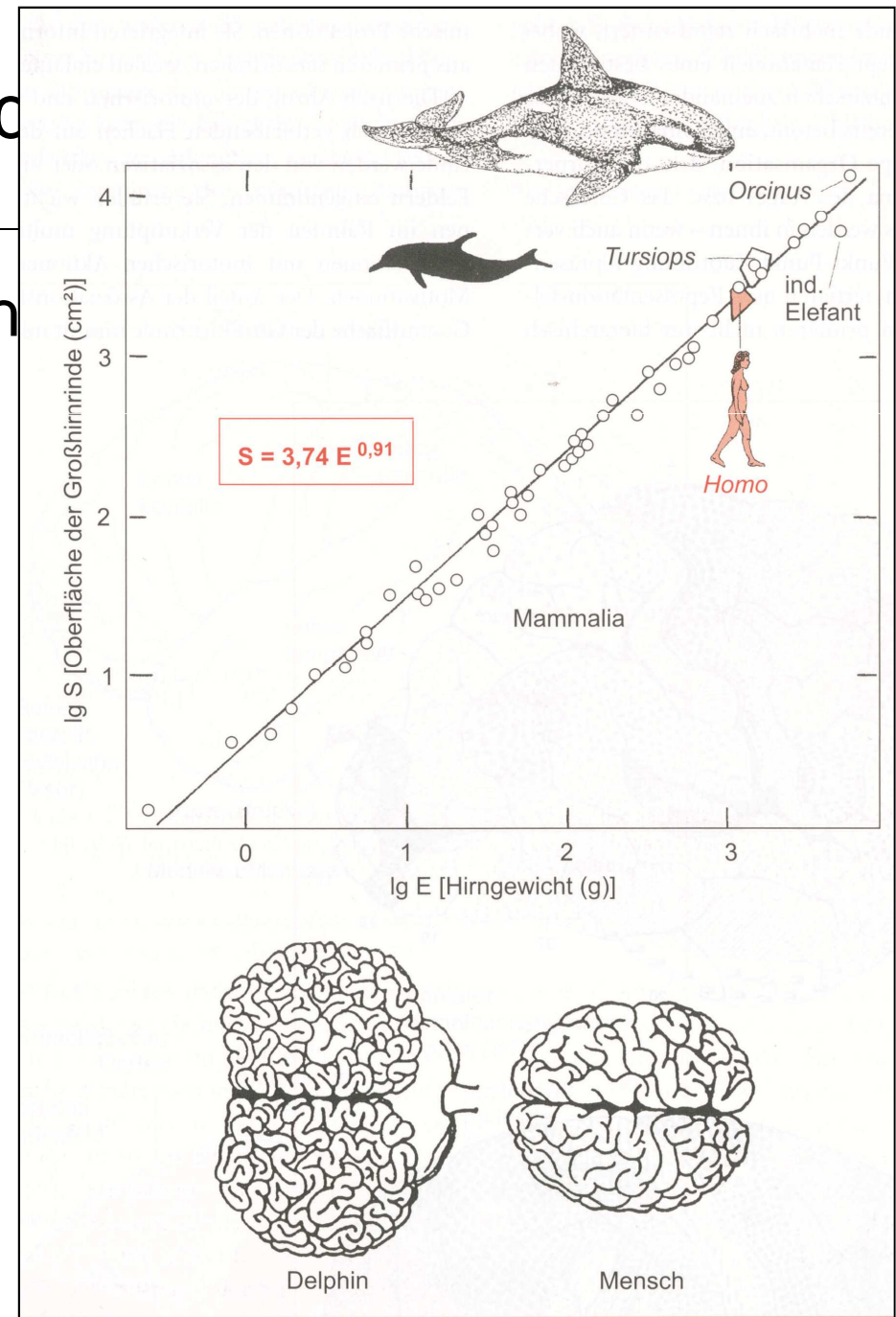
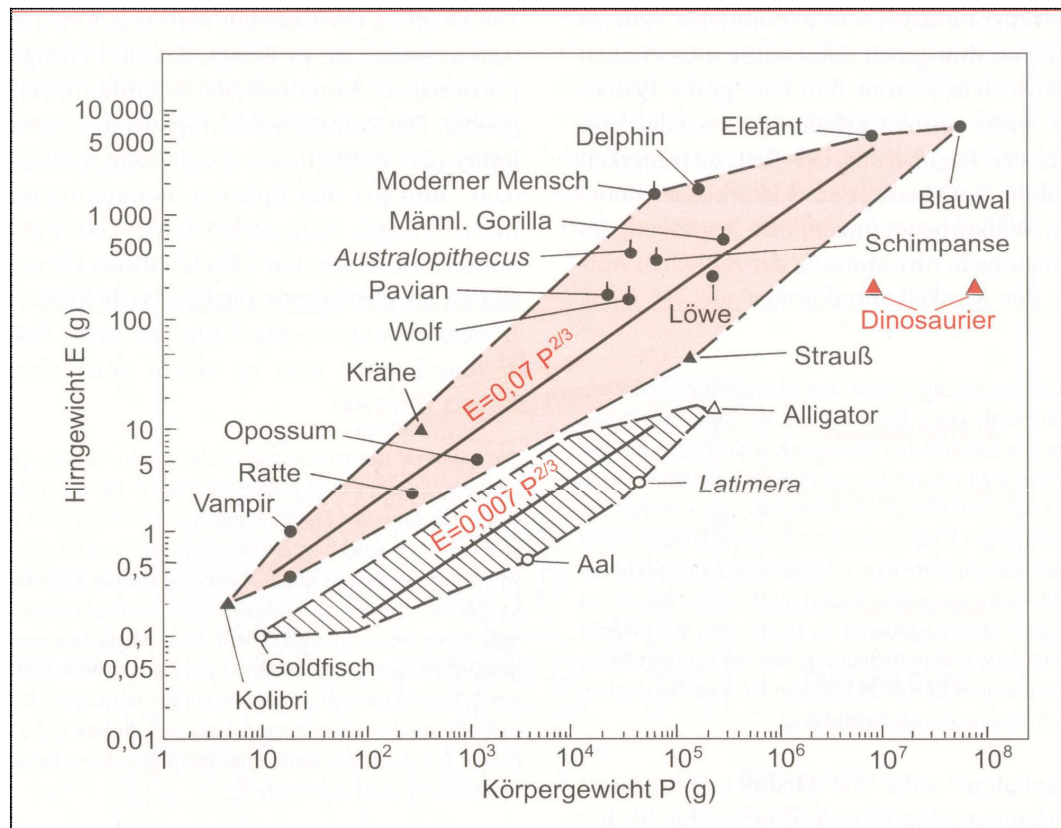
5.2 Einstiegsfragen



- 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 Modelle

Gehirn des Menschen im Vergleich (Penzlin, 2005)



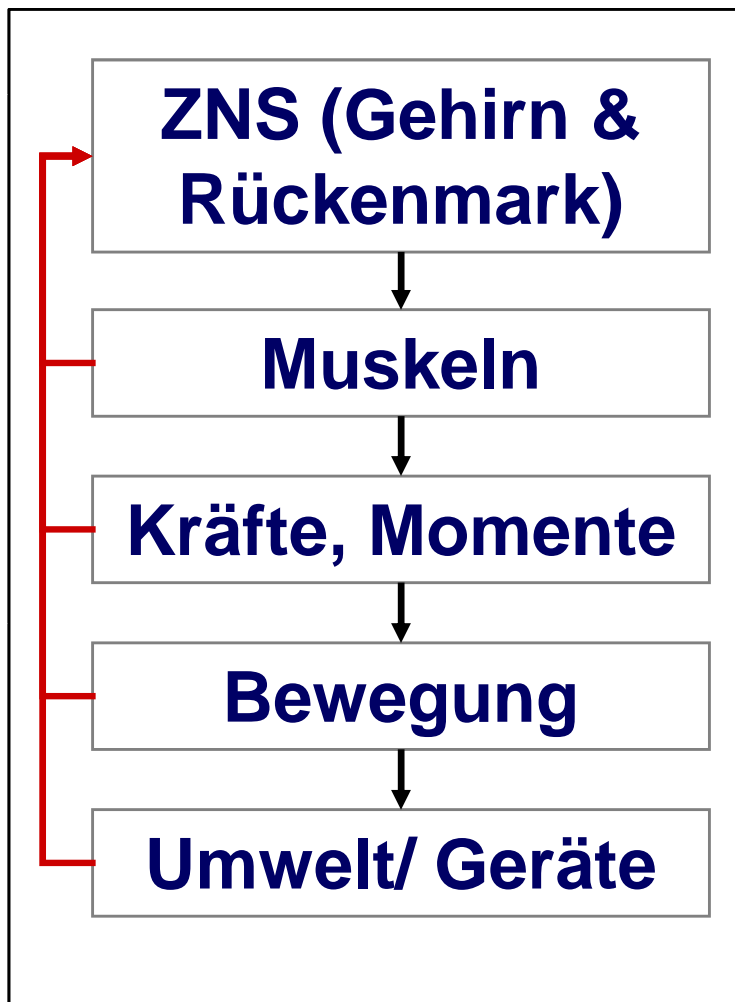
5.3 Neurophysiologische Modelle

Steckbrief des menschlichen Gehirns

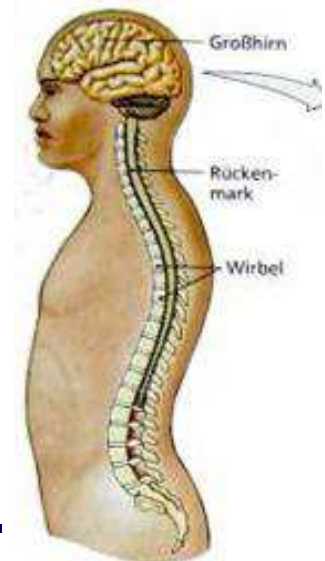
(modifiziert nach Reinhardt, 2012, S.138)

| | |
|---|--|
| 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



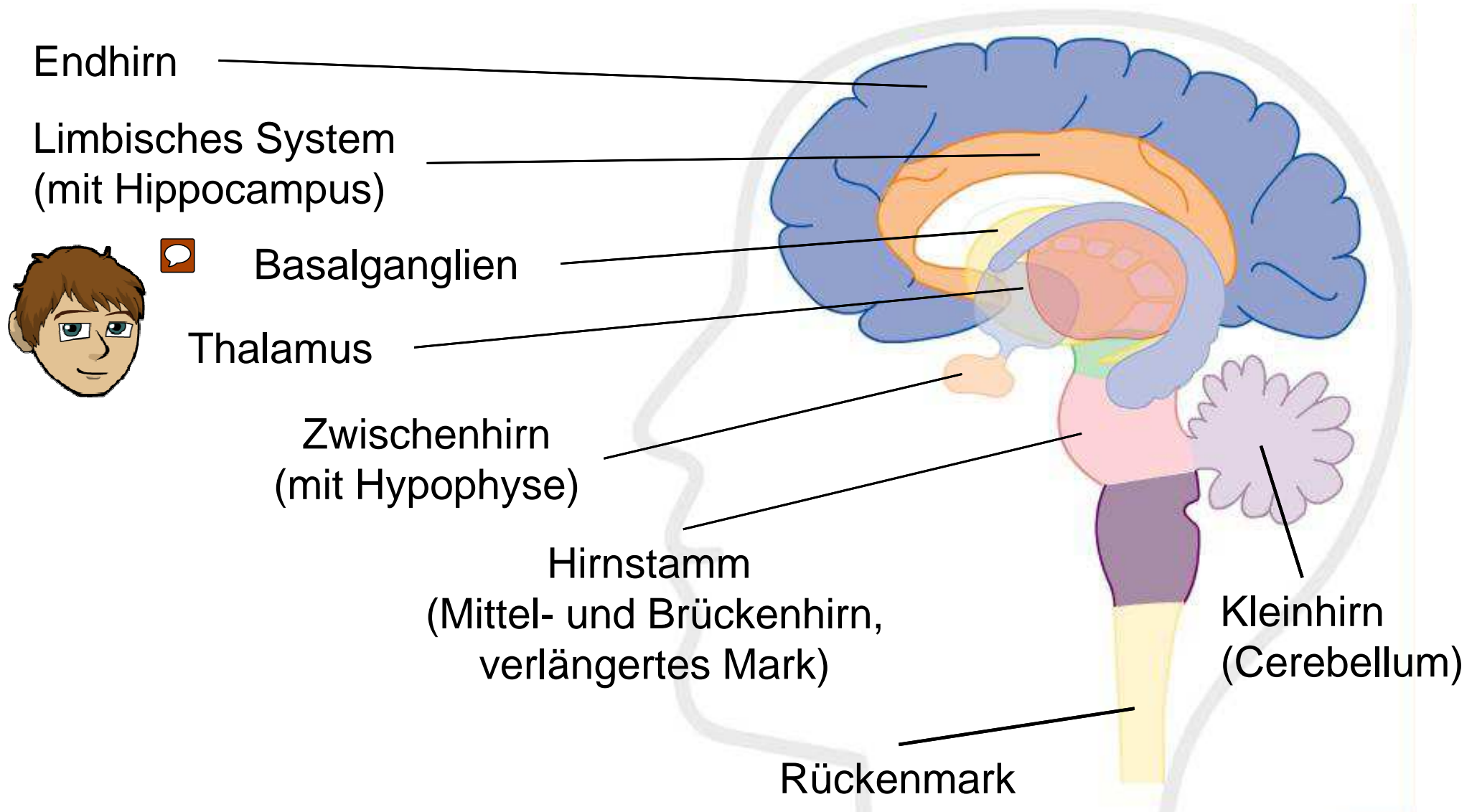
- Motorische Zentren des ZNS
- Informationsfluss zwischen den Zentren
- Funktionsschema
- Spinalmotorik



5.3.1 Funktionelle Einteilung des ZNS



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

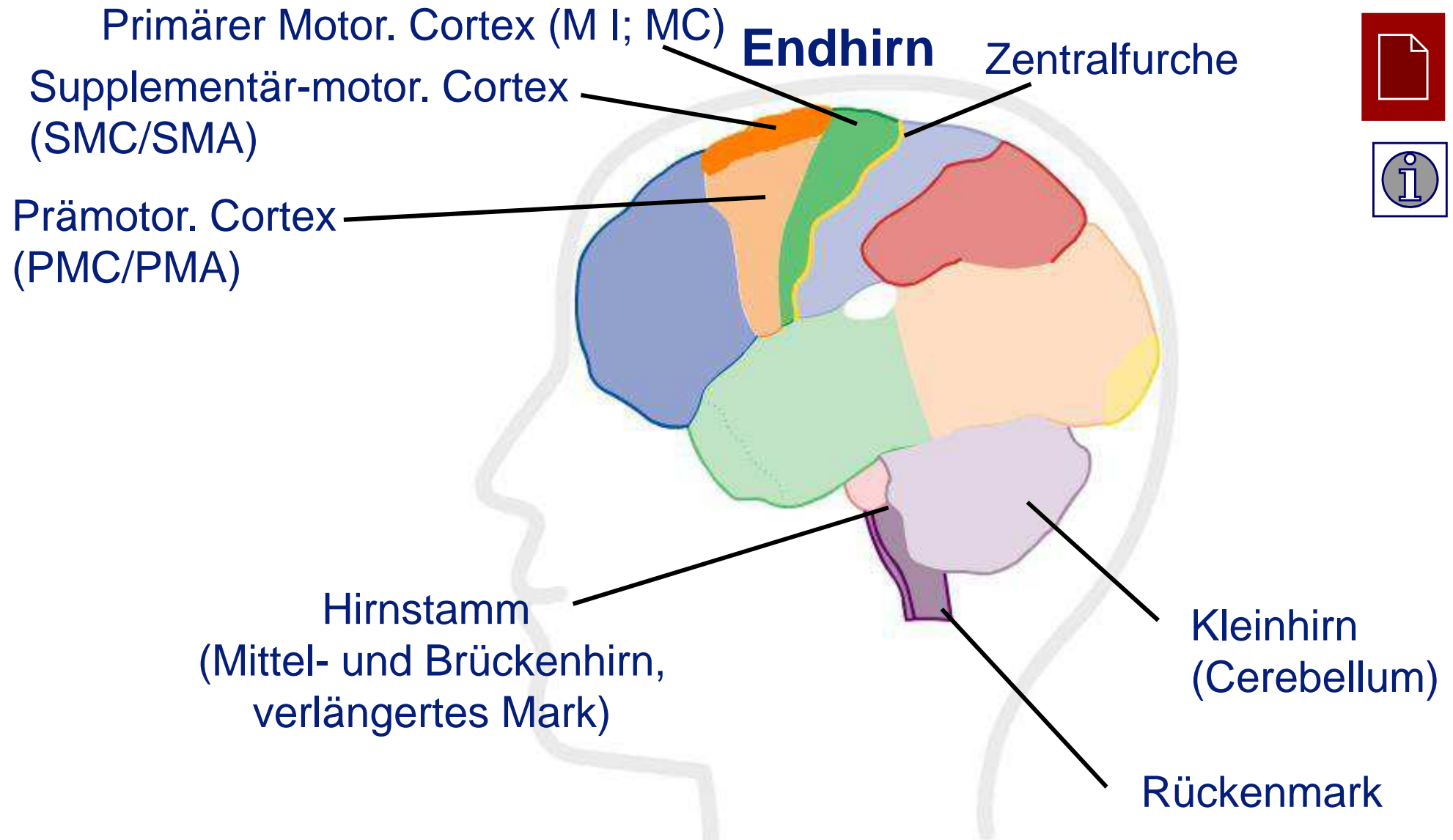


5.3.1 Funktionelle Einteilung des ZNS

(nach de Marées, 2002, S.66)



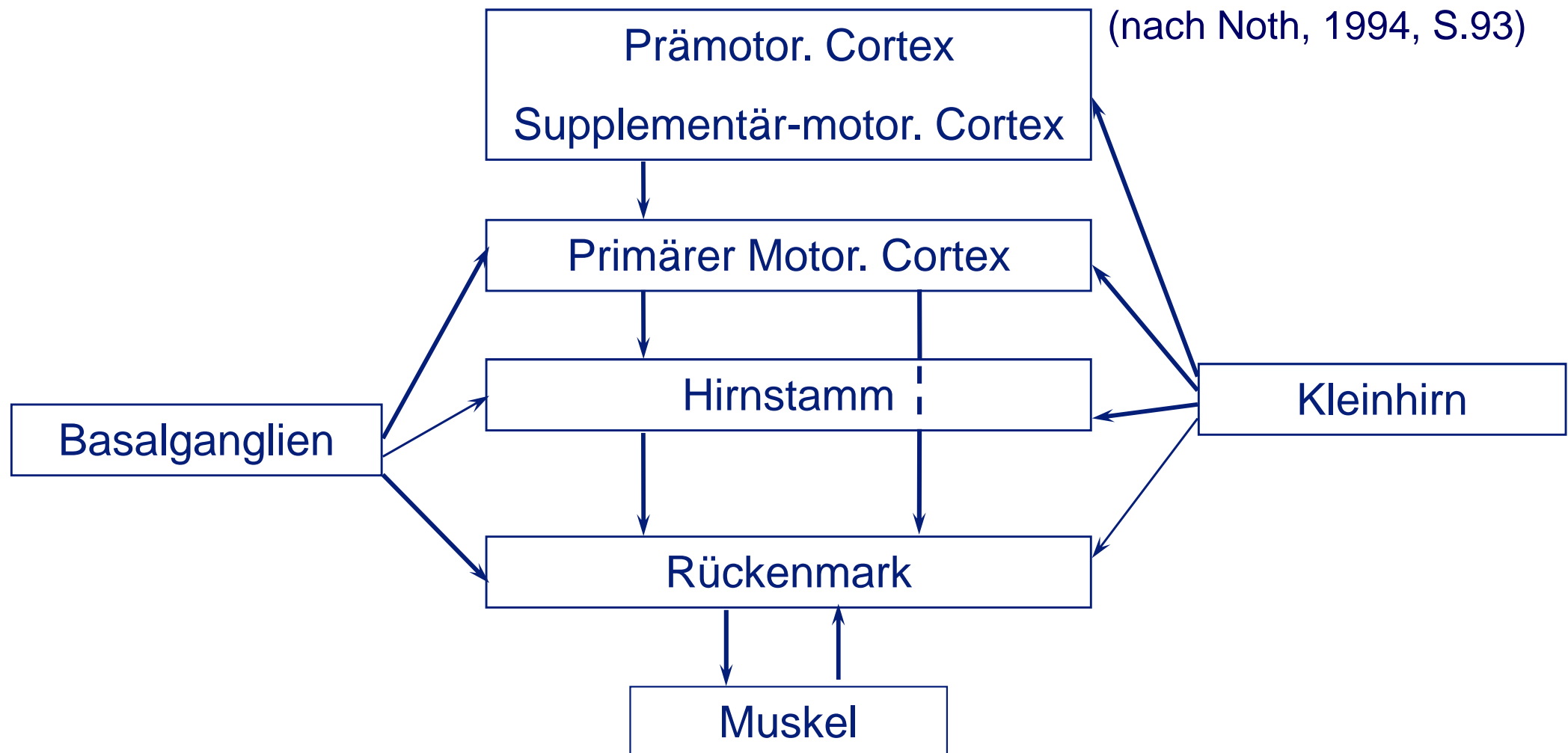
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Frage: Welche Organisationsprinzipien sind erkennbar?

5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems

Motorischer Cortex (Konczak, 2003; Lehmann-Horn, 2007)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Wichtigste Areale (Motorcortex):

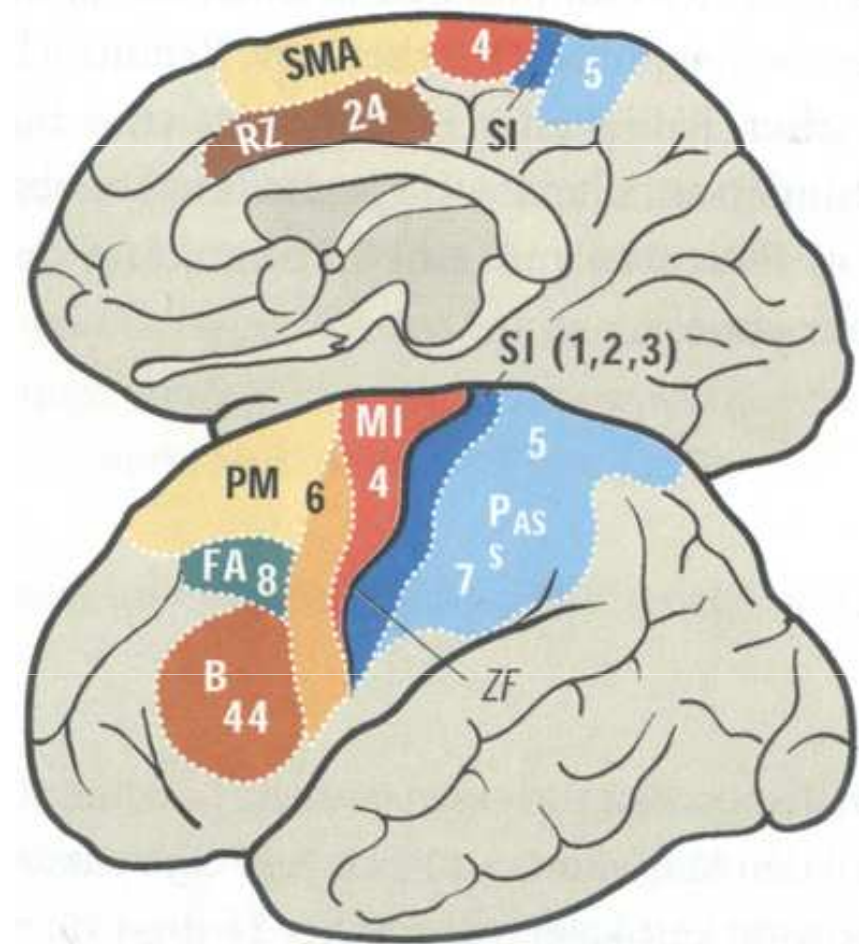
- Primär-motorischer Cortex:
Motorischer Homunkulus –
MI/SI (dyn.)
- Sekundär-motor. Cortex: Supplementär-
und prämotorisches Areal: SMA/PMA

Funktionen:

- Codierung globaler kinematischer
und dynamischer Bewegungs-
parameter (z. B. Richtung oder Kraftrate)
- Bewegungslernen (initial)

Ausfallsymptome:

- Lähmungen (kontralateral – MI)
- Reaktionszeit \uparrow , Bewegungstempo \downarrow
- Apraxie (Assoziationsfelder)



Aus: Lehmann-Horn (2007, S.174)

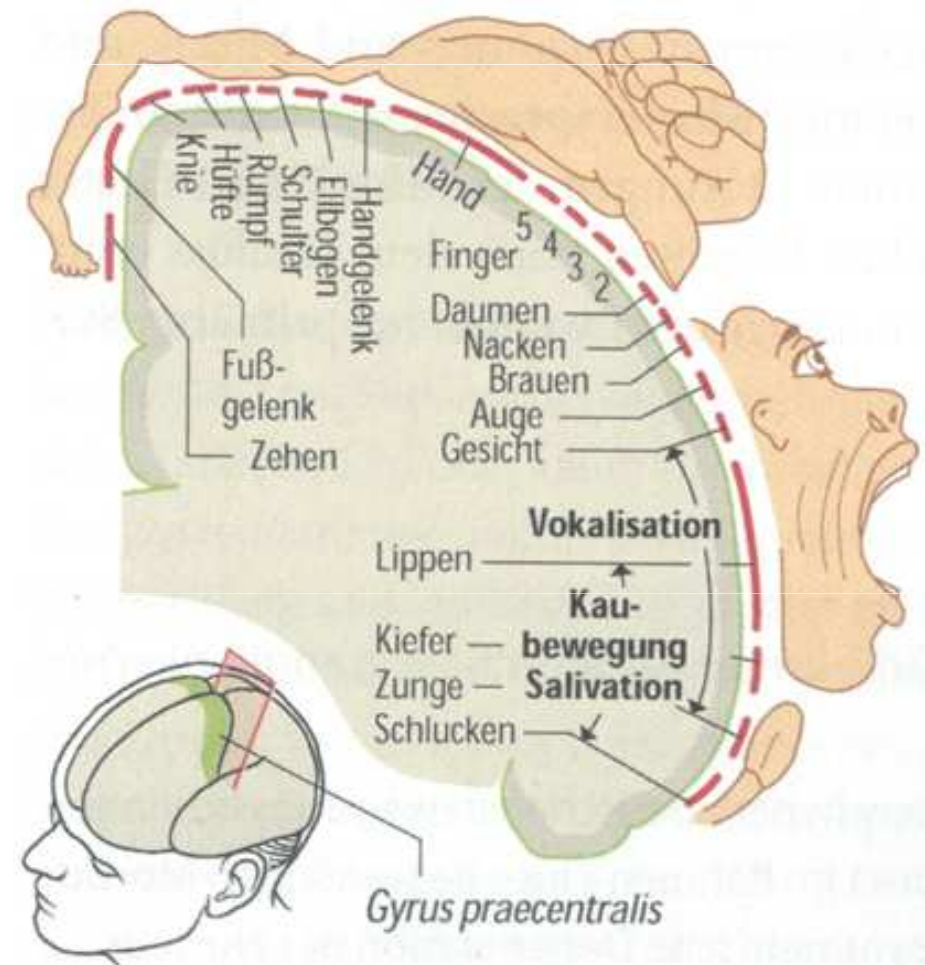
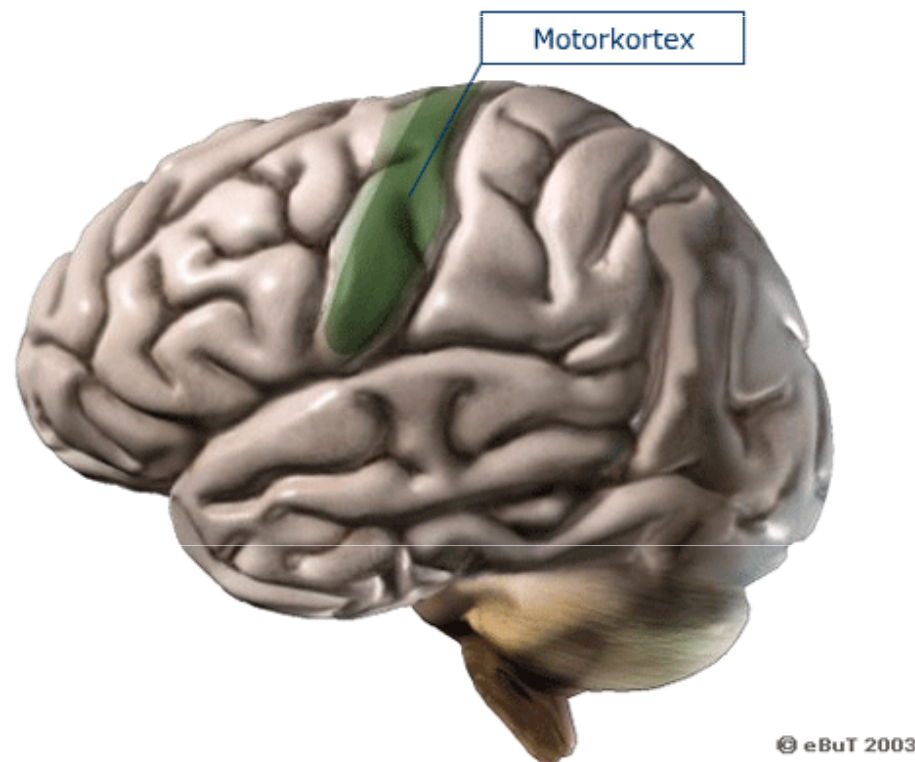
5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems

Motorischer Cortex (Konczak, 2003; Lehmann-Horn, 2007)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Motorischer Homunkulus (aus Lehmann-Horn, 2007, S.174)



5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems

Basalganglien (Konczak, 2003; Lehmann-Horn, 2007)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Wichtigste Areale –

5 subcorikale Kerne (Nuclei – Ncl.)

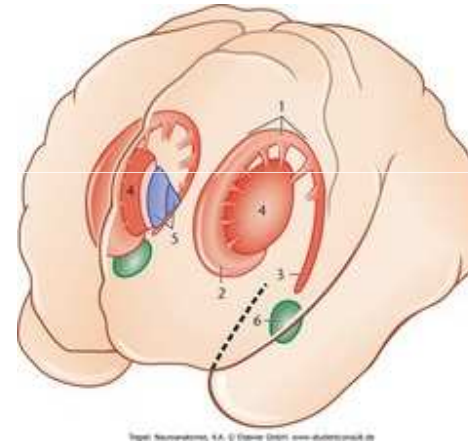
Striatum (Ncl. caudatus, Putamen),
Globus pallidus, Ncl. subthalamicus,
Substantia nigra, Ncl. accumbens

Funktionen:

- Koordination (Richtung, Amplitude, Kraft, Schnelligkeit) – langsame Bewegungen
- Muskeltonus, Mimik, Gestik
- Lernen (unerwartete pos. Effekte - RPE; Beck & Beckmann, 2009)

Ausfallsymptome:

- Bradykinese, Tremor, Rigor
- Chorea – Ballismus
- Athetose



Quelle: quizlet.com

1 – Ncl. caudatus

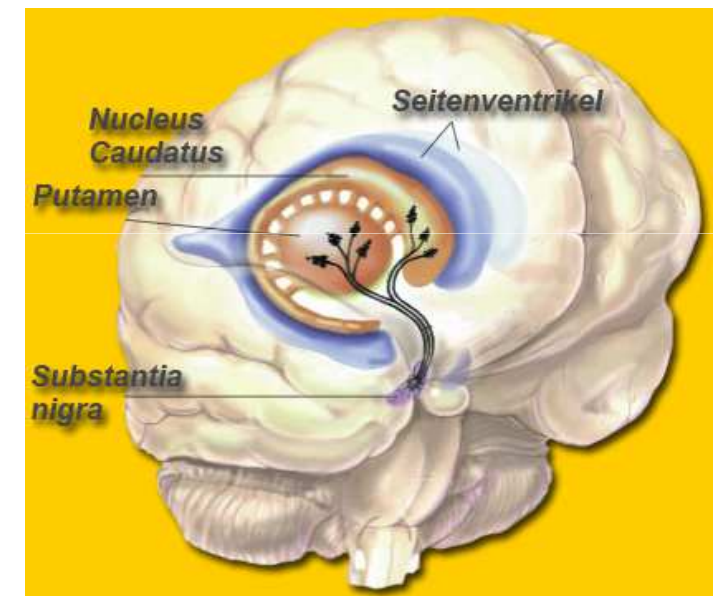
2 – caput (1)

3 – cauda (1)

4 – Putamen

5 – Pallidum

6 – Amygdala



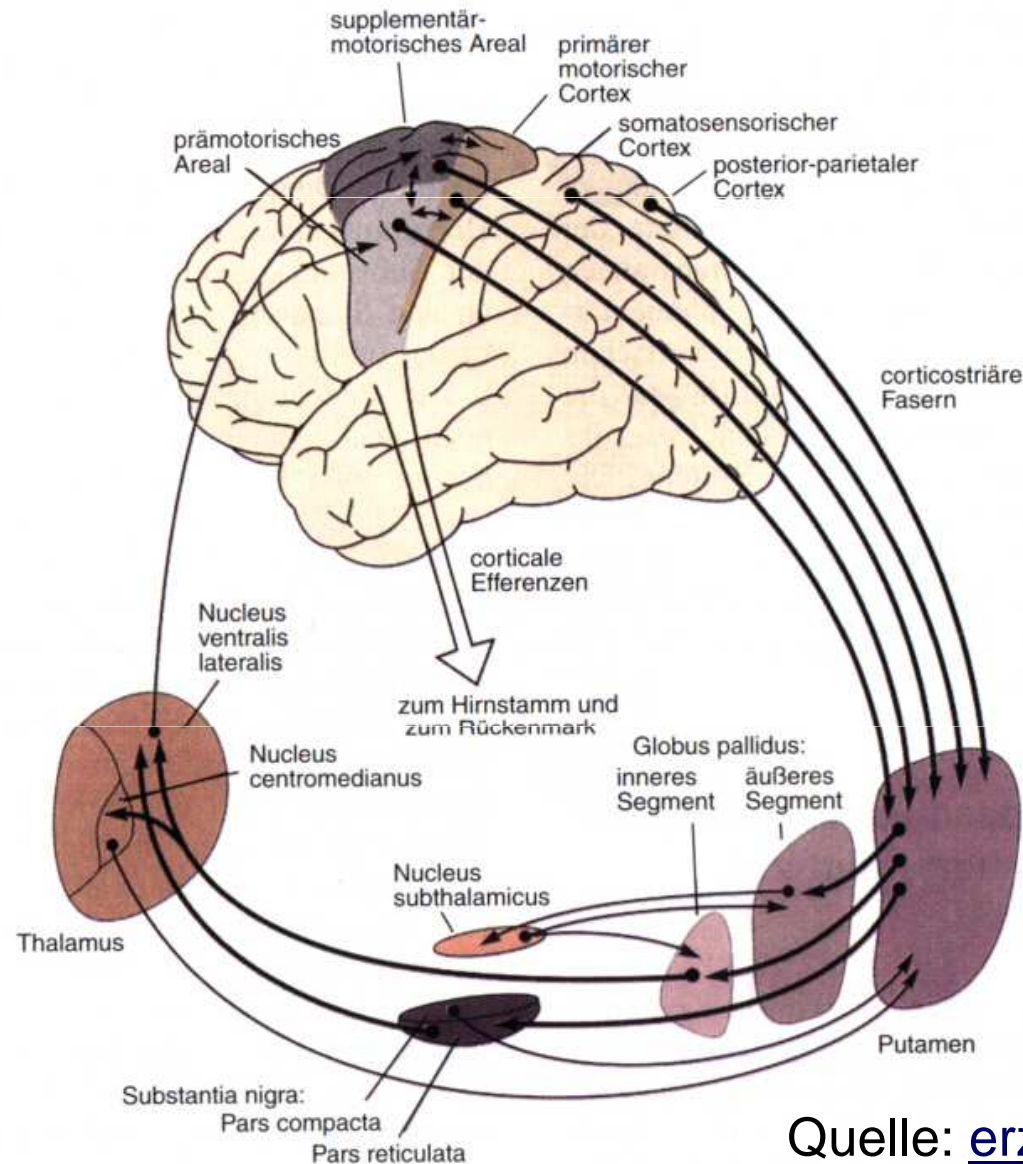
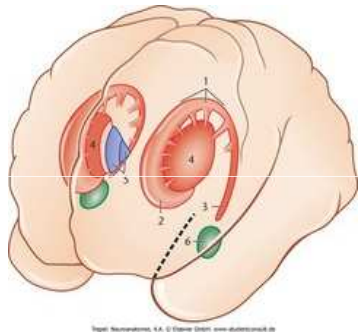
Quelle: gehirn-atlas.de

5.3.2 Aufbau des zentralen motorischen Systems

Basalganglien und ihre Interaktionen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

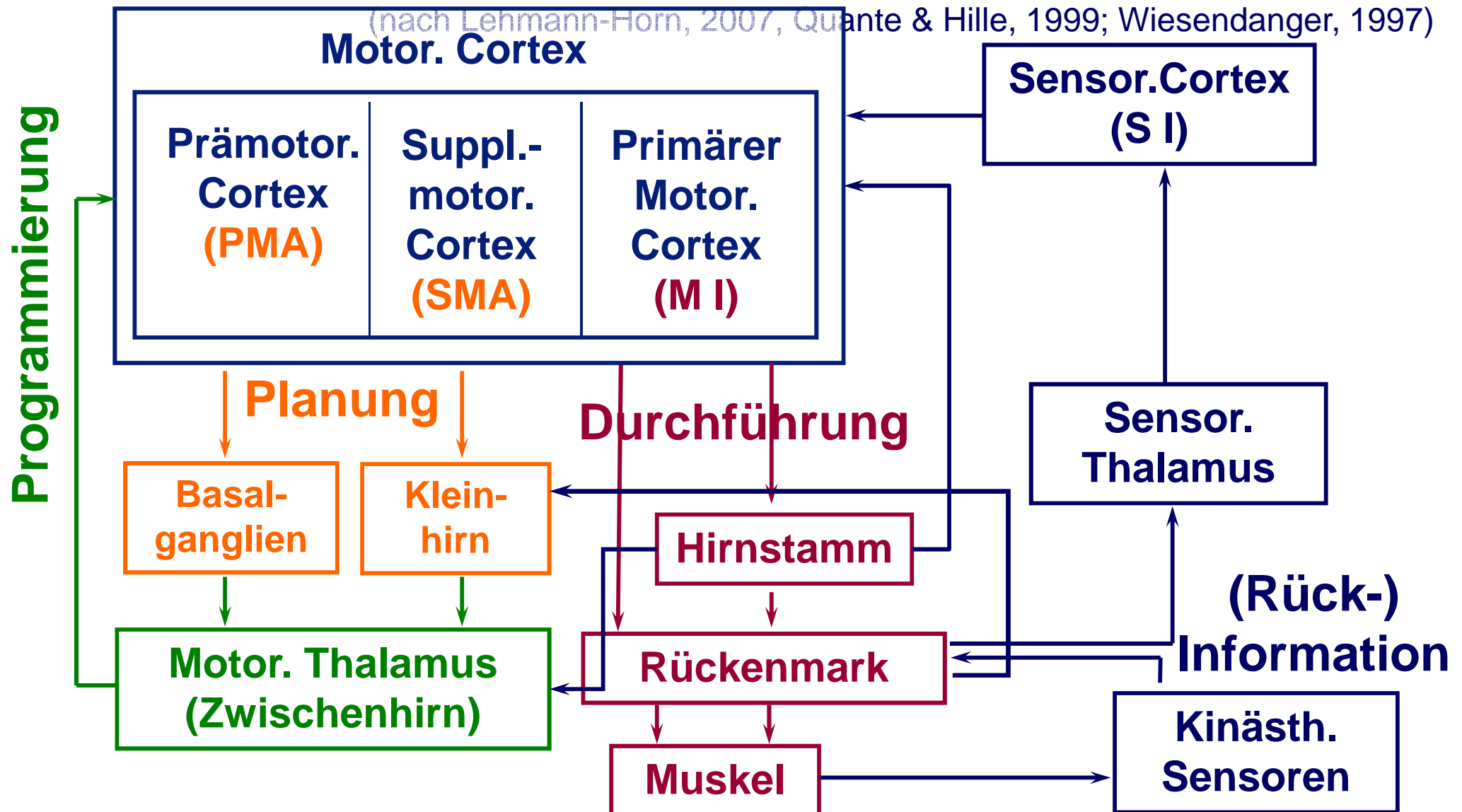


Quelle: erzwiss.uni-hamburg.de

5.3.3 Nervenimpulse (Informationsfluss) im Verlauf einer Bewegung






TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



5.3.4 Sensomotorische Funktionen des ZNS



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

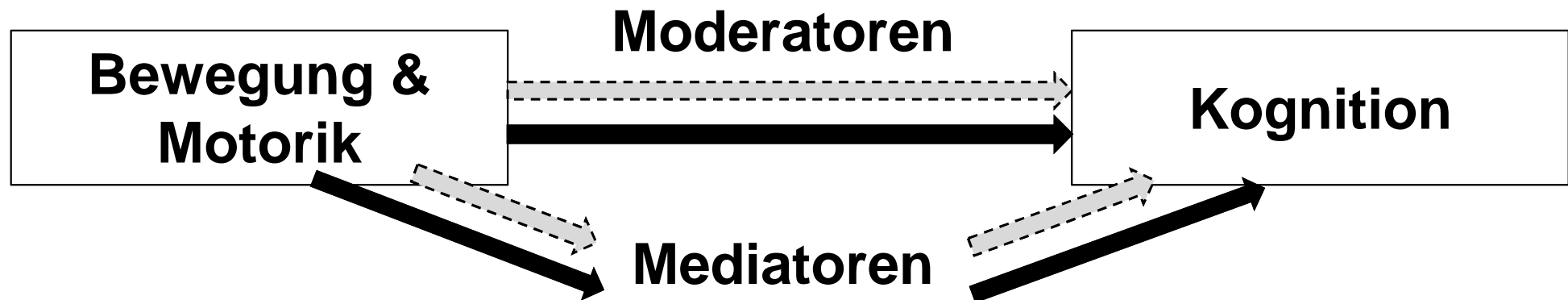
| Gebiet des ZNS | Funktion ( Beispiel) |   |
|----------------|---|---|
| SMA, PMA, RZ | Vorbereitung, Kontrolle, Initiierung | |
| M I | Grobplanung Ausführung („Exekutivorgan“) Korrektur („Long-loop-Reflexe“, über S I) Lernen (initial) | |
| Kleinhirn | Präzise räuml./zeitl. Koordination – schnelle Bewegungen (Parametrisierung, inverse Dynamik) Stützmotorik, Muskeltonus, Mimik, Gestik Lernen (Fehlerkorrektur) | |
| Basalganglien | Präzise räuml./zeitl. Koordination – langsame Bewegungen (Richtung, Amplitude, Kraft, Schnelligkeit) Muskeltonus | |
| Hirnstamm | Stützmotorik (Muskeltonus, reaktive/ proaktive Anpassung) | |
| Rückenmark | Spinalmotorik (Reflexe, elementare Bewegungsprogramme) | |

Neu!

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



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

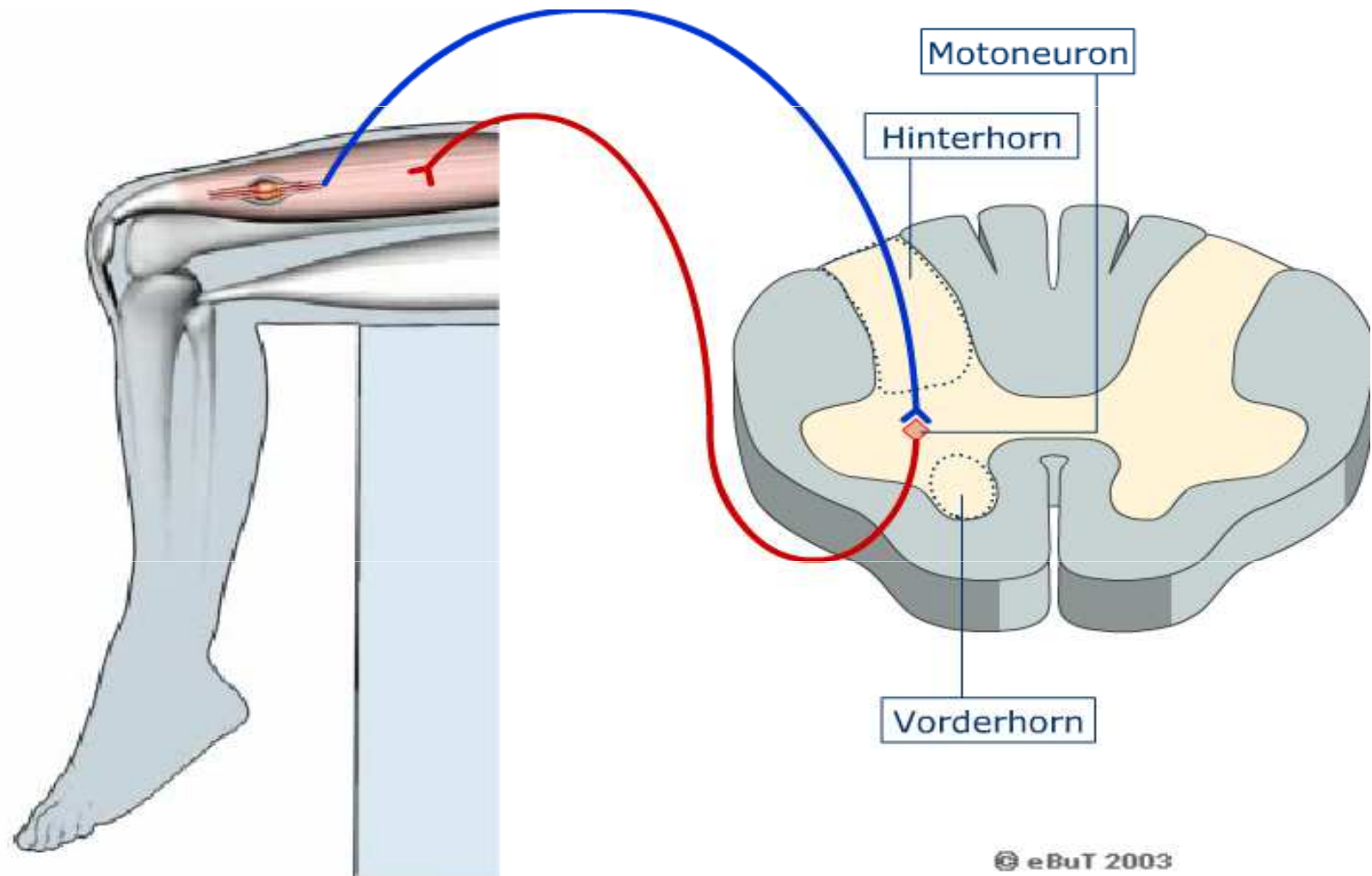


| Motorik | Moderatoren | Mediatoren | Kognition |
|---|---|--|---|
| Fertigkeiten | Alter & Gender | Neuro-/Synapto-/ Angiogenese | Qualität: |
| Fähigkeiten: <ul style="list-style-type: none">• Kondition• Koordination | Genetik Sozialstatus Soziale Umwelt | Gesundheit & Fitness Psychosoziale Faktoren | Sensorik, WN, Gedächtnis, Behalten, Transfer, Handlungs- regulation etc. |
| Beanspruchungs- parameter | Leistungsniveau Erfahrungen | Psychophysische Aktivierung Lokale Durch- blutung | Quantität: Geschwindigkeit, Genauigkeit, Leistungsgüte etc. |

5.4 Spinalmotorik - konkret



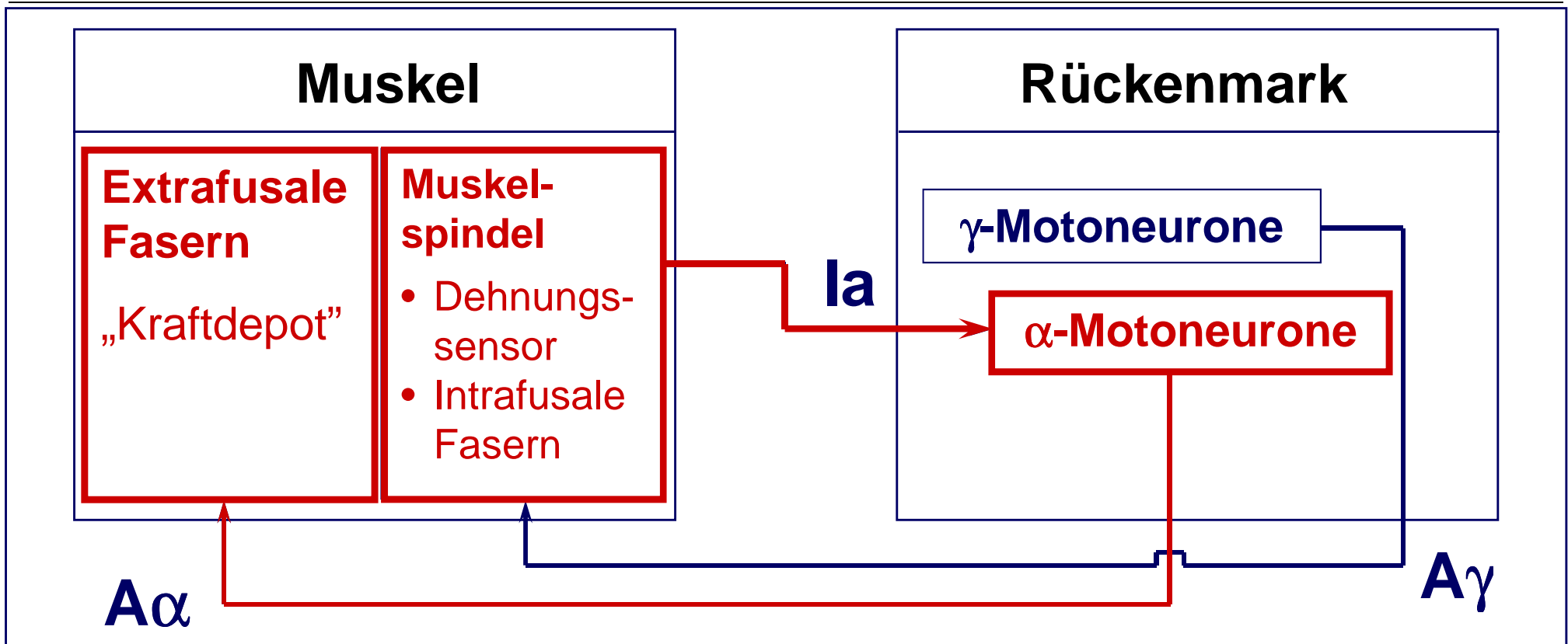
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



5.4 Spinalmotorik - Muskeldehnungsreflex



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

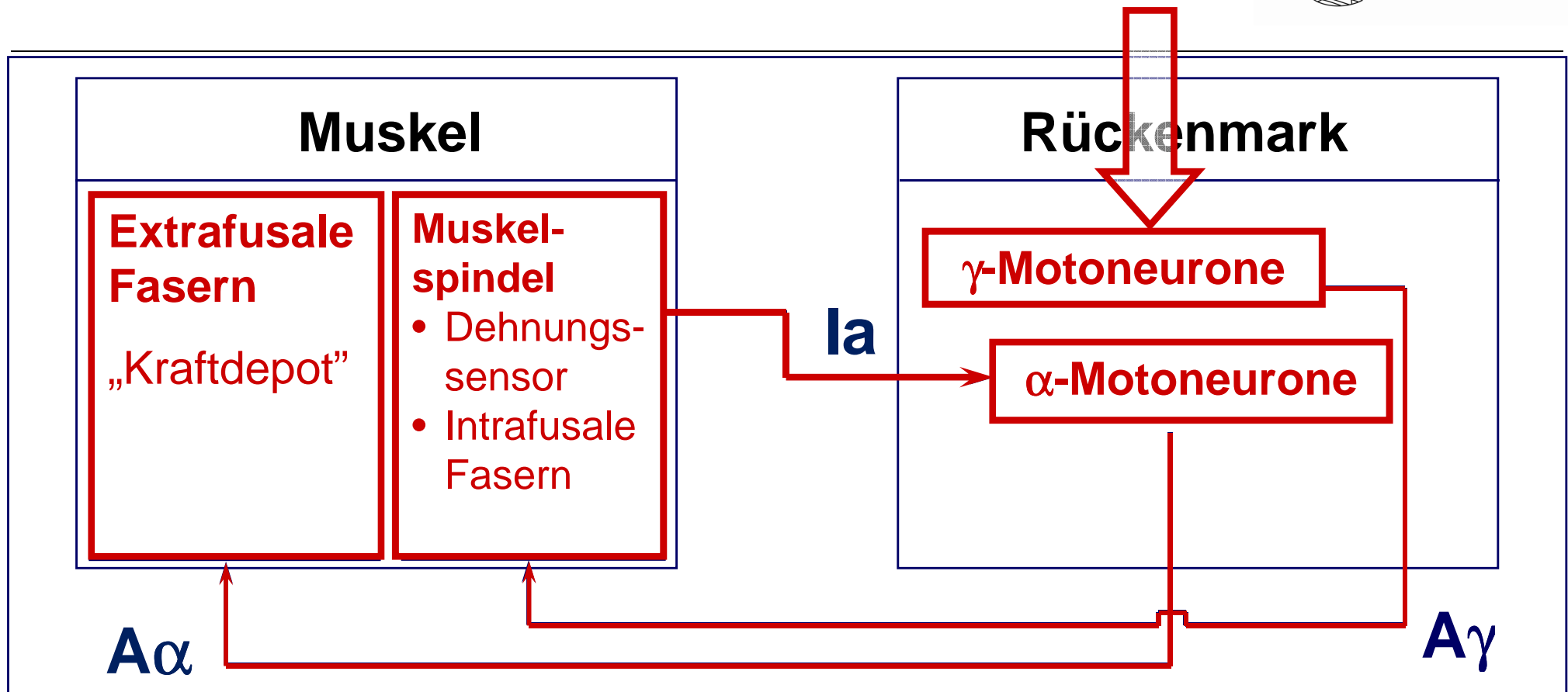


Fazit: Schnelle Dehnung → **sehr** schnelle Kontraktion (D)
Langsame Dehnung → langsame Kontraktion (P)



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

5.4 Spinalmotorik - Supraspinale Einflüsse



Fazit („γ-Schleife“):

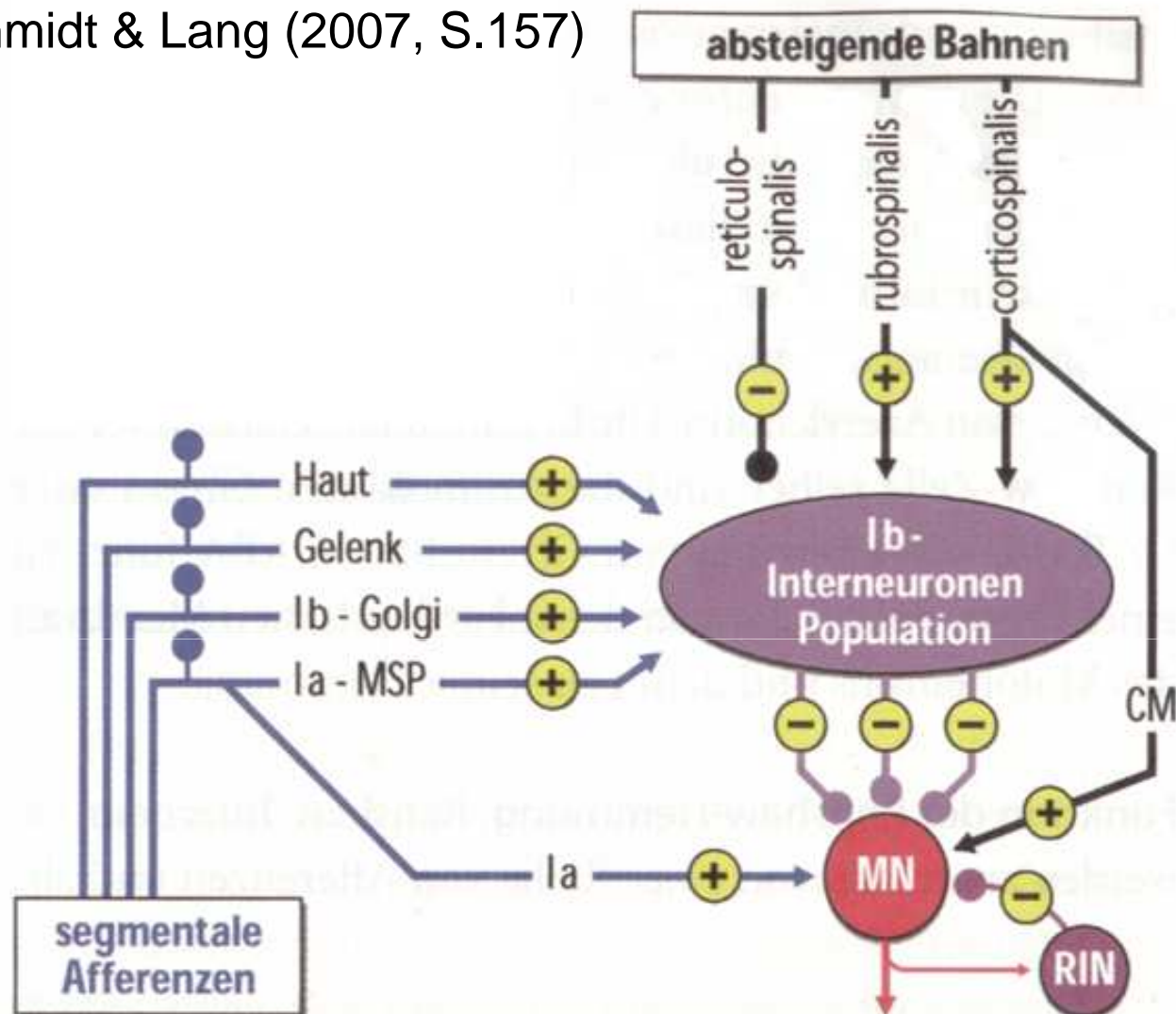
Psychische/physische Beanspruchungen → Motoneuronen-Erregbarkeit

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

5.4 Spinalmotorik – Weitere Reflexe



Quelle: Schmidt & Lang (2007, S.157)

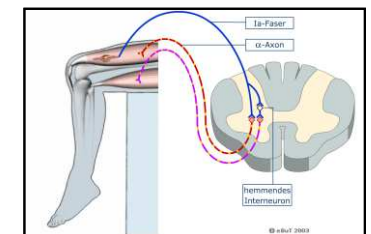
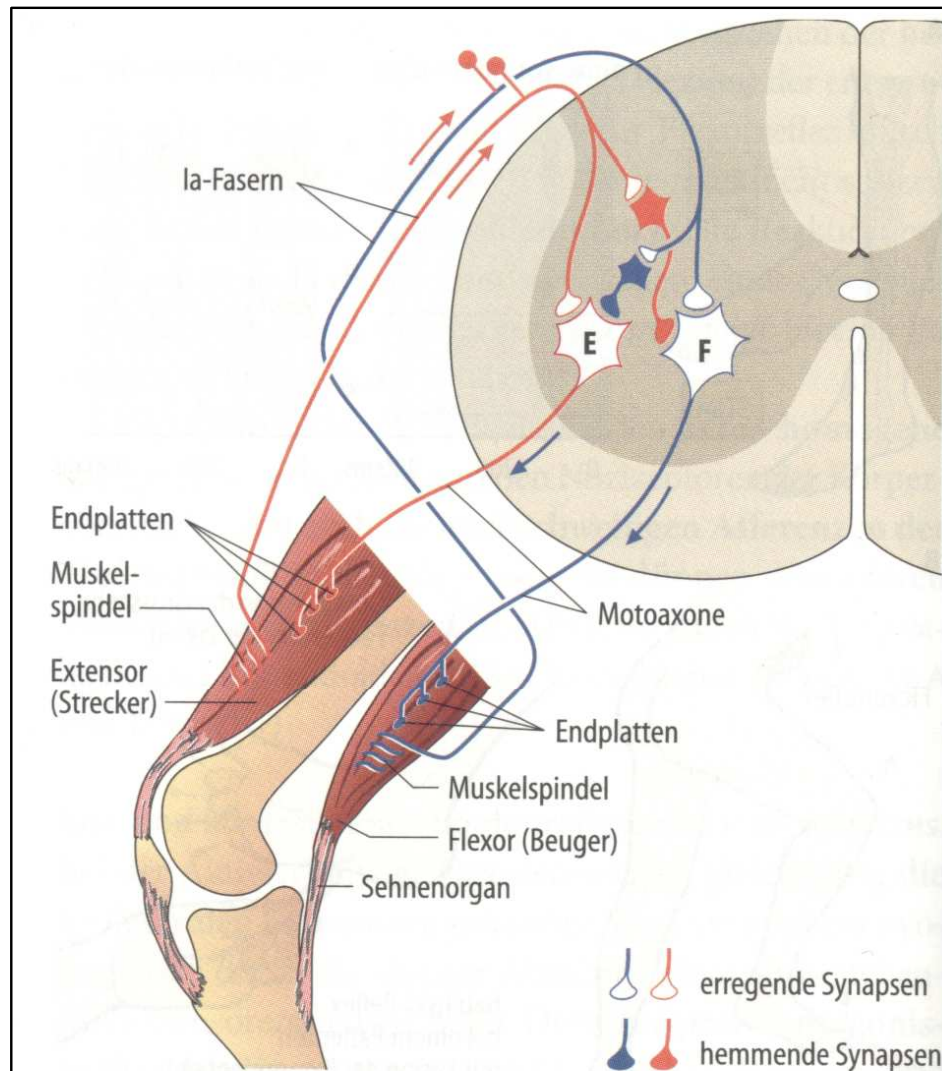


5.4 Spinalmotorik – weitere Reflexe

Reziproke antagonistische Hemmung



Quelle: Schmidt & Lang (2007, S.156)

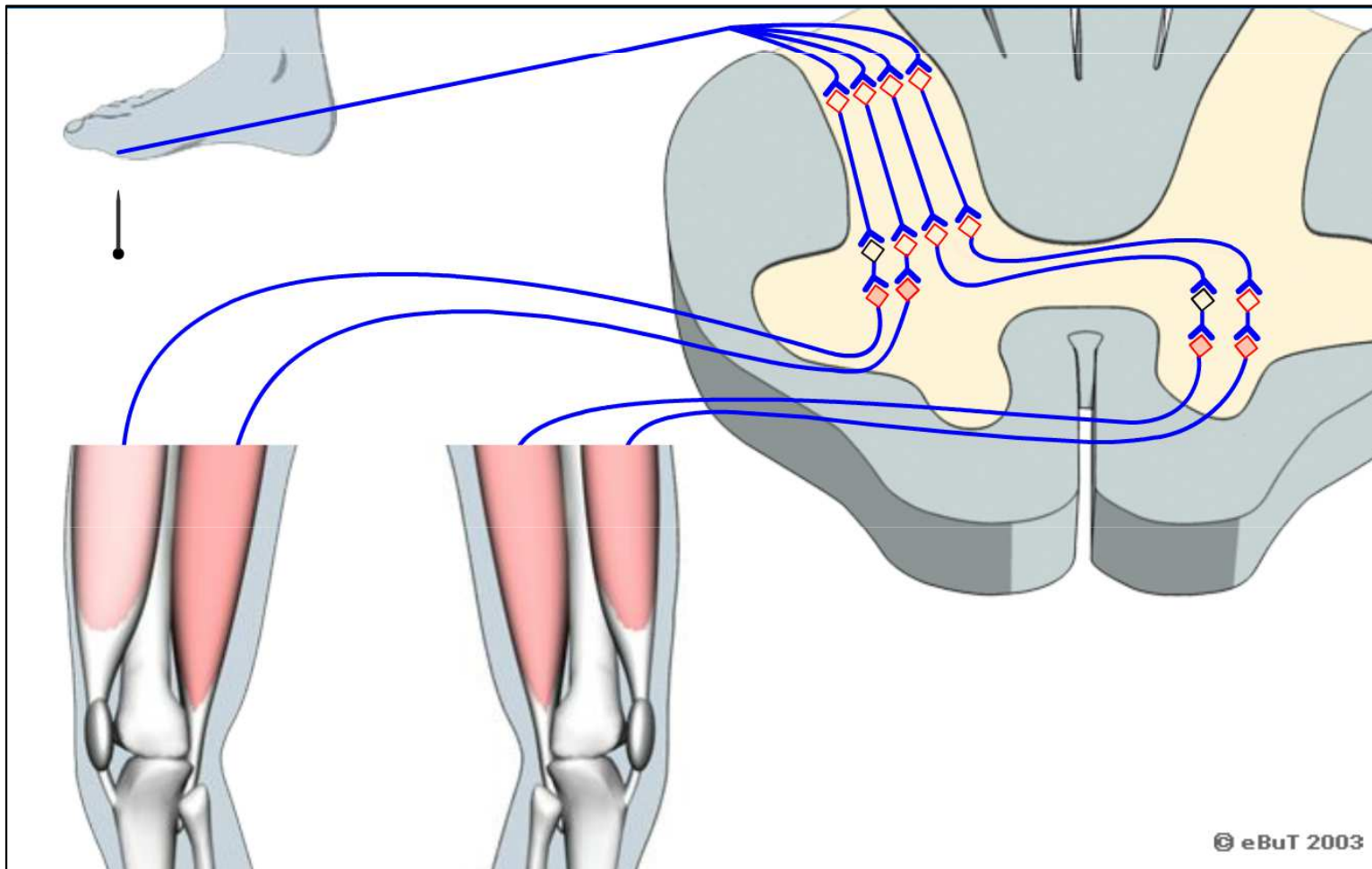


5.4 Spinalmotorik – weitere Reflexe

Schutzreflex



Reflex: polysynaptisch, Fremdreflex



© eBuT 2003

Merke!



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Bewegungen können also willkürlich und unwillkürlich sein.

Wenn man die Patellarsehne mit einem Reflexhammer reizt, wird z.B. ein Streckreflex ausgelöst, der den Unterschenkel vorschnellen lässt.

Bei einem Golfabschlag dagegen ist eine willkürliche Planung auf supraspinaler Ebene nötig, also einer Ebene, die dem Rückenmark übergeordnet ist!

Neu!

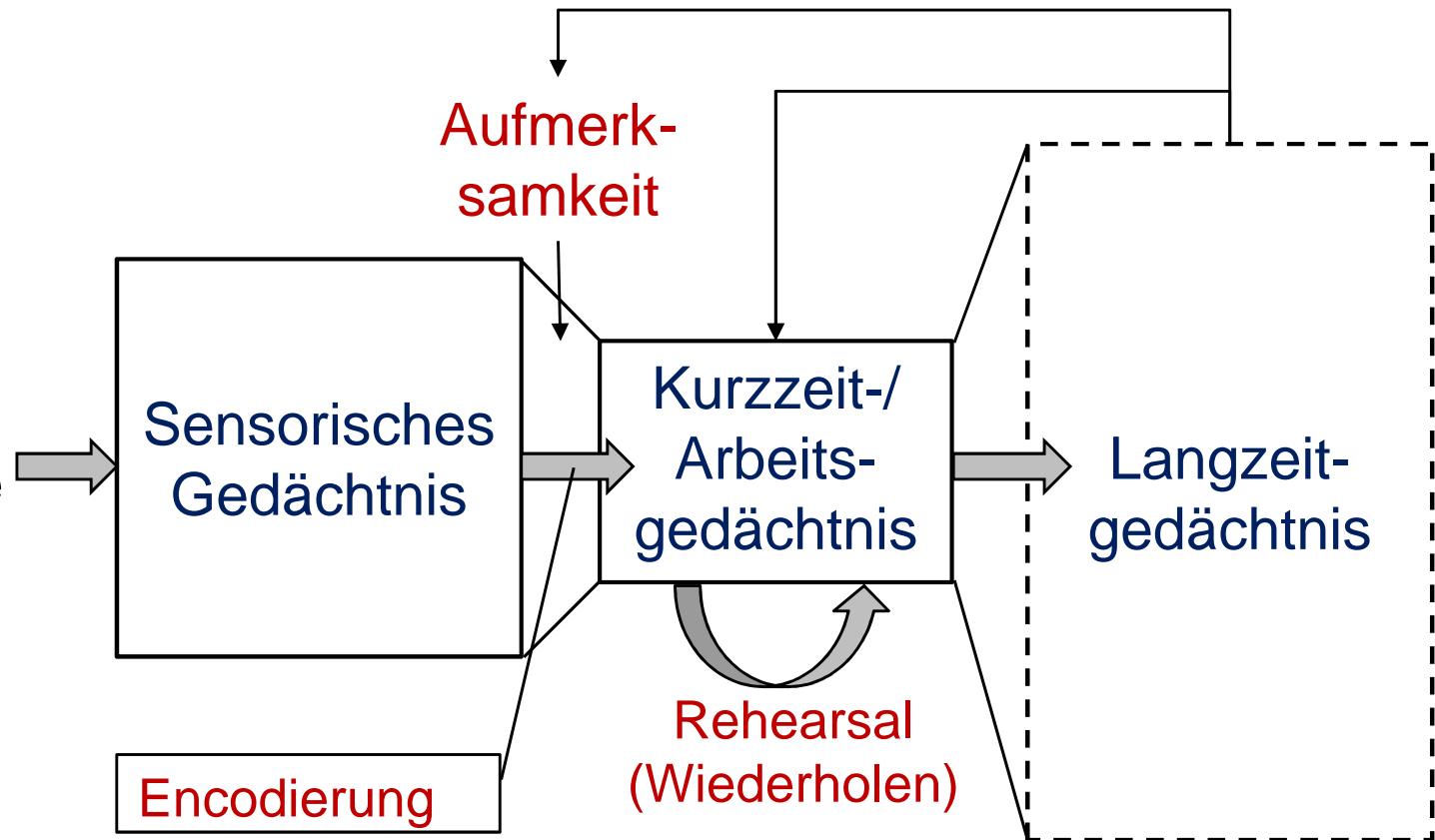
5.5 Psychologische Modelle - Allgemeines Gedächtnismodell



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

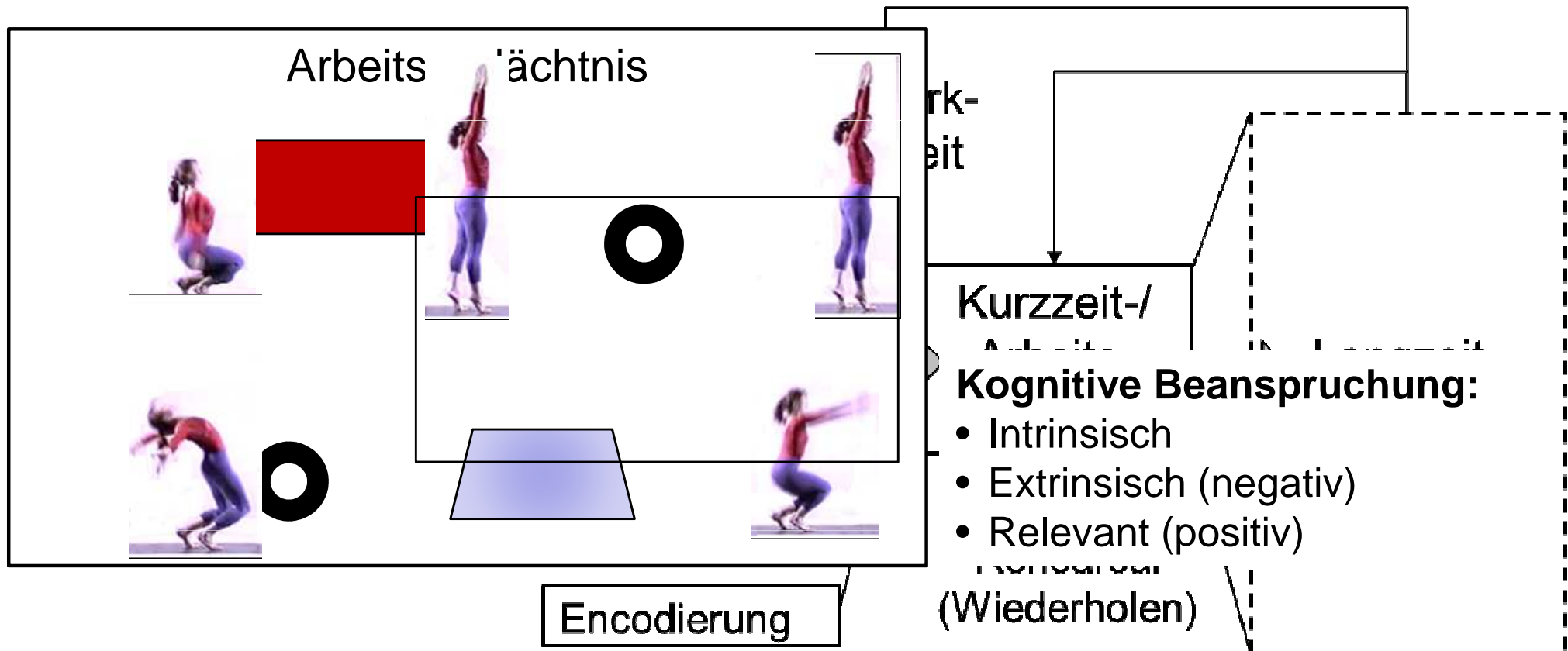


Visuelle Reize
Auditive Reize
Taktile Reize
Kinästhetische Reize
Vestibuläre Reize
Olfaktorische Reize
Gustatorische Reize



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

5.5 Psychologische Modelle – Arbeitsgedächtnis & kognitive Beanspruchung



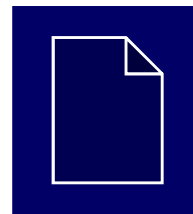
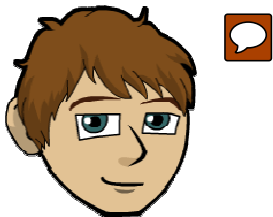
Frage: Wie kann man die kognitive Beanspruchung reduzieren?

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



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**)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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:

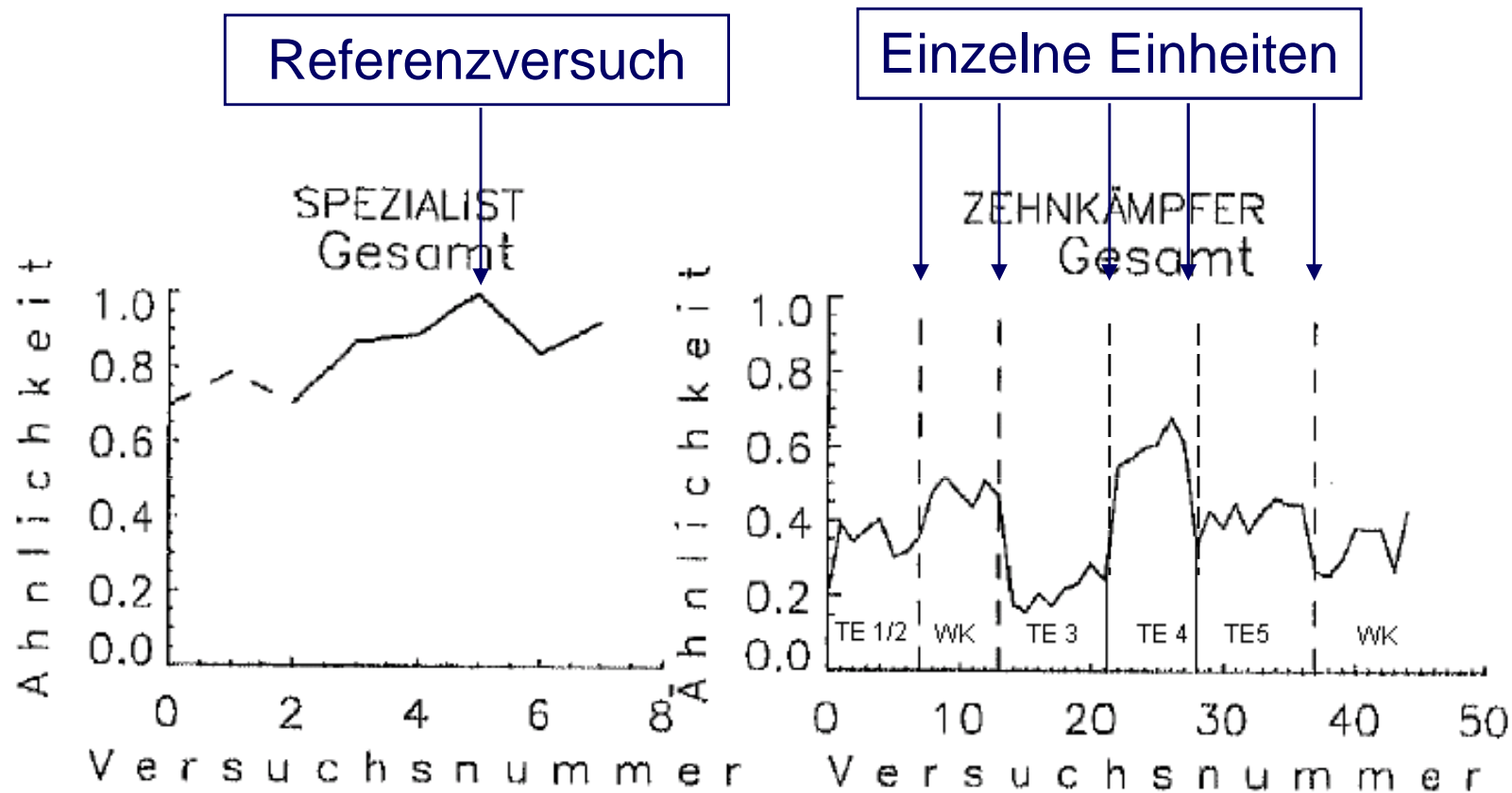
- 1. Wie werden spezifische Parameter in das GMP eingesetzt?**
- 2. Wie werden GMP und Parametrisierung gelernt?**

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



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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

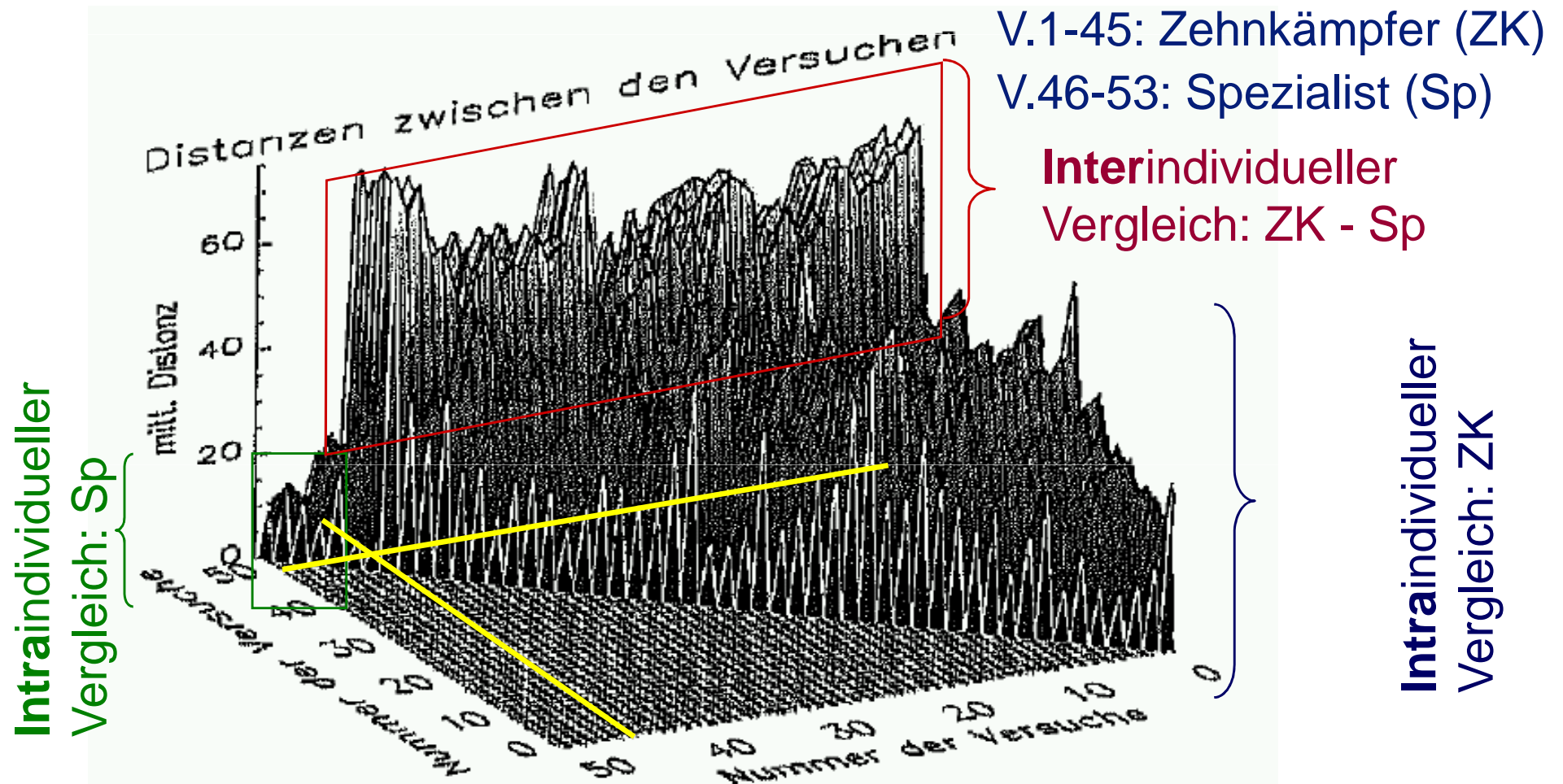


5.5.1 Modell Generalisierter Motorischer Programme (**GMP**)



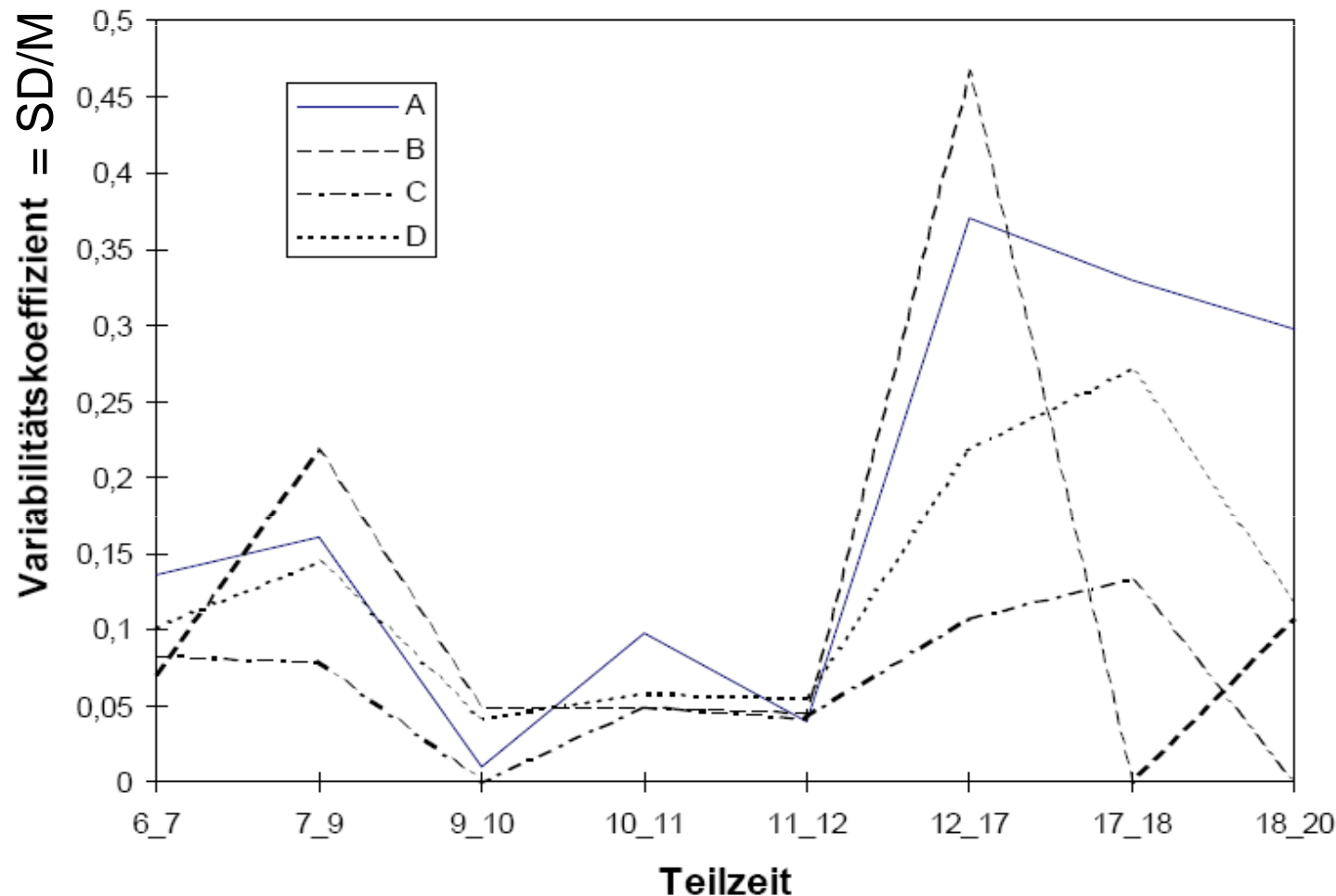
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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



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

Ein zweiter kritischer Befund – Variabilität relativer Zeiten beim Wasserspringen: 2,5 Auerbachsalto gehockt (Semmler, 1997)



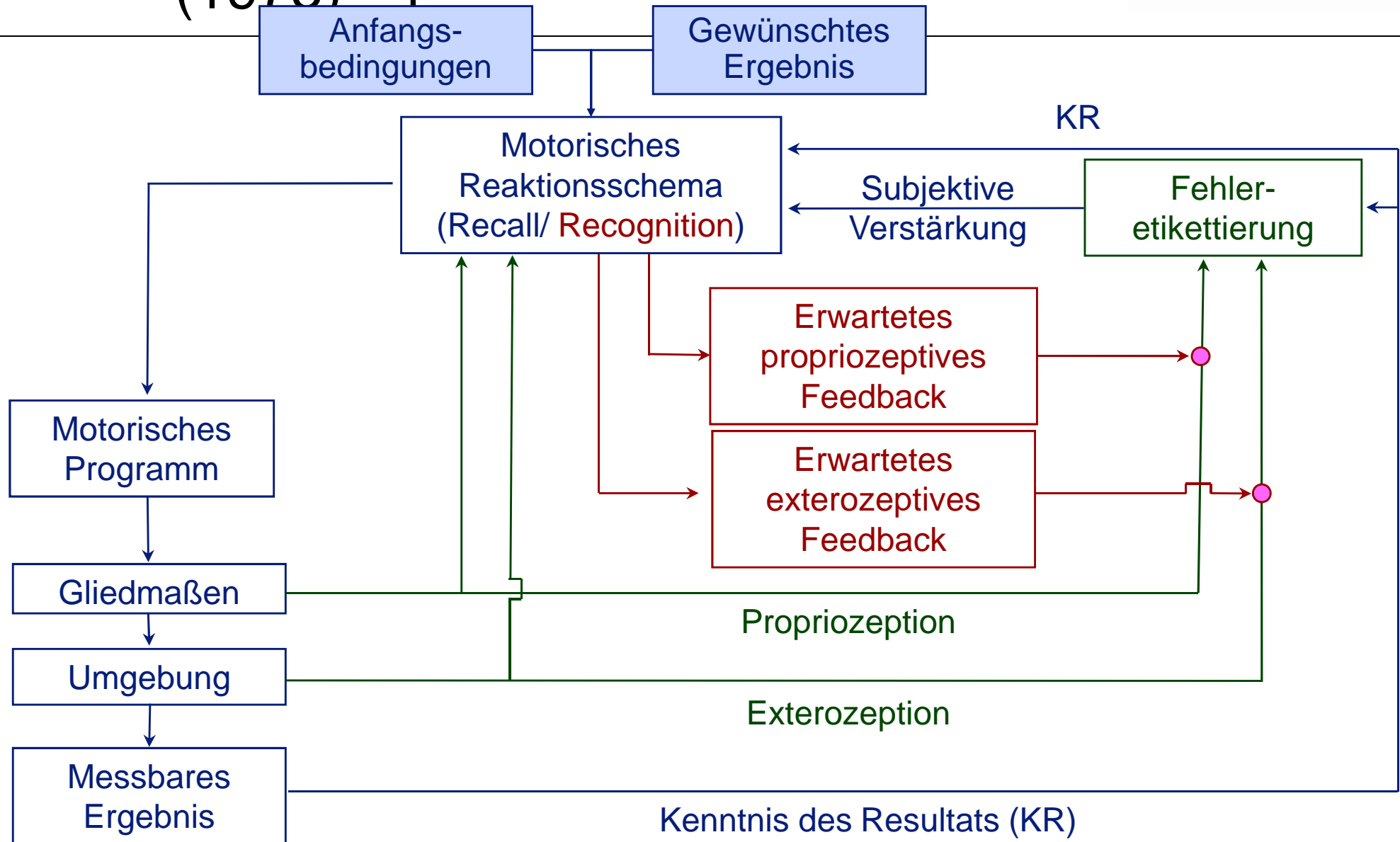
N=4 Springer (A-D)

- 6 – Letzte Brettberührung
- 7 – Sprungansatz
- 9 – ½ Drehung
- 10 – 1 Drehung
- 11 – 1 ½ Drehung
- 12 – 2 Drehung
- 17 – Streckungsbeginn
- 18 – Streckungsende

5.5.2 Schema-Modell nach Schmidt (1975) - 1



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

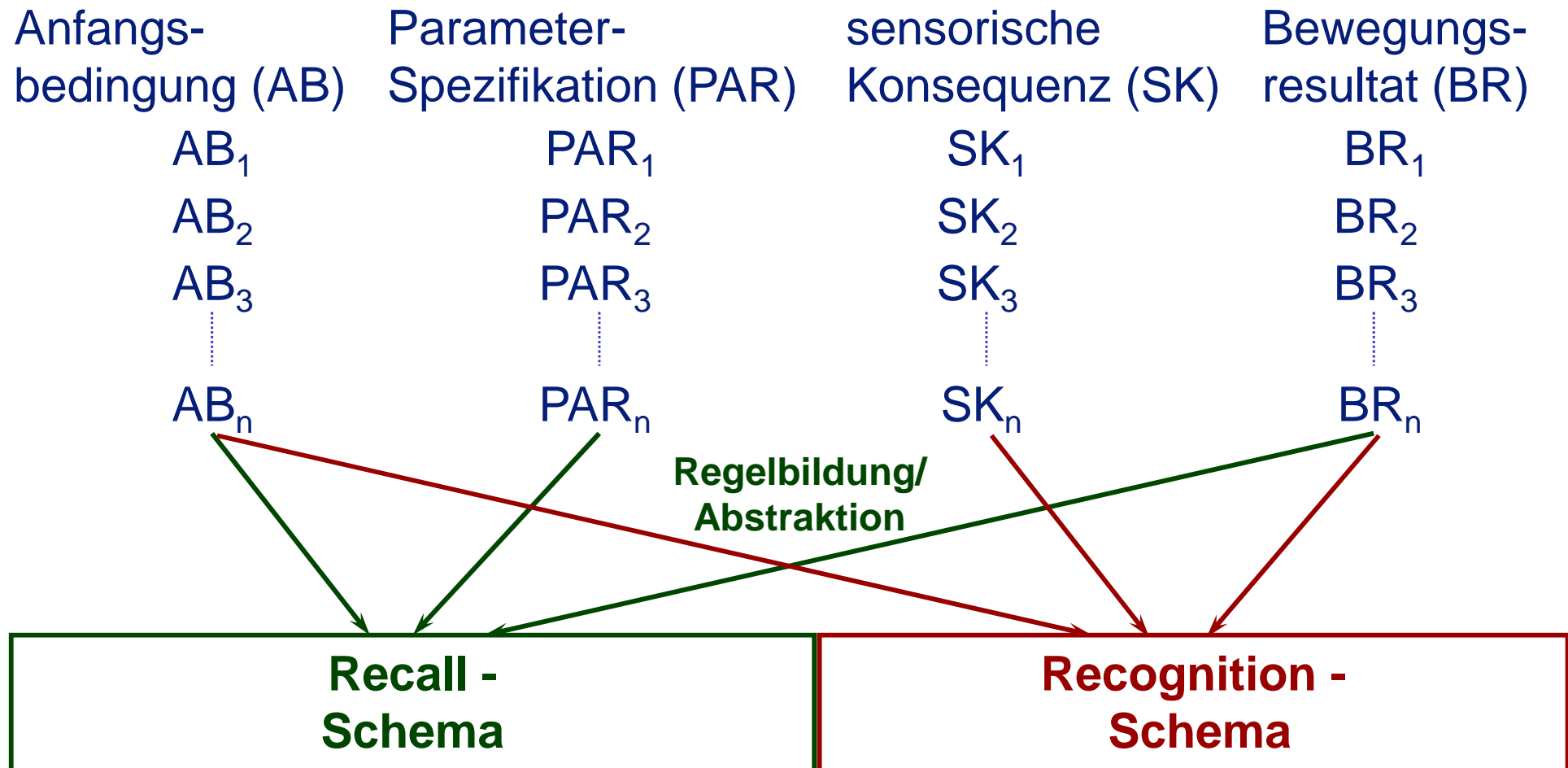


5.5.2 Schema-Modell nach Schmidt (1975) - 2



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

4 Speicherinhalte:



5.5.2 Schema-Modell nach Schmidt (1975) - 3



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- **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)

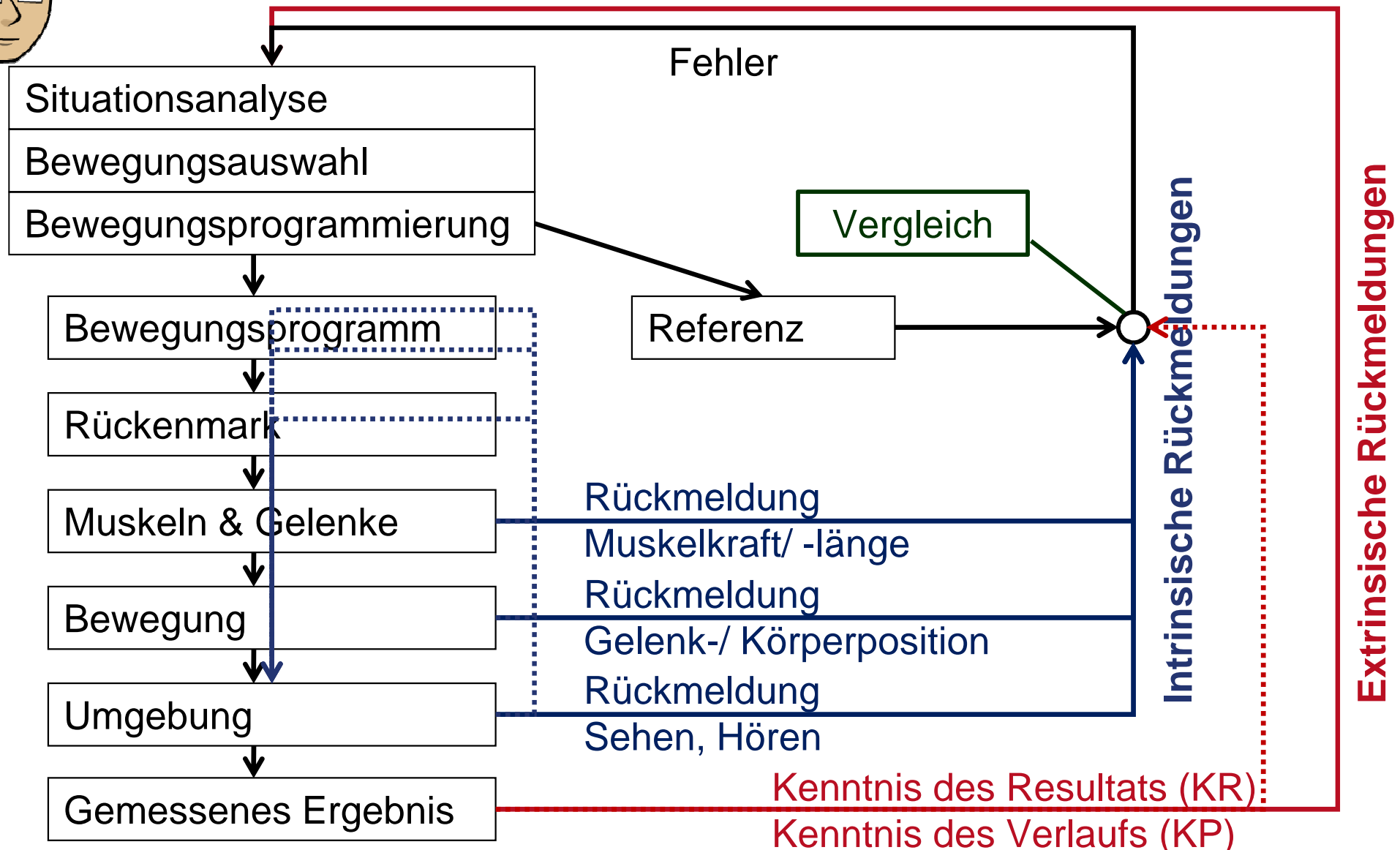
5.5.2 Schema-Modell nach Schmidt (1975) - 4



- **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 Programmierens
 - 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

5.5.2 Generalisierung – Allgemeines Modell

 (modifiziert/ergänzt nach Schmidt, 1991, S.265)



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)

Merke!



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Das Schema-Modell besteht aus Recall- und Recognition-Schema.

Durch das Recall-Schema werden die geeigneten Parameter in das GMP eingesetzt. Das fertige Programm wird an die Gliedmaßen weitergegeben, die auf die Umwelt einwirken. Es entsteht eine Bewegung.

Durch das Recognition-Schema wird das erwartete proprio- und exterozeptive Feedback für die Bewertung bereitgestellt.

Nach der Ausführung können wir das erwartete mit dem tatsächlichen Feedback vergleichen und die Bewegung bewerten.

5.5.3 Interne Modelle – alter Wein in neuen Schläuchen?



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Internes Modell (z. B. Schiebl, 2006)

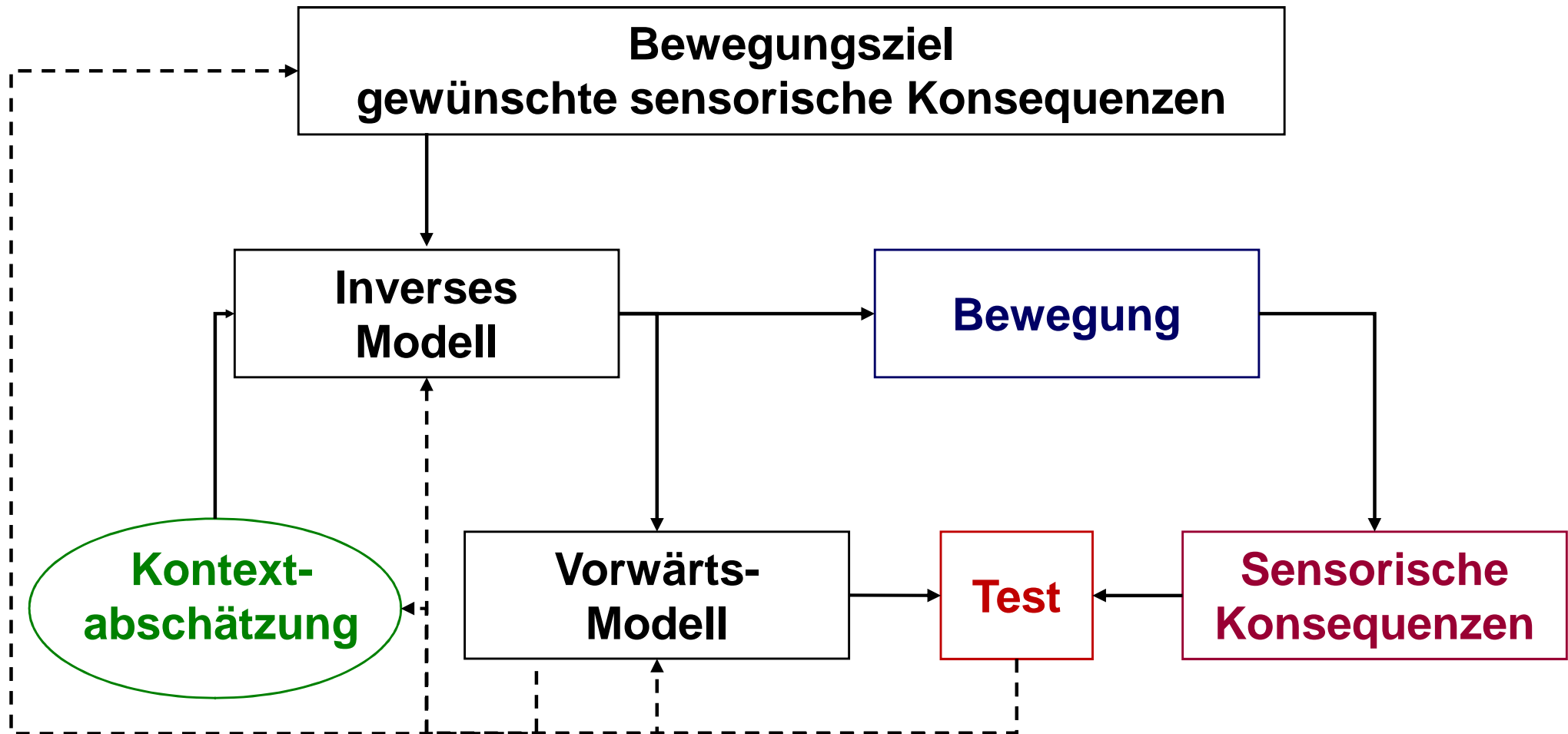
- „neuronale Repräsentation der funktionalen Relationen zwischen motorischen Kommandos und sensorischen Ereignissen bzw. Konsequenzen“ (Schiebl, 2006, S.4)
- Verbindungsstelle von Sensorik und Motorik
- Inverse Modelle:
Bewegungsziele → Winkel, Kräfte, Muskelaktionen
- Vorwärts-Modelle:
Winkel, Kräfte,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

5.5.3 Interne Modelle – alter Wein in neuen Schläuchen?



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Integriertes Modell (Schiebl, 2006, S.16)



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

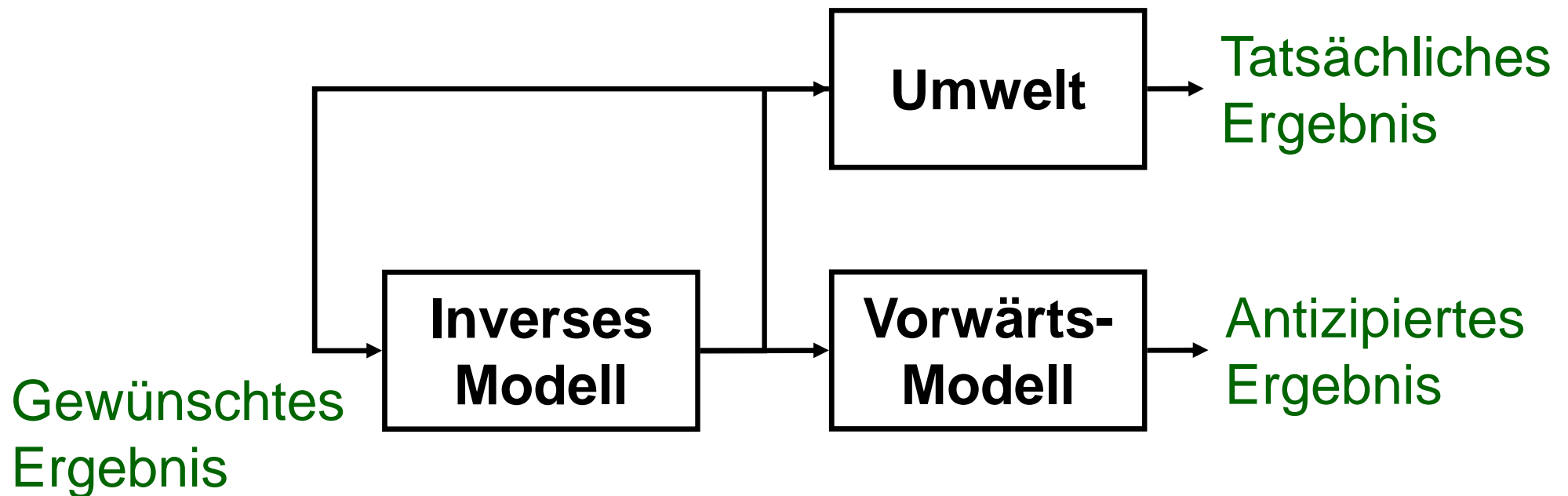
5.5.3 Interne Modelle – alter Wein in neuen Schläuchen?



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Kernfrage: Was muss mindestens repräsentiert werden?

(Antwort: Hossner & Künzell, 2003)



5.6 Modularitätshypothese (1)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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

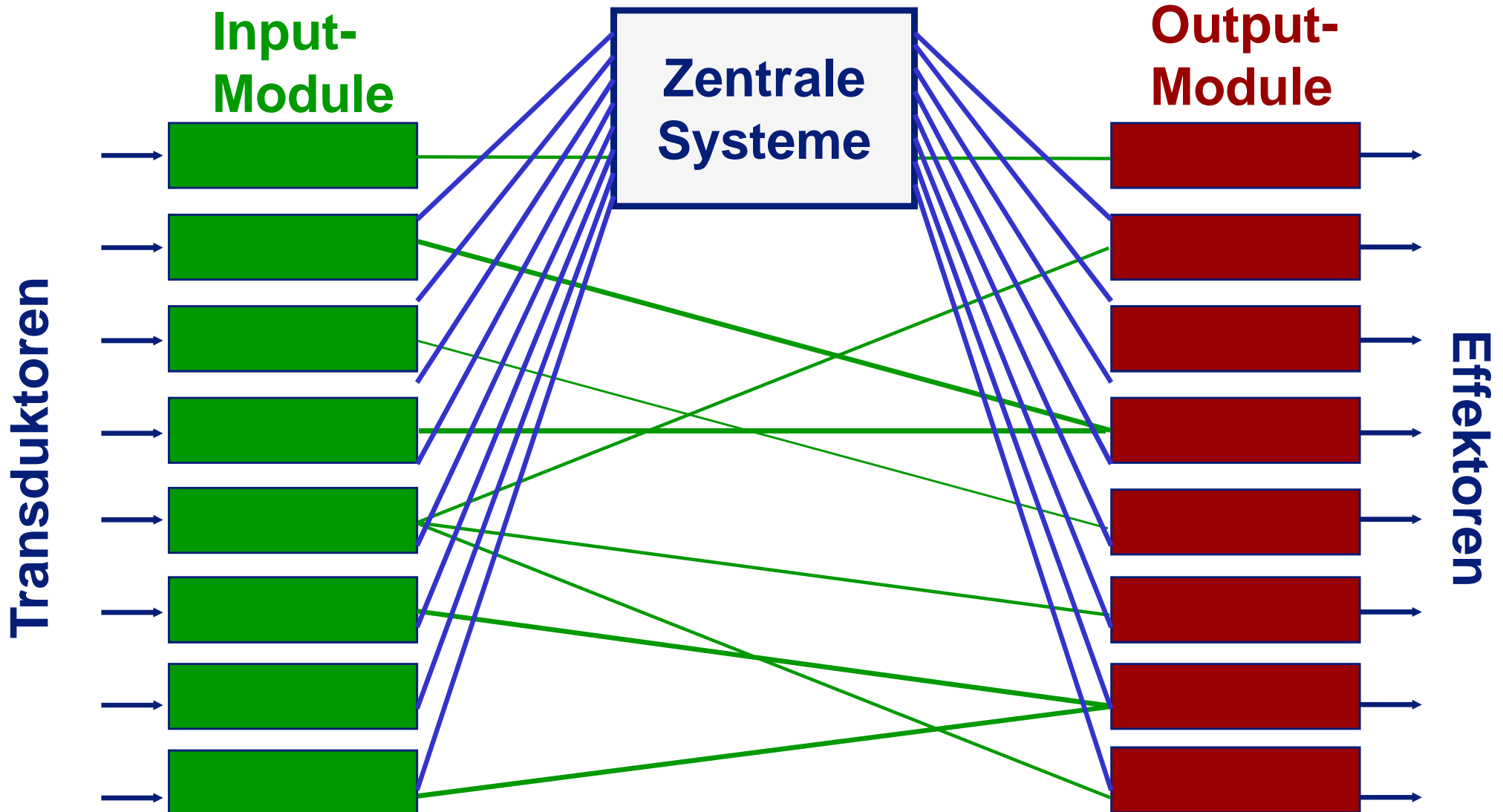
Frage: Wie könnten Module und zentrale Systeme zusammenarbeiten?

5.6 Modularitätshypothese nach Fodor (1985)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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



5.6 Modularitätshypothese (3)

(nach Hossner, 1995, S.119)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Forschungsthema: Sensomotorik

Forschungsthema: Motorische Kontrolle / Motorisches Lernen

Forschungsthema: Module der Motorik

unverändertes
Praxisproblem



verändertes
Praxisproblem

③ Würfe, Schläge,
Schüsse zielgenau
realisieren!



① Bewegungszeiten
prozentual
einstellen!

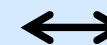


④ Bewegungen
in der Zeit
strukturieren!



② Fortbewegungs-
geschwindigkeit
regulieren!

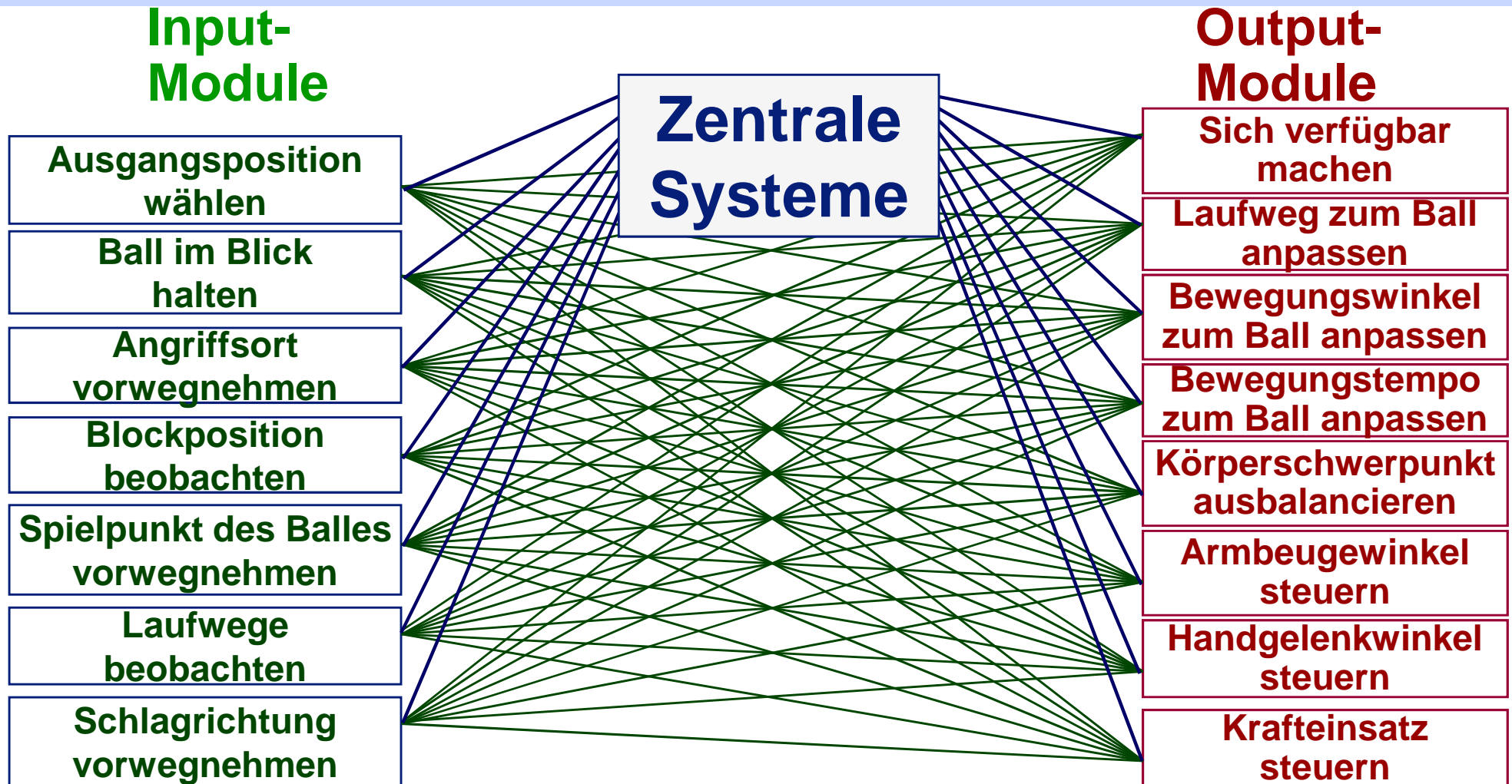
Labor



Feld

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]*



Merke!



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Diese Modelle bieten erste Ansätze, wie Bewegungskontrolle und Bewegungslernen funktionieren könnten.

Sie folgen dem Informationsverarbeitungsansatz und gehen von einer Analogie des Gehirns zum Computer aus.

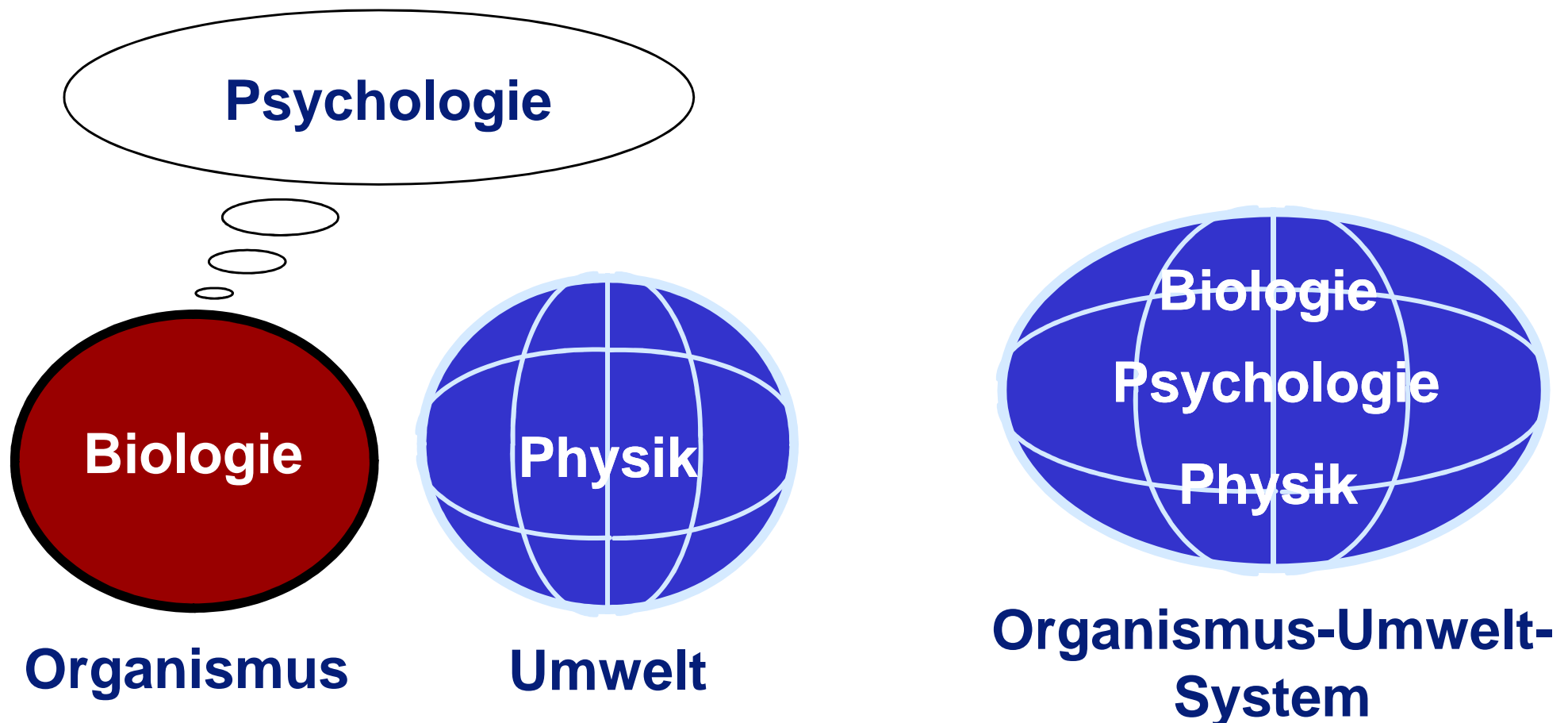
Einige Fragen bleiben dabei jedoch noch offen.

5.7 Ökologischer Realismus – systemdynamische Ansätze



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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)

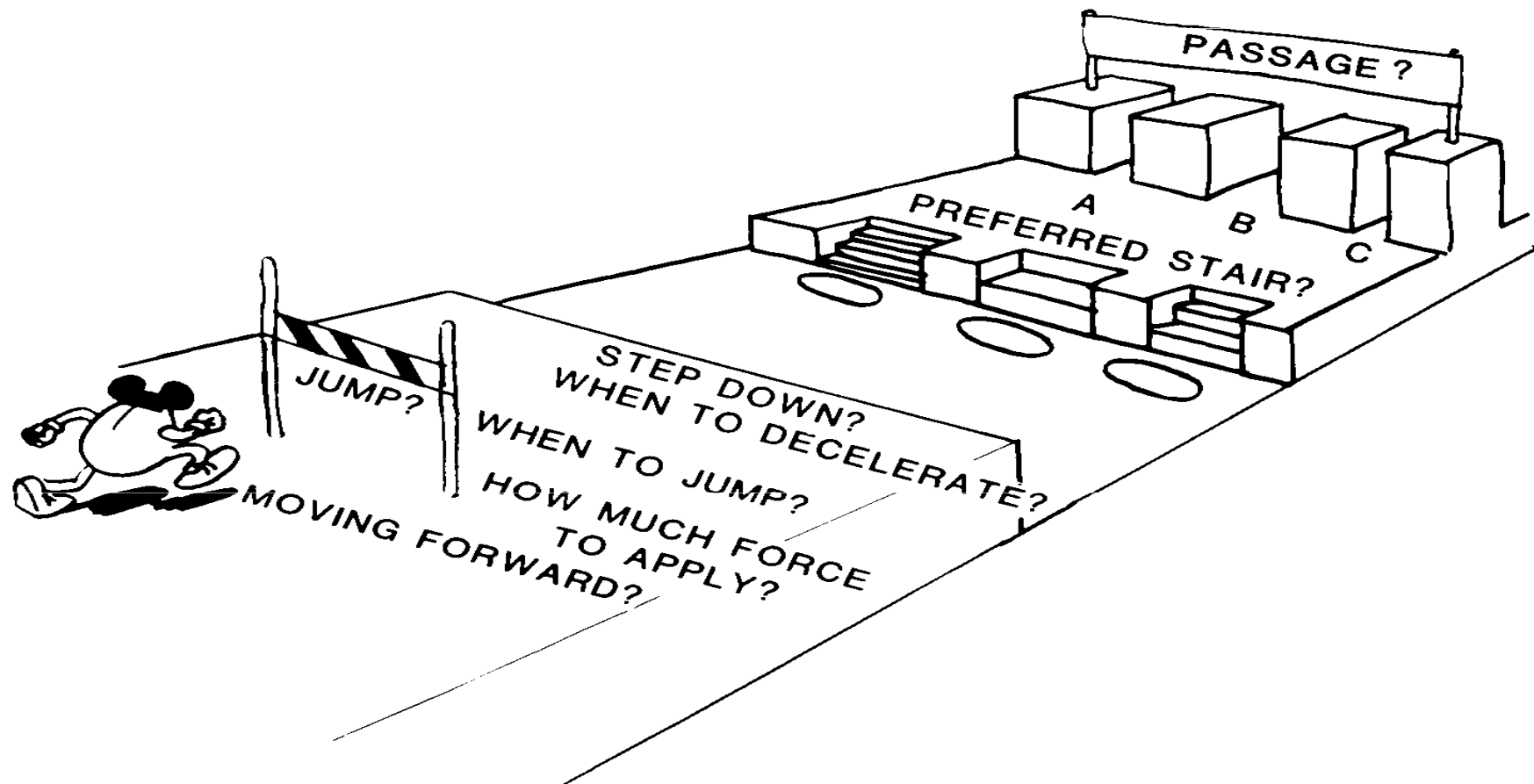


5.7.1 Grundposition des ökologischen Ansatzes (1)



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?

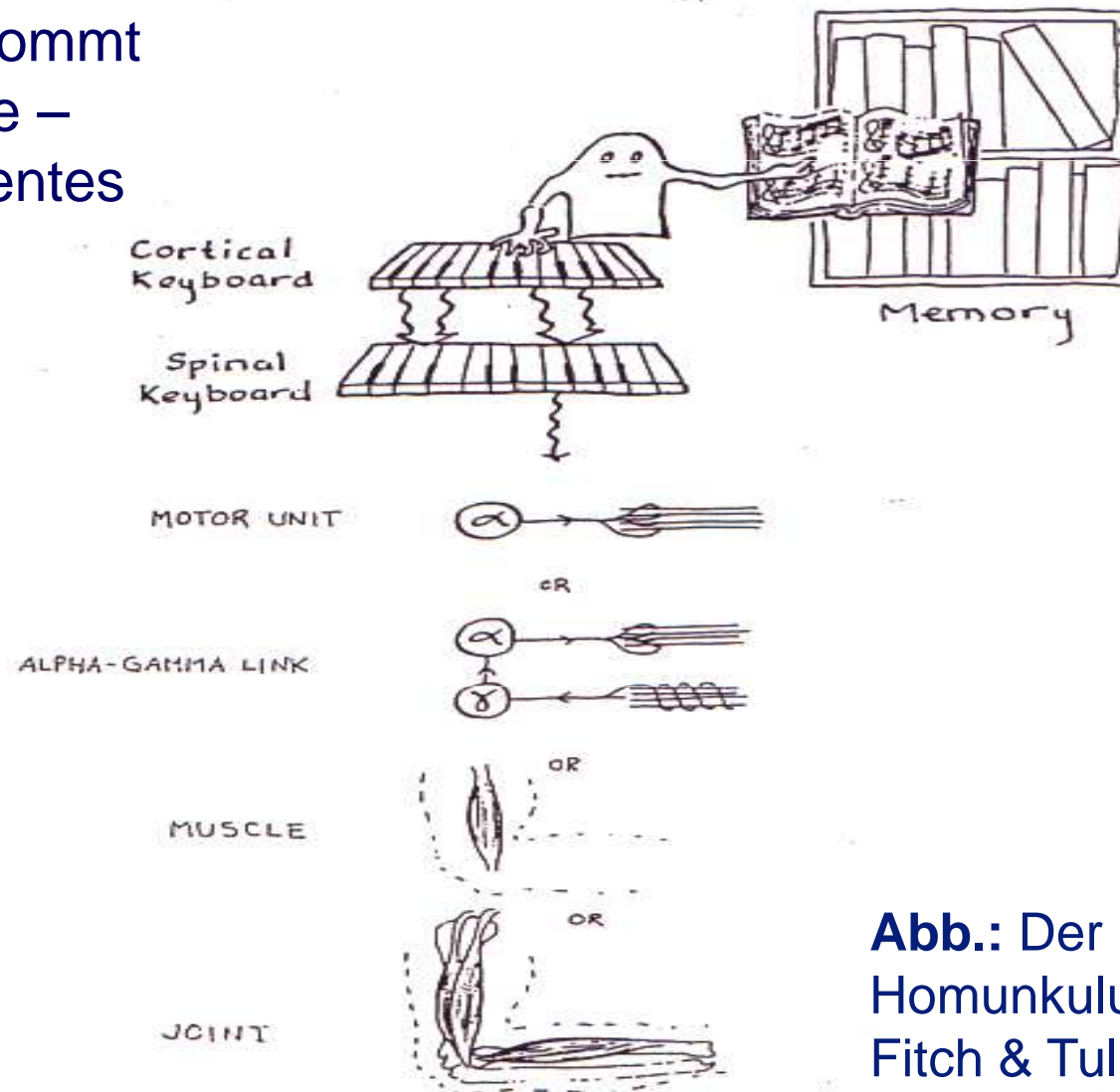


Abb.: Der motorische
Homunkulus (aus Turvey,
Fitch & Tuller, 1982)

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)

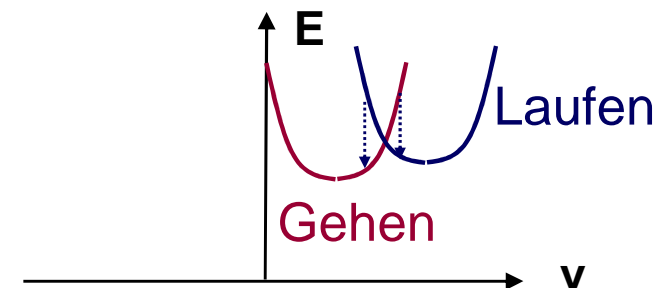
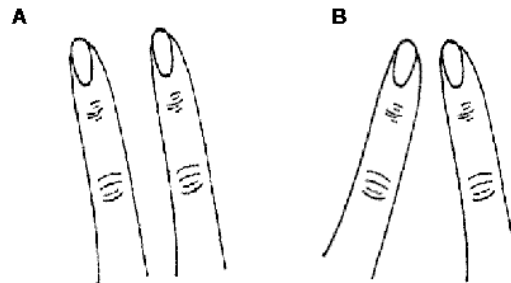
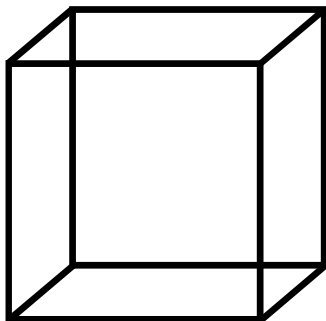
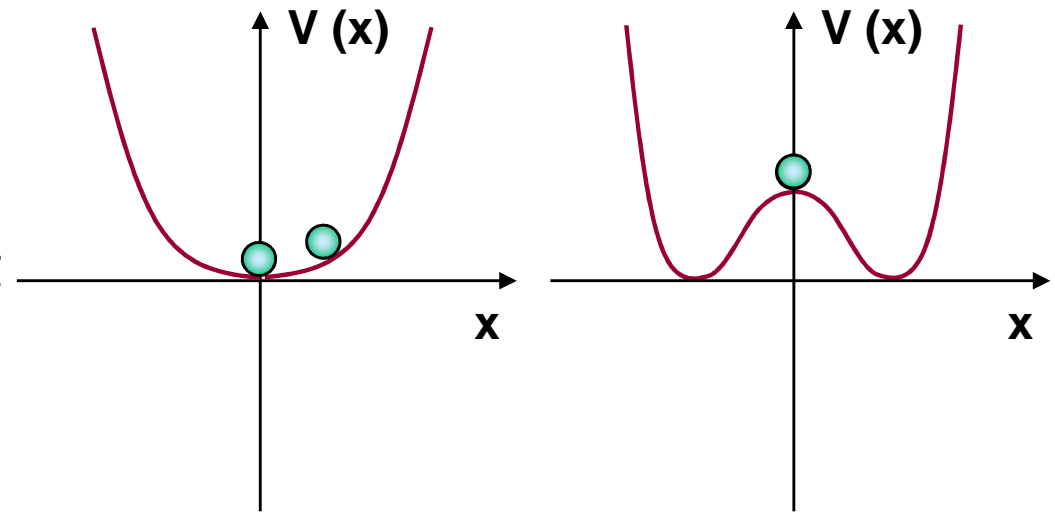
5.7.1 Grundposition des ökologischen Ansatzes (4)



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

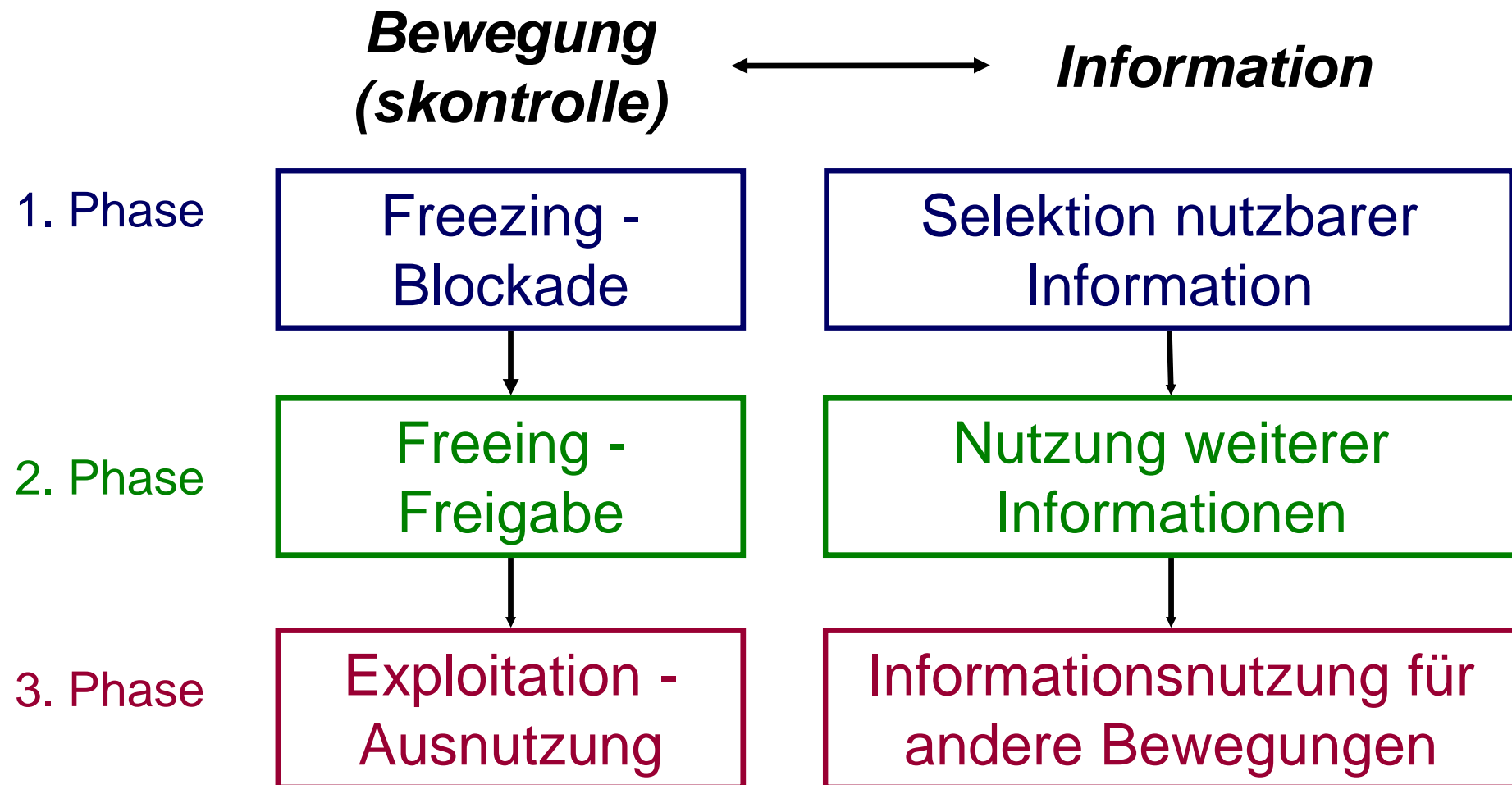


5.7.2 Lernen im ökologischen Ansatz



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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

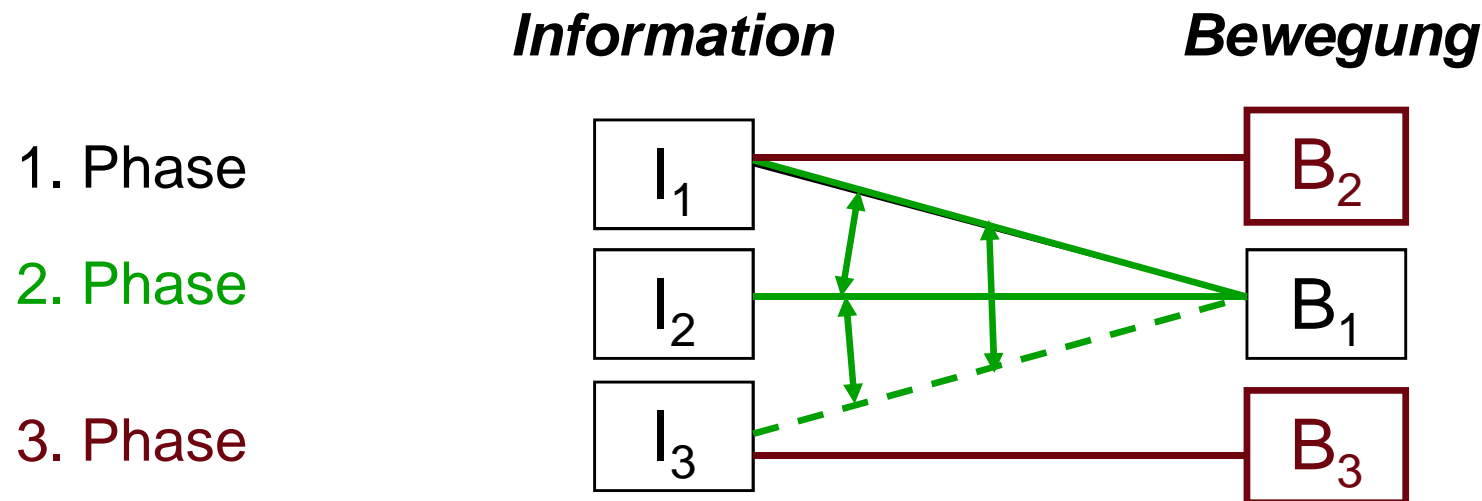


5.7.2 Lernen im ökologischen Ansatz

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)

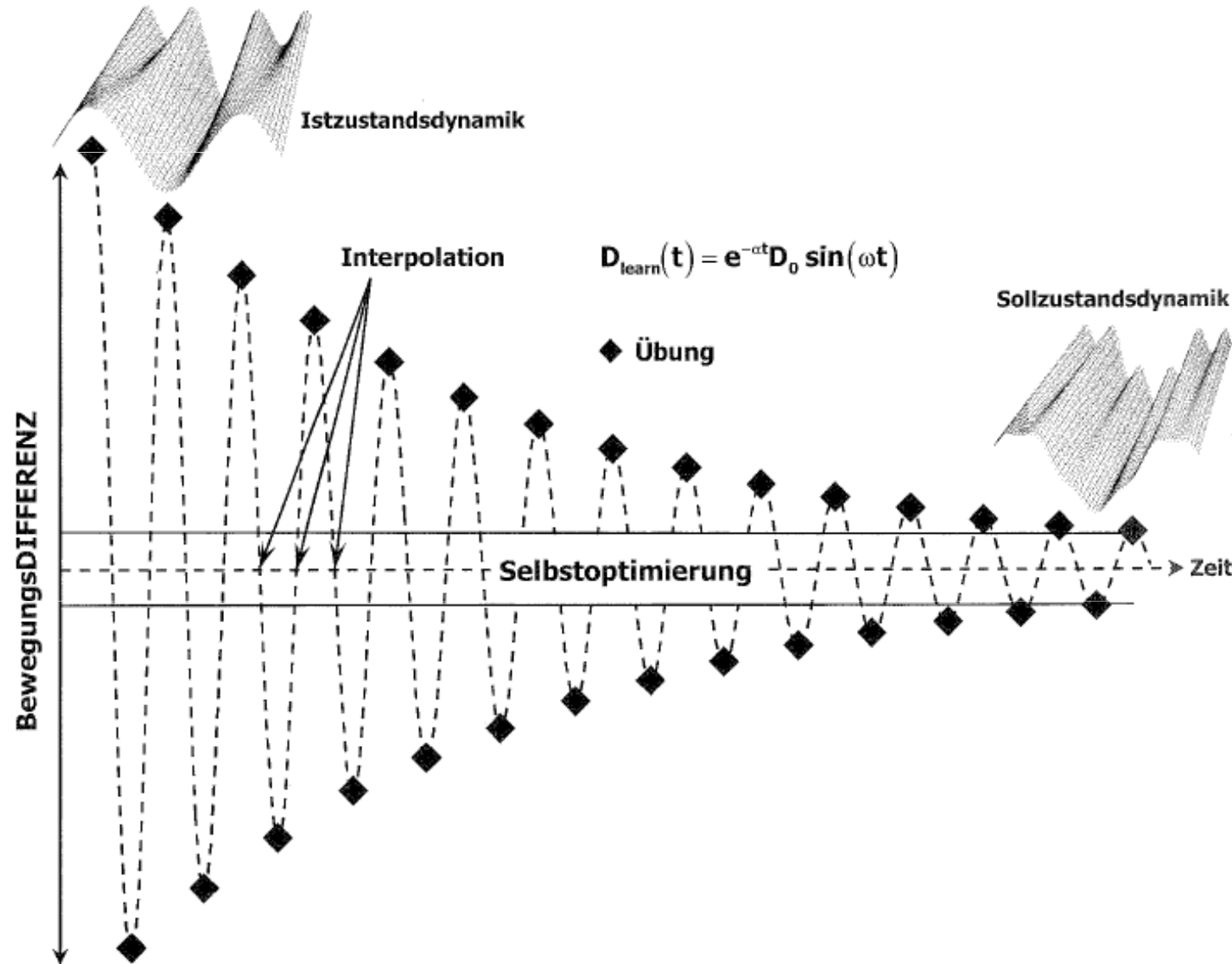
- *Lernen **aus** Differenzen („Lernen von und mit Fehlern“ – zur Effektivität von „error management training“ vgl. auch Keith & Frese, 2007):*
Konfrontation mit ständig veränderten Bewegungsausführungen bzw. Ausführungsbedingungen – Lernen von Anpassungen an Veränderungen bzw. „Rauschen“ durch „Abtasten“ 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

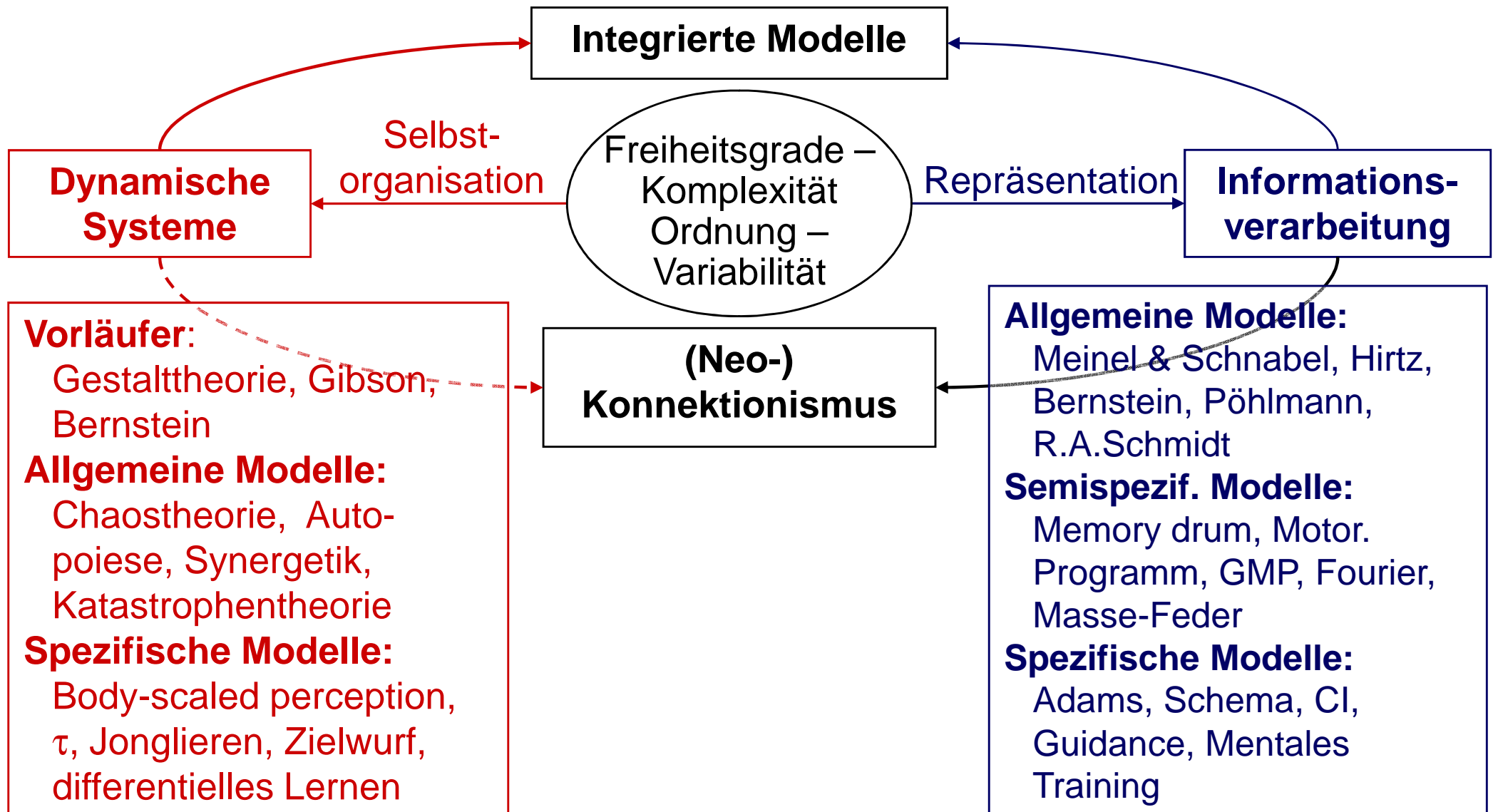
Modellierung der Differenzstruktur von Birklbauer (2006)



Legende:

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

5.8 Vergleich: motor vs. action approach - Überblick





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 vs. action approach - Tabelle (1)

| 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 Phasen- übergänge |

5.8 Vergleich: motor vs. action approach - Tabelle (2)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

| Kriterium | Motor Approach | Action Approach |
|---------------------------|---|---|
| Wahrnehmung - Bewegung | Trennung (Unabhängige Prozesse) | Unauflösliche Kopplung |
| Individuum - Umwelt | Trennung Vermittelte Wahrnehmung (Repräsentation) Mathemat. Informationsbegriff | Kopplung Individuum-Umwelt-Verschränkung Relationaler Informationsbegriff |
| Lernen | Aufbau/ Stabilisierung interner Repräsentationen | Such-/ Entdeckungsprozess 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 vs. action approach – Tabelle (3)



| Kriterium | Motor Approach | Action Approach |
|---------------------------------|--|---|
| Forschungs- probleme | Informationelle/ organi- satorische Bedingungen des Bewegungslernens: •Instruktion, Feedback •Übungsreihenfolge •Übungsverteilung •Mentales Üben | Suche nach einfachen Gesetzen der Person- Umwelt-Kopplung: •Körperbezogene Wahr- nehmung •Ordnung bei zyklischen Bewegungen |
| Forschungs- methoden | Typisches Experiment: •Aneignung •Frühes/spätes Behalten •Früher/ später Transfer Vorgehen: •Modell/Hypothese •Experiment | Vielfältige Methoden Vorgehen (Beispiel): •Biomechan. Aufgaben- analyse (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) |

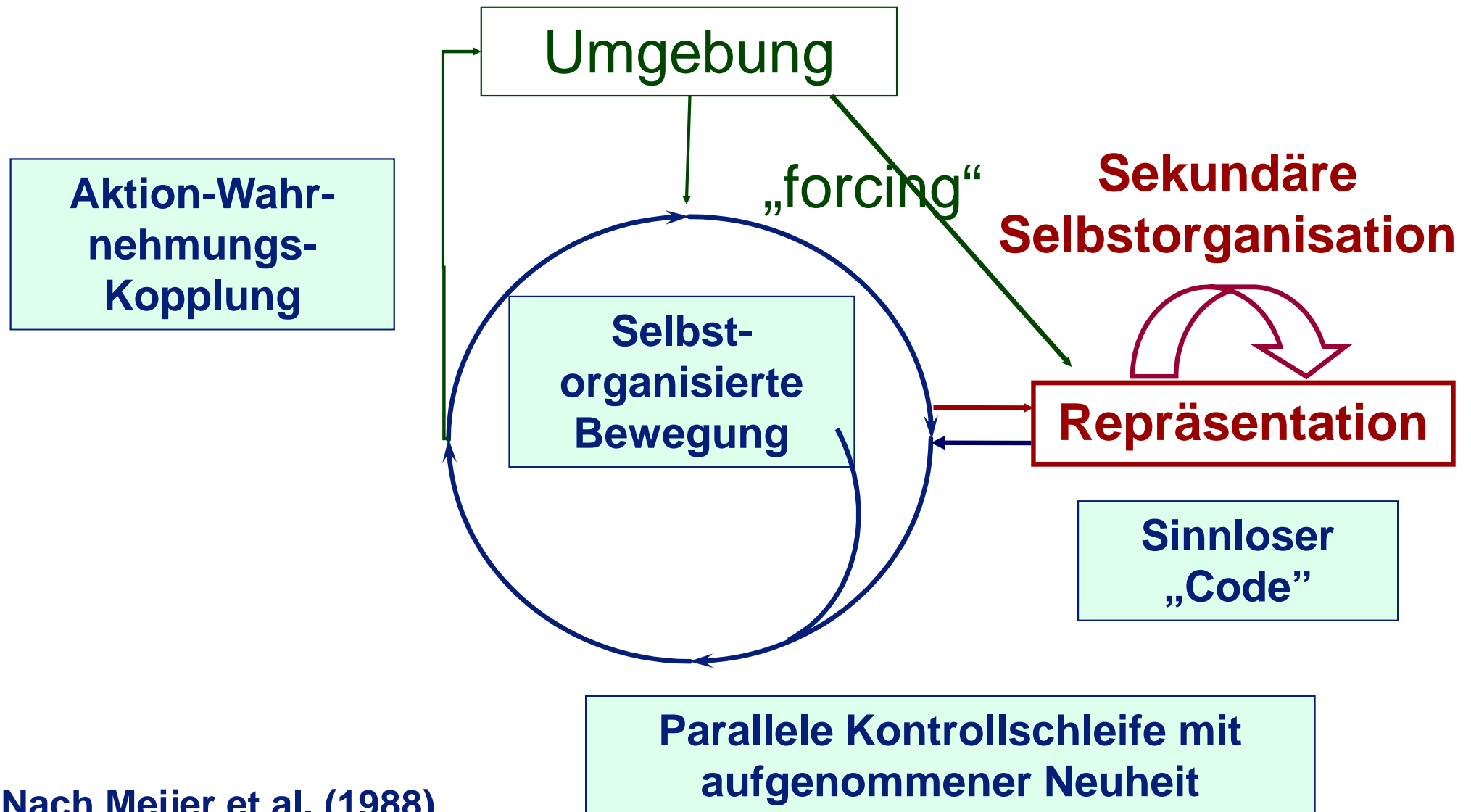
5.8 Vergleich: motor vs. action approach - Tabelle (4)

| 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</p> <p>etc.</p> | <p>Inhalt: Randbedingungen („constraints“): Aufgabe, Person, Umwelt</p> |
| Bewegungskorrektur | <p>Reduzierte Häufigkeit</p> <p>Toleranzbereiche</p> <p>Präskriptives Feedback</p> <p>etc.</p> | - |

5.8 Potentielle Synthese zwischen Repräsentation und Selbstorganisation



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



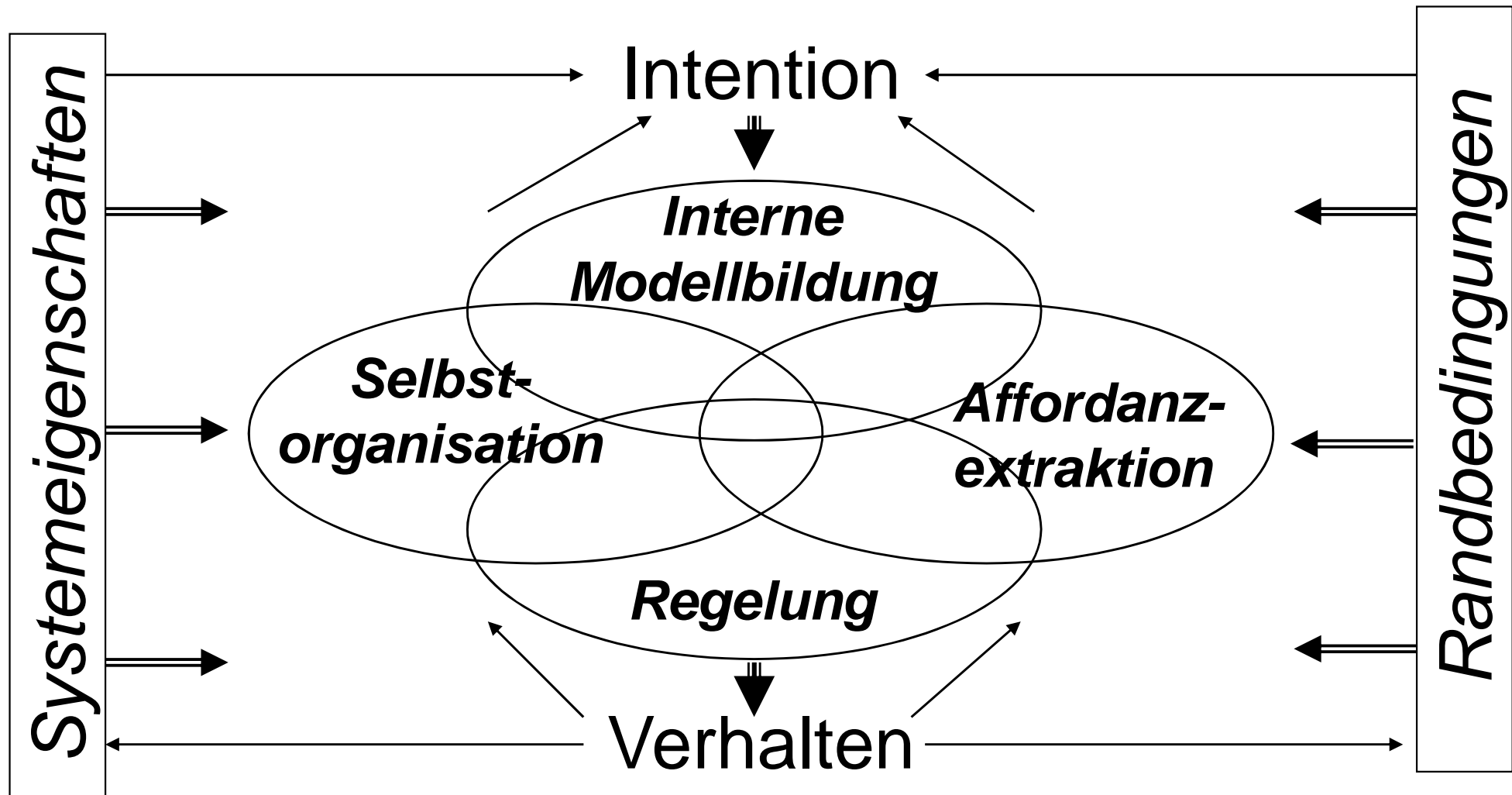
Nach Meijer et al. (1988)

5.8 Potentielle Synthese zwischen Repräsentation und Selbstorganisation



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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

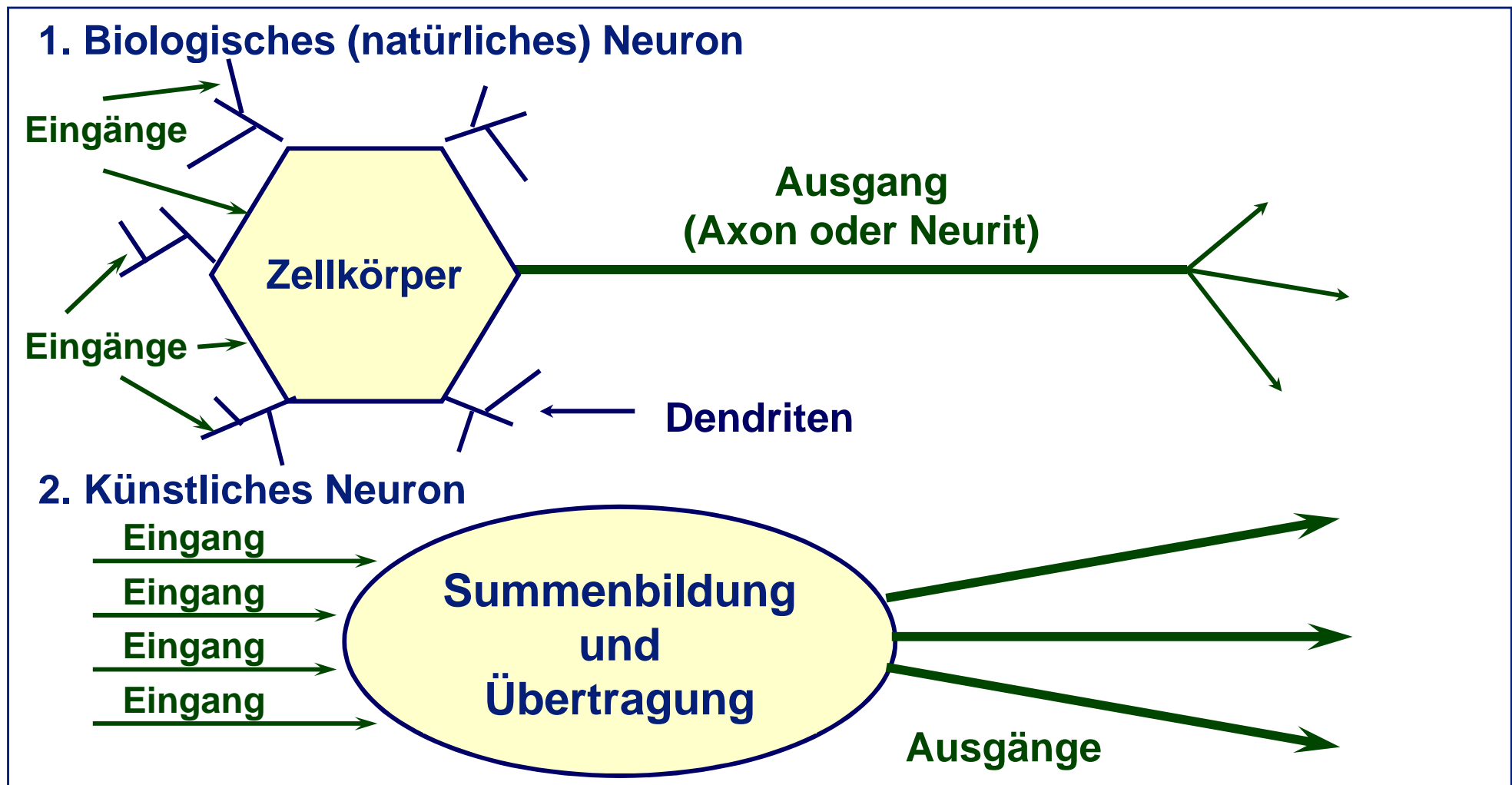


5.9 Modelle des Neokonnektionismus (1)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

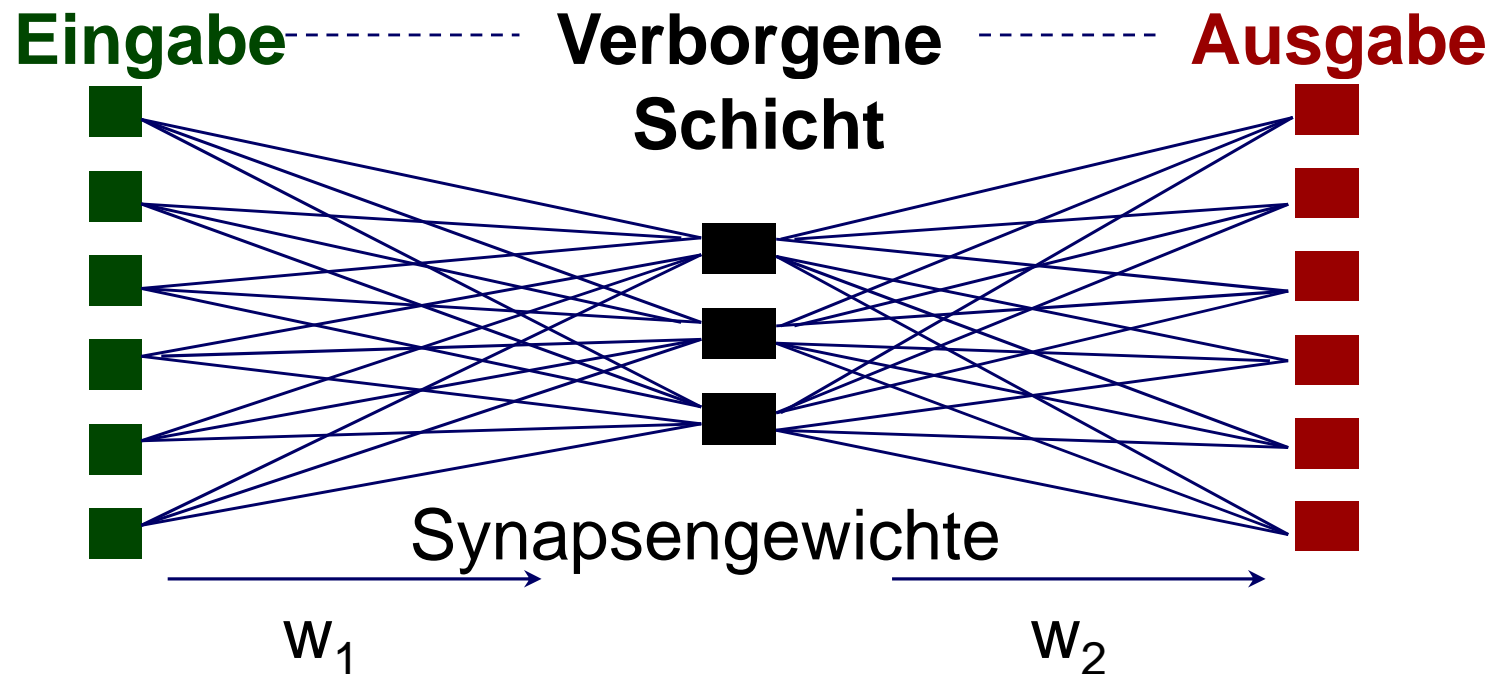
Vergleich: Biologisches Neuron und konnektionistisches Modell-Neuron (nach Lawrence, 1992, S.19)



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?

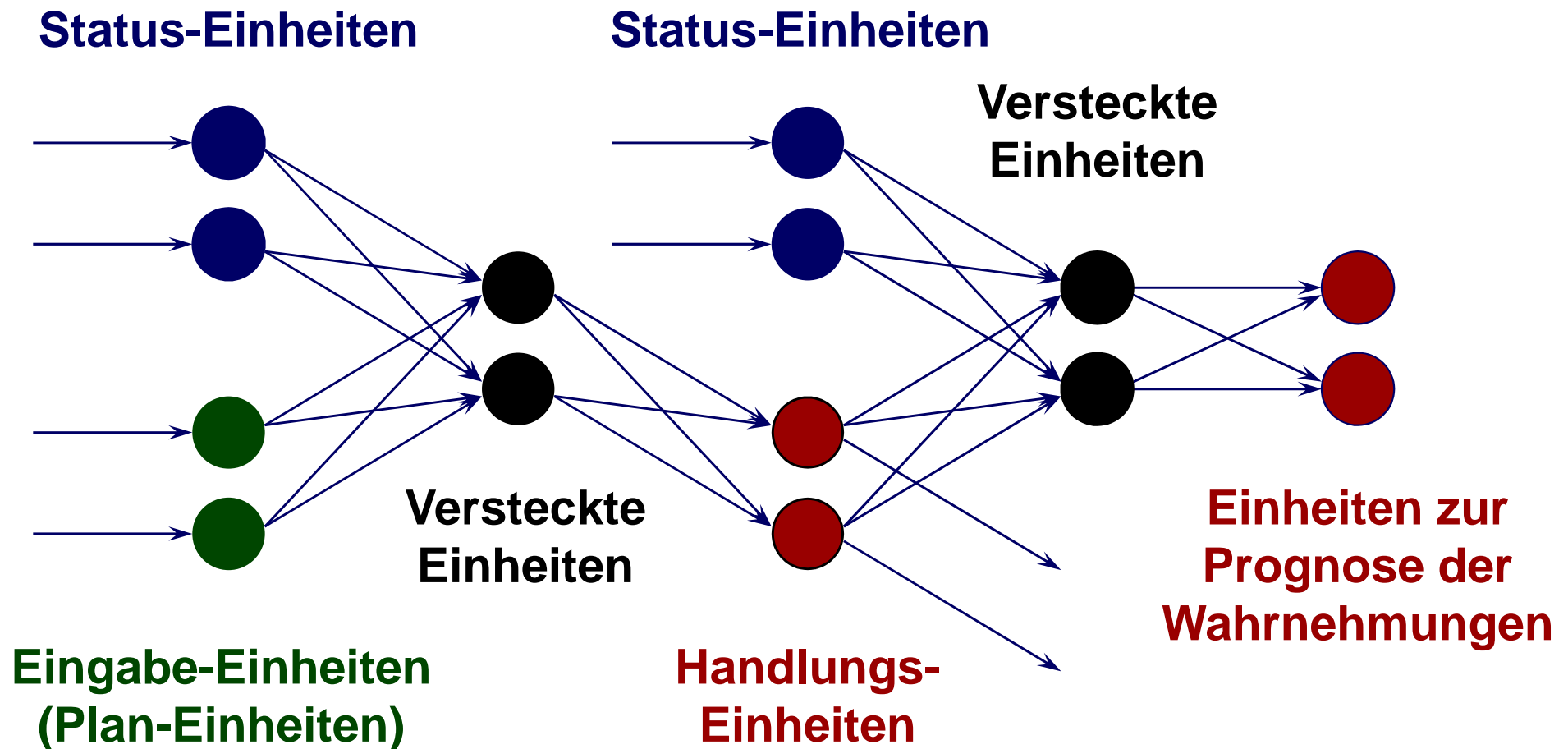
- Lernalgorithmen zur Veränderung synaptischer Gewichte (z.B. HEBBsche Lernregel)
- Trainings- und Anwendungsphase

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (3)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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

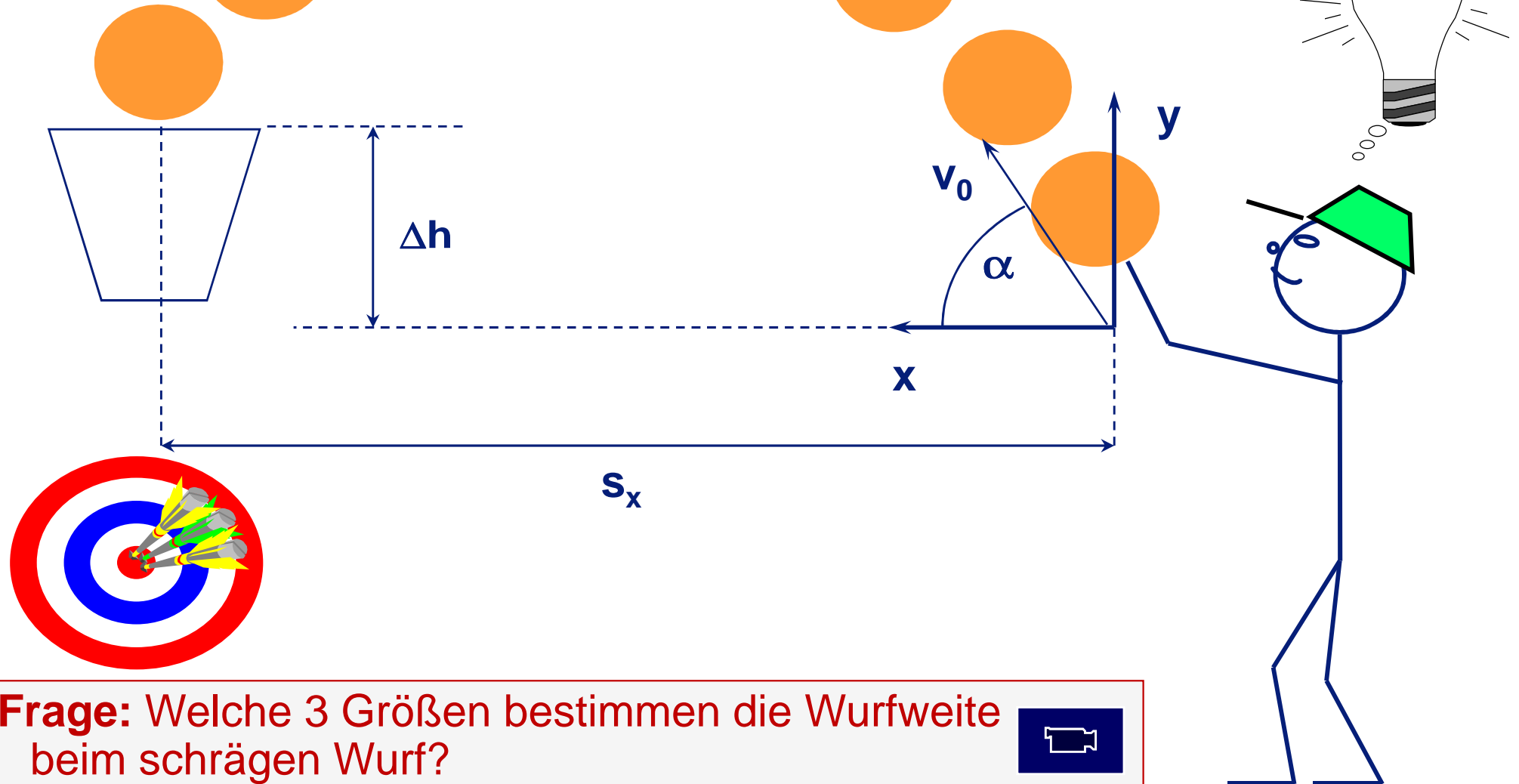


5.9 Modelle des Neokonnexionismus (4)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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



Frage: Welche 3 Größen bestimmen die Wurfweite beim schrägen Wurf?

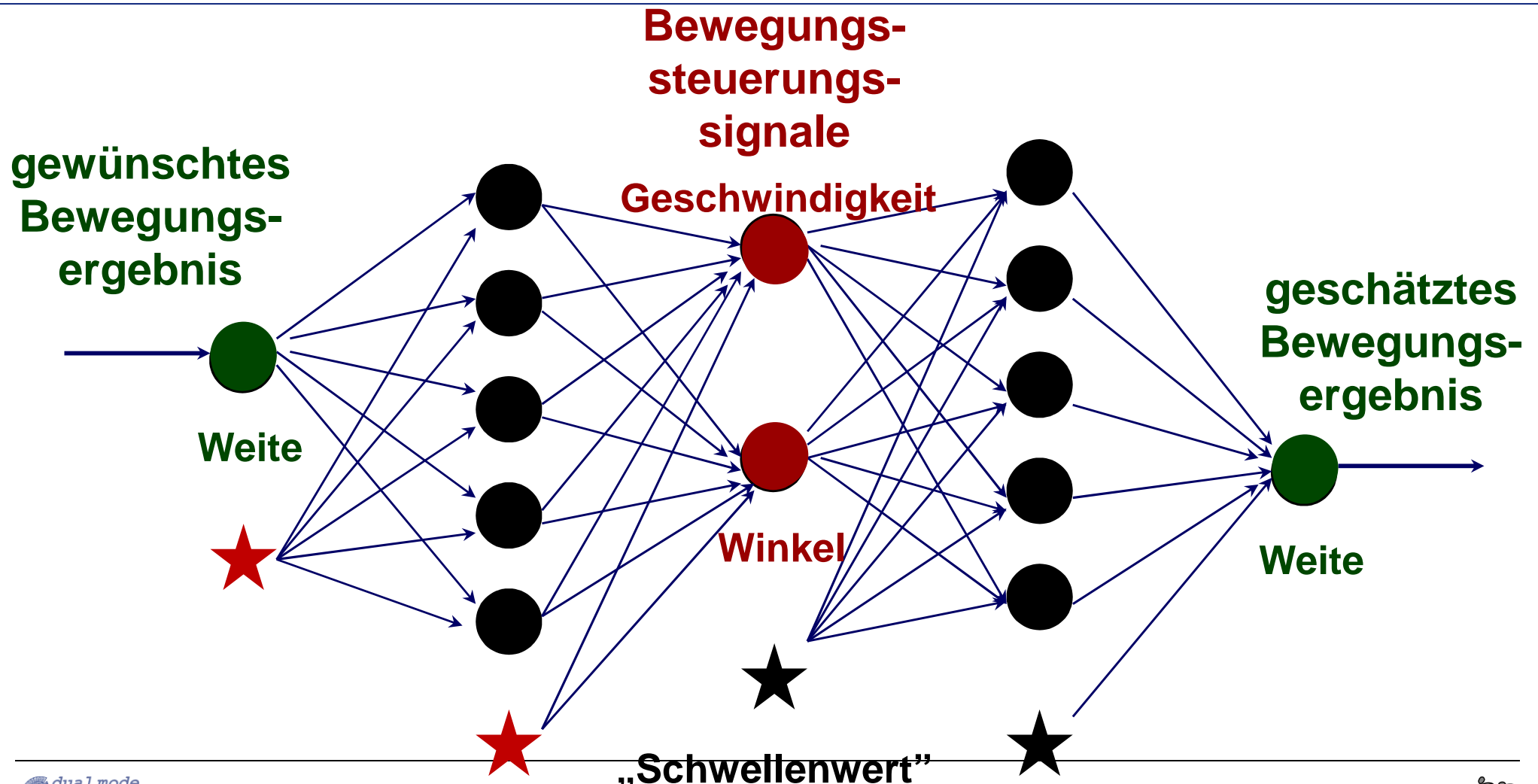


5.9 Modelle des Neokonnektionismus (5)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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)

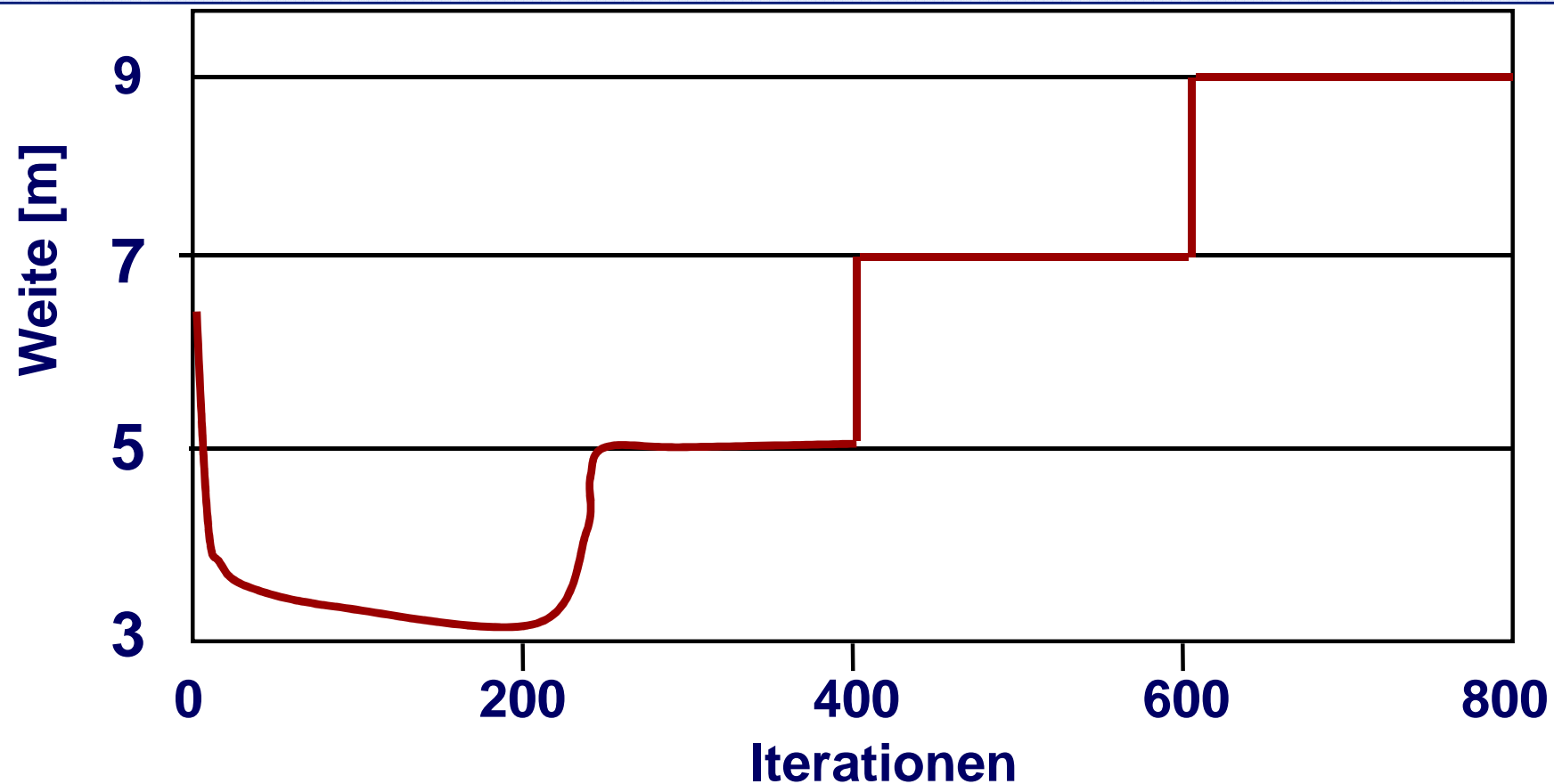
| Gruppe | Random | B 1 | B 2 | B 5 | B 10 | B 200 |
|----------------------------|---------------|------------|------------|------------|-------------|--------------|
| Anzahl der Blöcke | - | 800 | 400 | 160 | 80 | 4 |
| Wiederholungen pro Block | - | 1 | 2 | 5 | 10 | 200 |
| Reihenfolge | zufällig | 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)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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



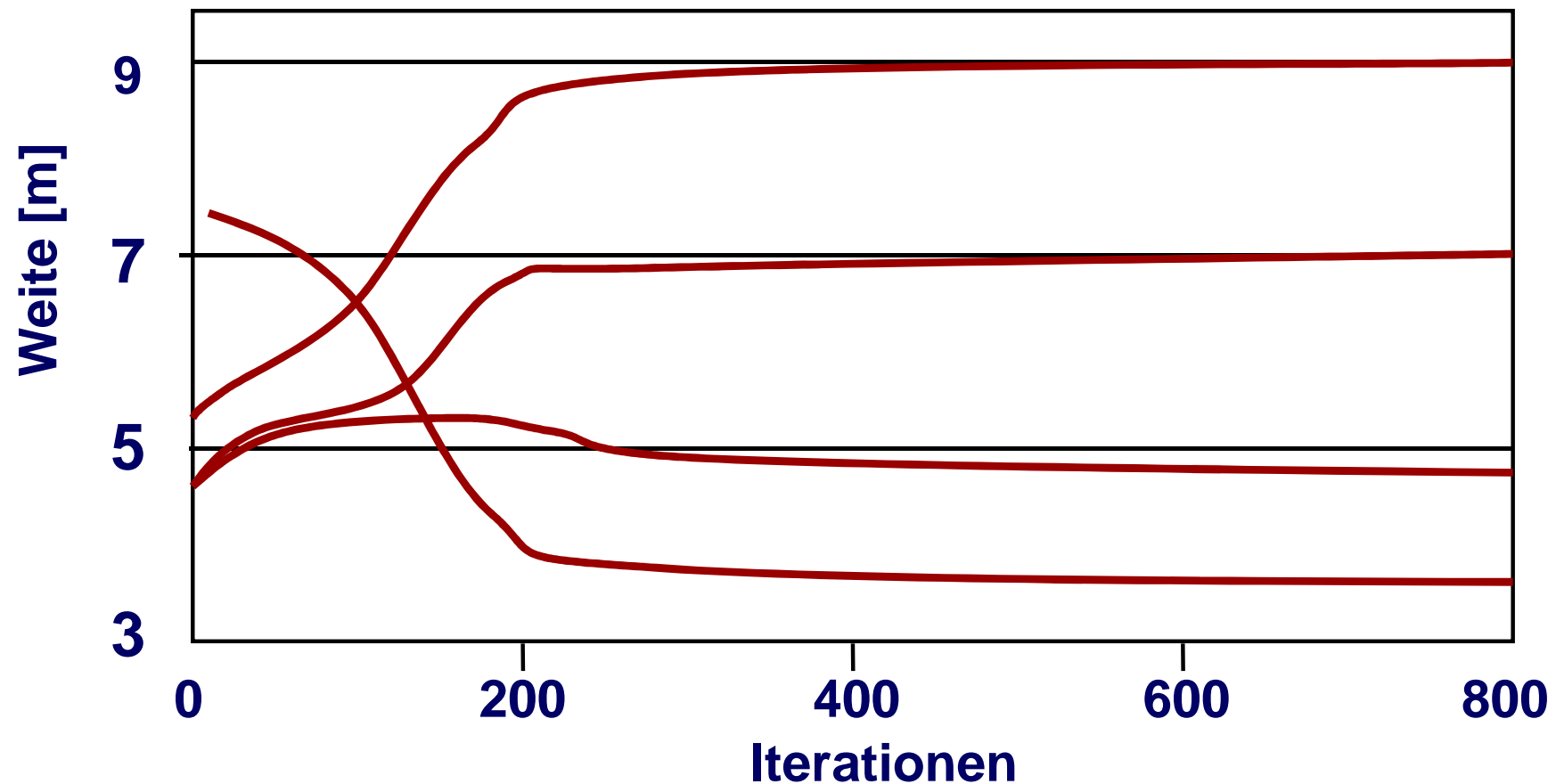
Aufgabe: Analysieren Sie die Abbildung!

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (8)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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



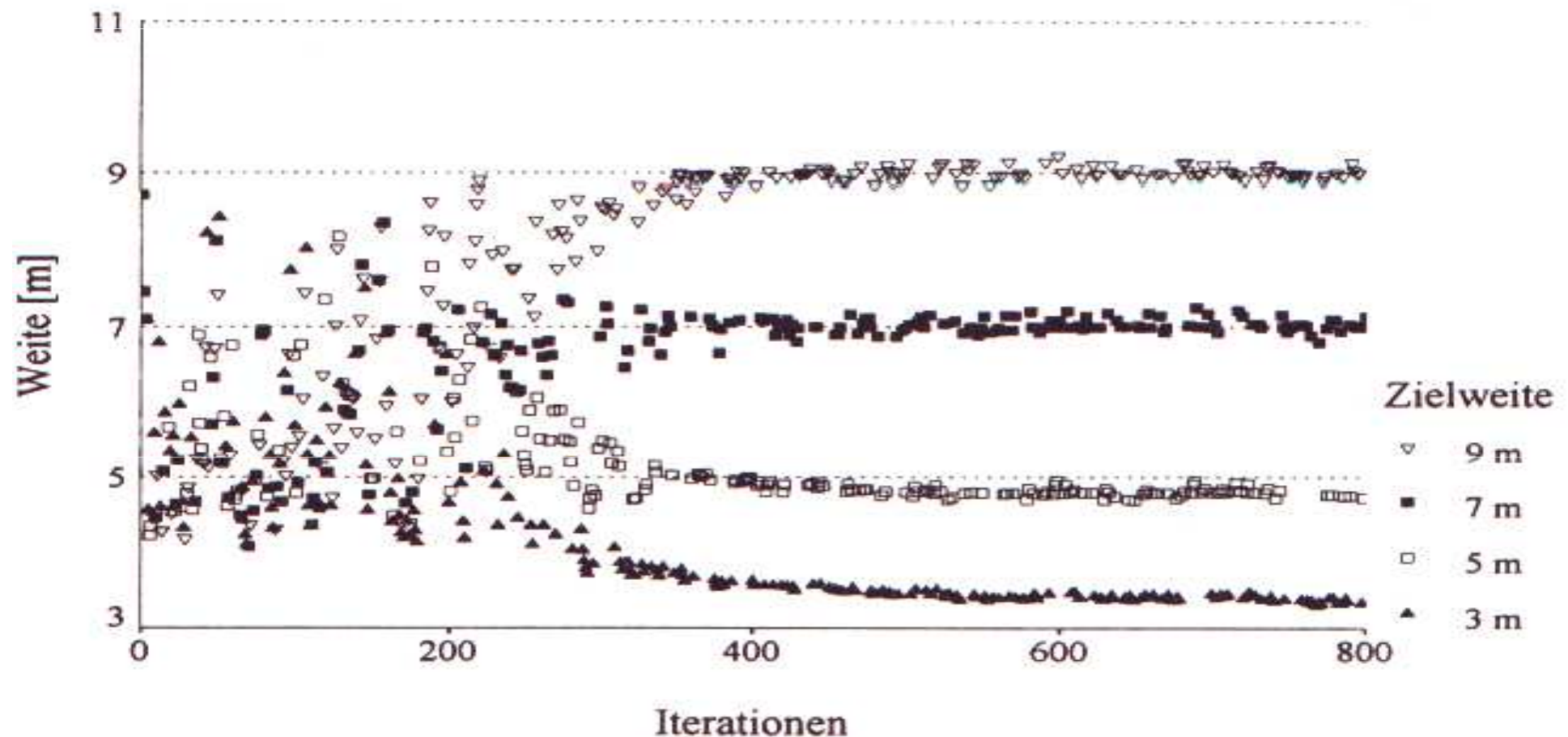
Aufgabe: Analysieren Sie die Abbildung!

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (9)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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



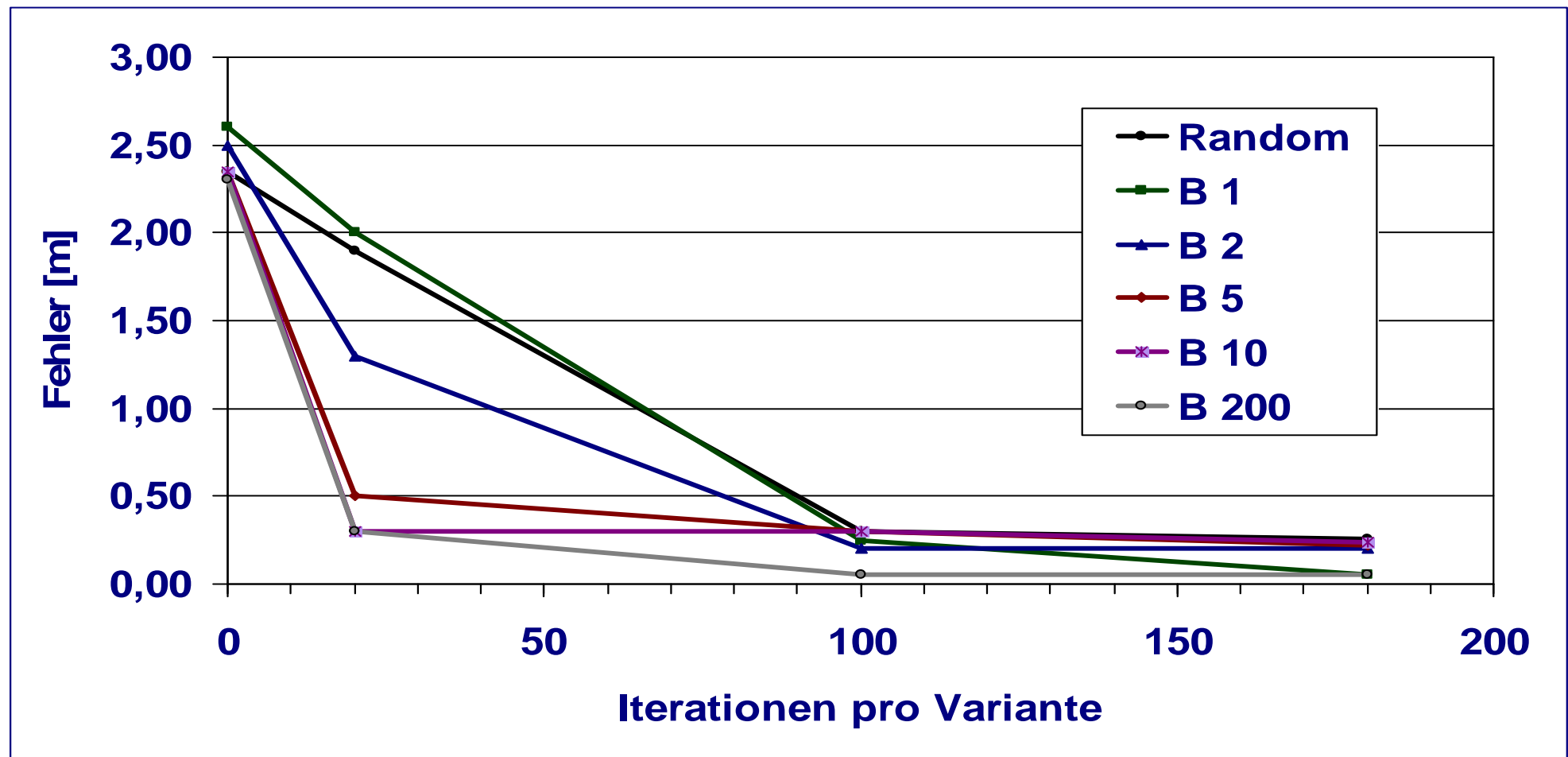
Aufgabe: Analysieren Sie die Abbildung!

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (10)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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



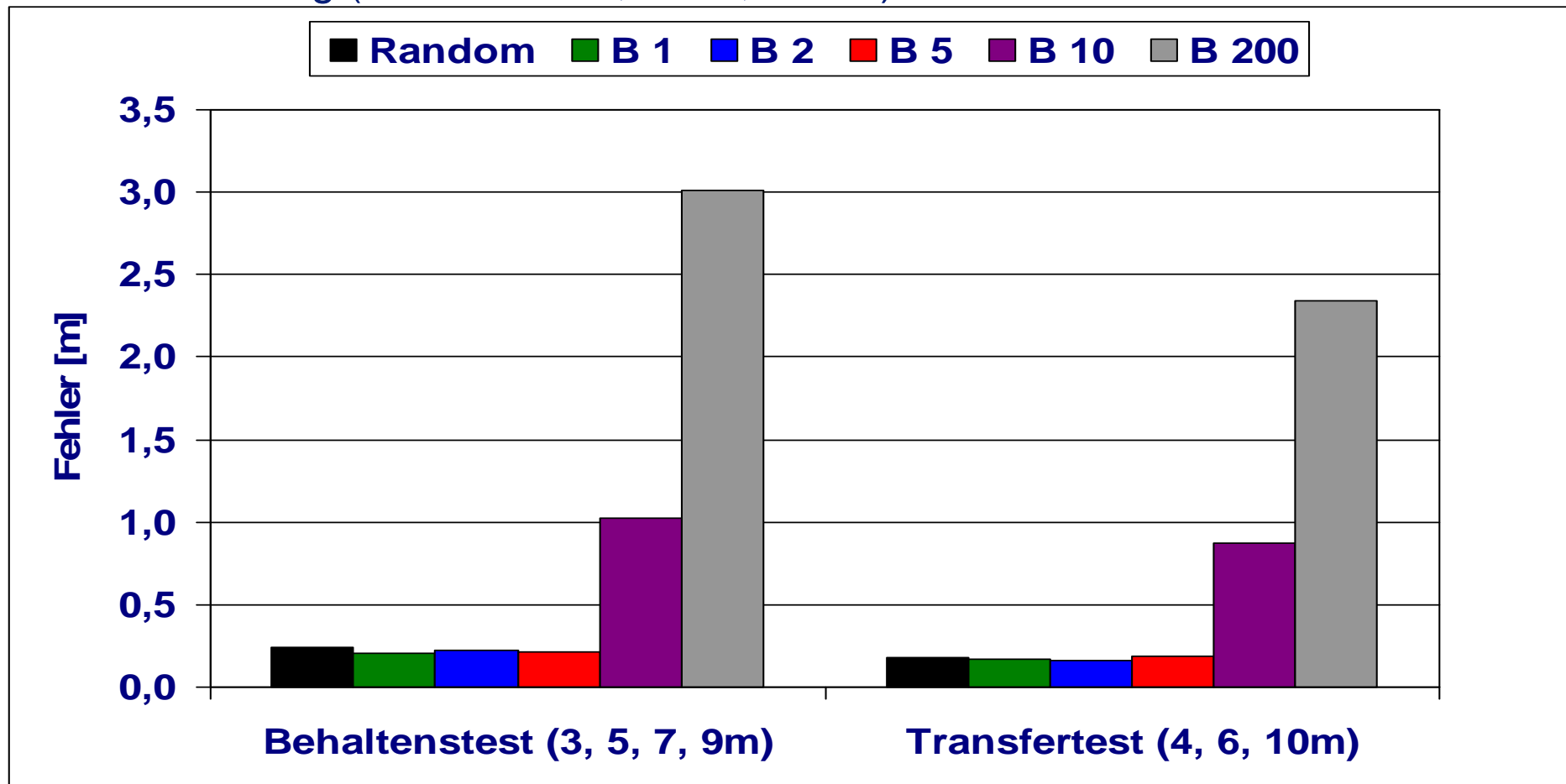
Aufgabe: Analysieren Sie die Abbildung!

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)



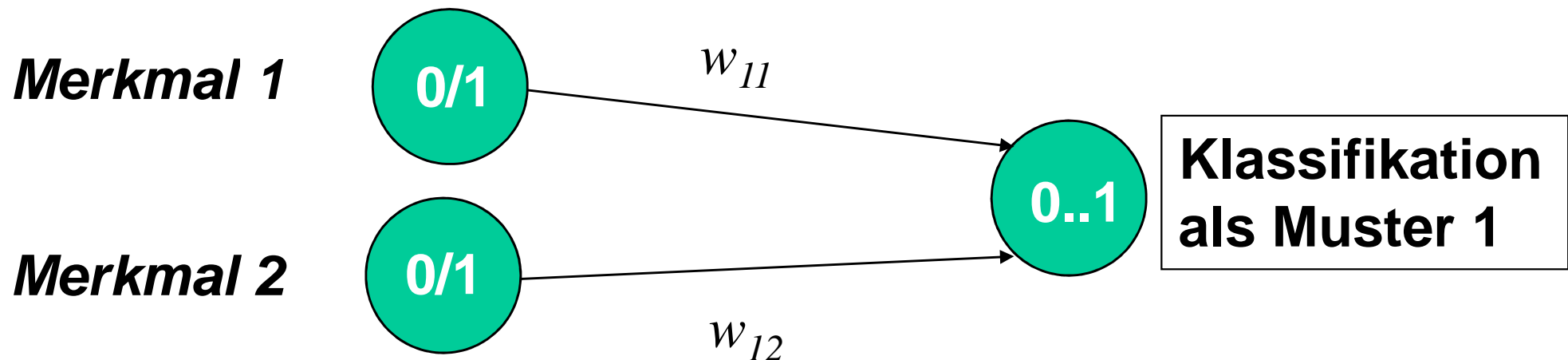
Aufgabe: Analysieren Sie die Abbildung!

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

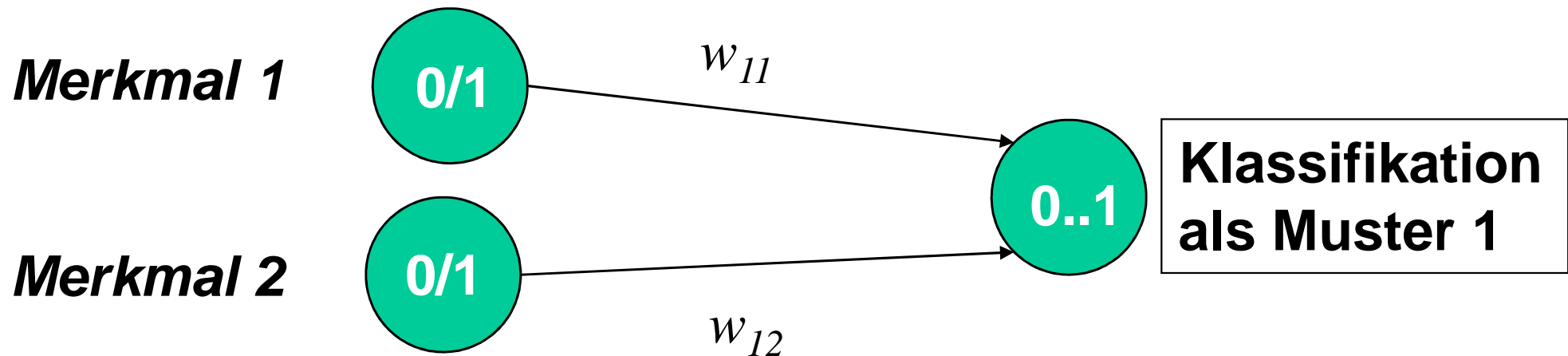
$$\sigma(\text{Netinp}) = \frac{1}{1 + e^{-a \cdot \text{Netinp}}};$$
$$\text{Netinp} = x \cdot w_{11} + y \cdot w_{12}$$

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

5.9 Modelle des Neokonnektionismus (13)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



- **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)

5.10 Fragen/ Aufgaben zu Kapitel 5 (1)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- **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)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- ***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 zu Kapitel 5



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

S. Word-Datei