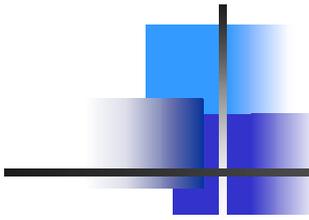


# Motorisches Lernen

---

## Definition:

Relativ überdauernde Veränderungen internaler Bewegungskontrollstrukturen in Folge motorischer Übungsprozesse, die sich in relativ überdauernden Verhaltensänderungen niederschlagen.



# Motorisches Lernen

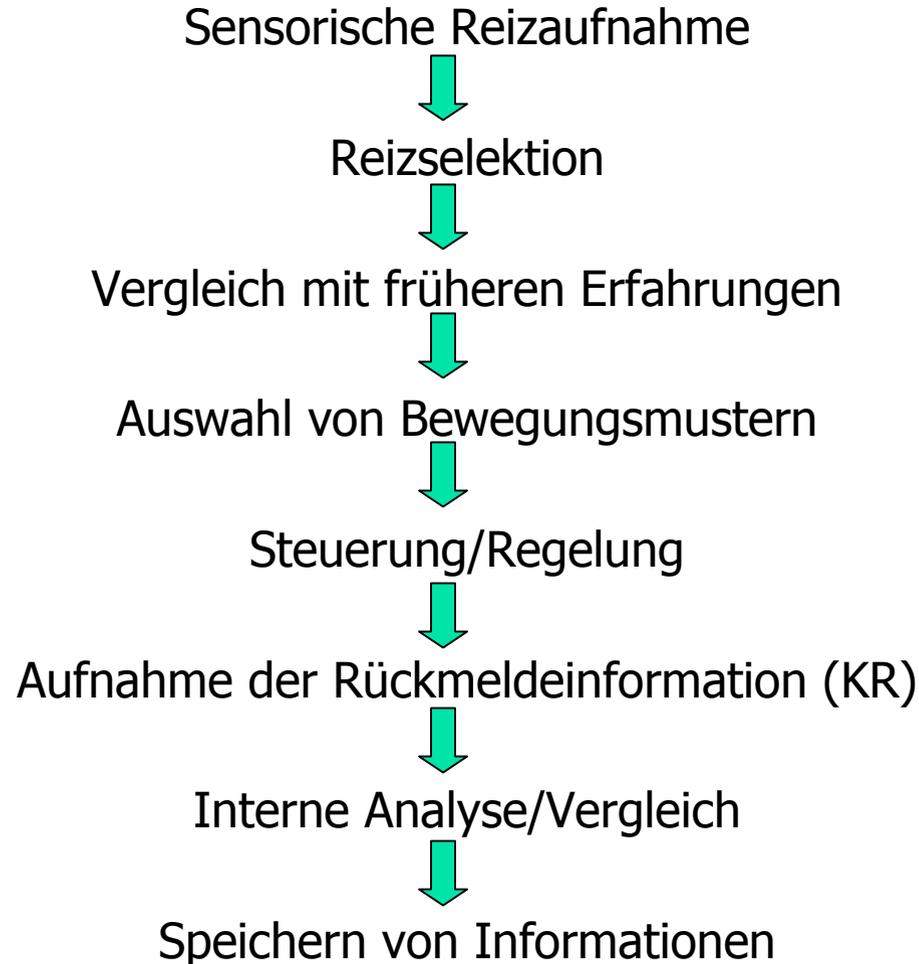
---

## Einleitung

- ... ist der *Prozess* zur Erlangung und Befähigung geschickte Handlungen auszuführen
- ... ist das direkte Ergebnis von *Übung* und *Erfahrung*
- ... ist nicht beobachtbar; es ist ein *hypothetisches Konstrukt*
- ... hat eine (relativ) *dauerhafte Veränderung* des motorischen Verhaltens zur Folge

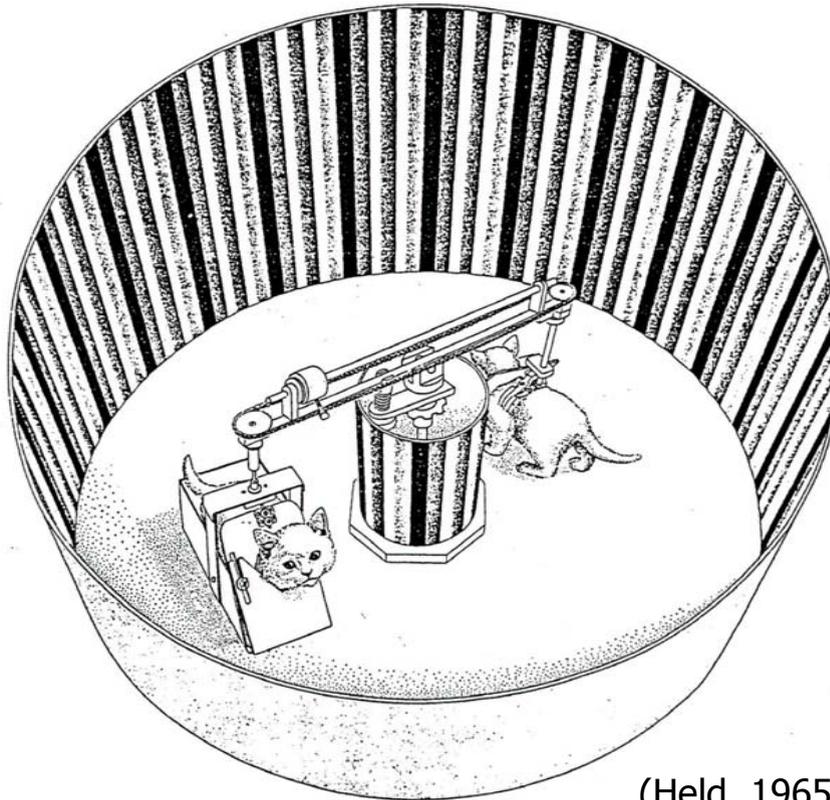
# Motorisches Lernen: ein komplexes Geschehen

Einleitung



# Motorisches Lernen

## Einleitung



(Held, 1965)

- Beide Kätzchen erhalten gleiche visuelle Information
  - Nur die aktive Katze entwickelt normales sensomotorisches Verhalten
- ➔ Motorisches Lernen setzt (auf visueller Information basierende) Korrelation selbst generierter motorischer Aktivität mit ihren Effekten voraus

## Theorien

- Fitts' Stage Theorie (1964)
- Adams' Closed-loop Theorie (1971)
- Schmidts Schema Theorie (1975)
- Hierarchisches Lernen

## Leistungskurven und Übung

# Fitts Stage Theorie des Lernens

Einleitung  
Fitts

- **Kognitive Phase:**  
elementare Handlungsvorgänge werden bewusst gelernt; Aufmerksamkeit wird benötigt; oft verbal unterstützt
- **Assoziative Phase:**  
wiederholen und ausprobieren; erfolgreiche Komponenten werden weiterverfolgt; Fehler nehmen ab; Feedback ist sehr wichtig
- **Autonome Phase:**  
Bewegungen können schnell und ohne große Aufmerksamkeitszuwendung ausgeführt werden



# Closed-Loop Theorie von Adams

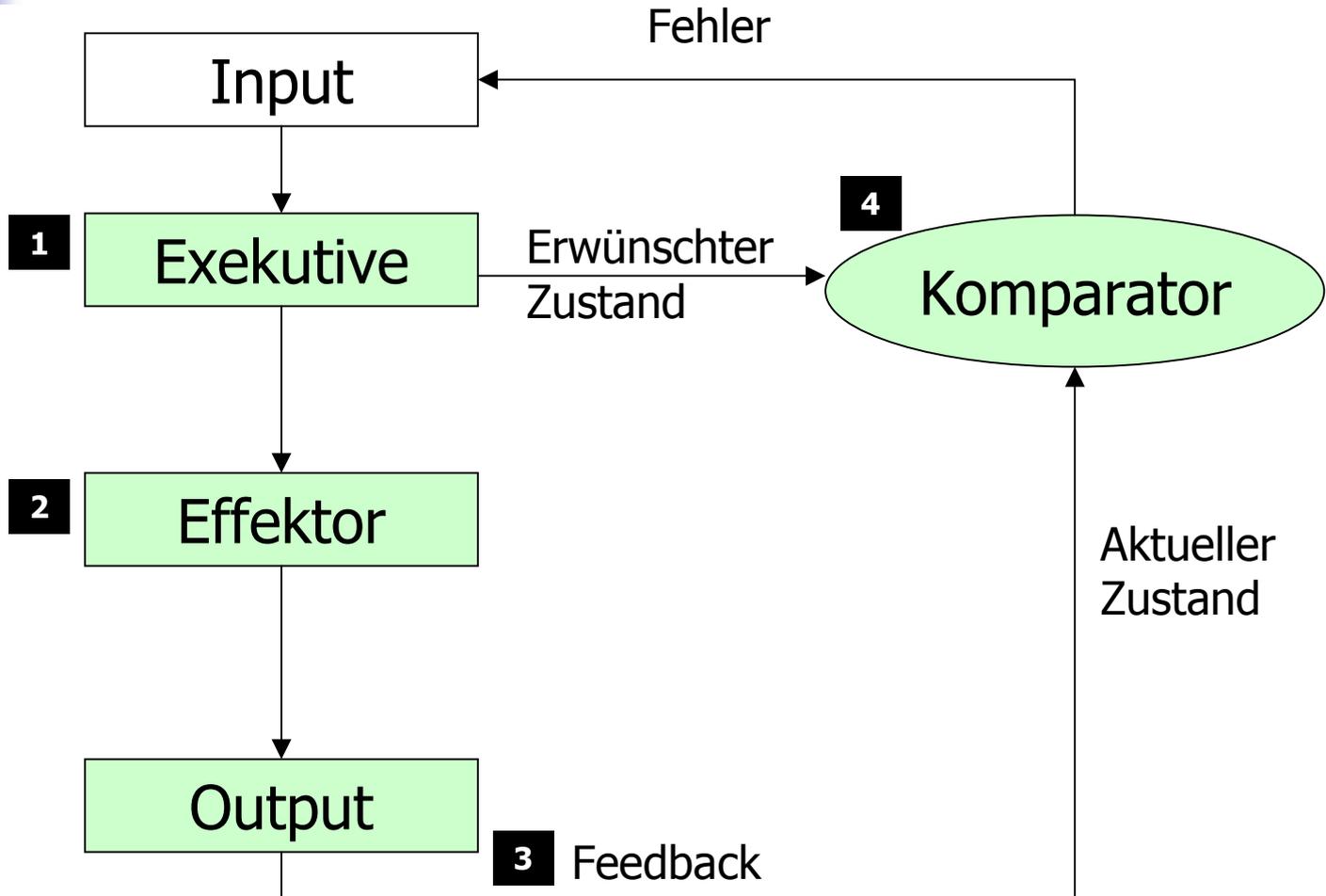
Einleitung  
Fitts  
Adams

- Erste Theorie des motorischen Lernens (1971)
- Motorisches Lernen erfolgt durch fortlaufende Verfeinerung der sensomotorischen Feedback-Kontrolle (perceptual trace):
- Ziel:  
fortlaufende Reduktion des Bewegungsfehlers



# Closed-Loop Theorie von Adams

Einleitung  
Fitts  
Adams



# Closed-Loop Theorie von Adams

- Die vier Komponenten:

- **1 Exekutive:**

- Entscheidung über korrektive Aktionen

- **2 Effektor:**

- Führt die korrekativen Aktionen aus

- **3 Feedback:**

- Information über den aktuellen Zustand

- **4 Komparator:**

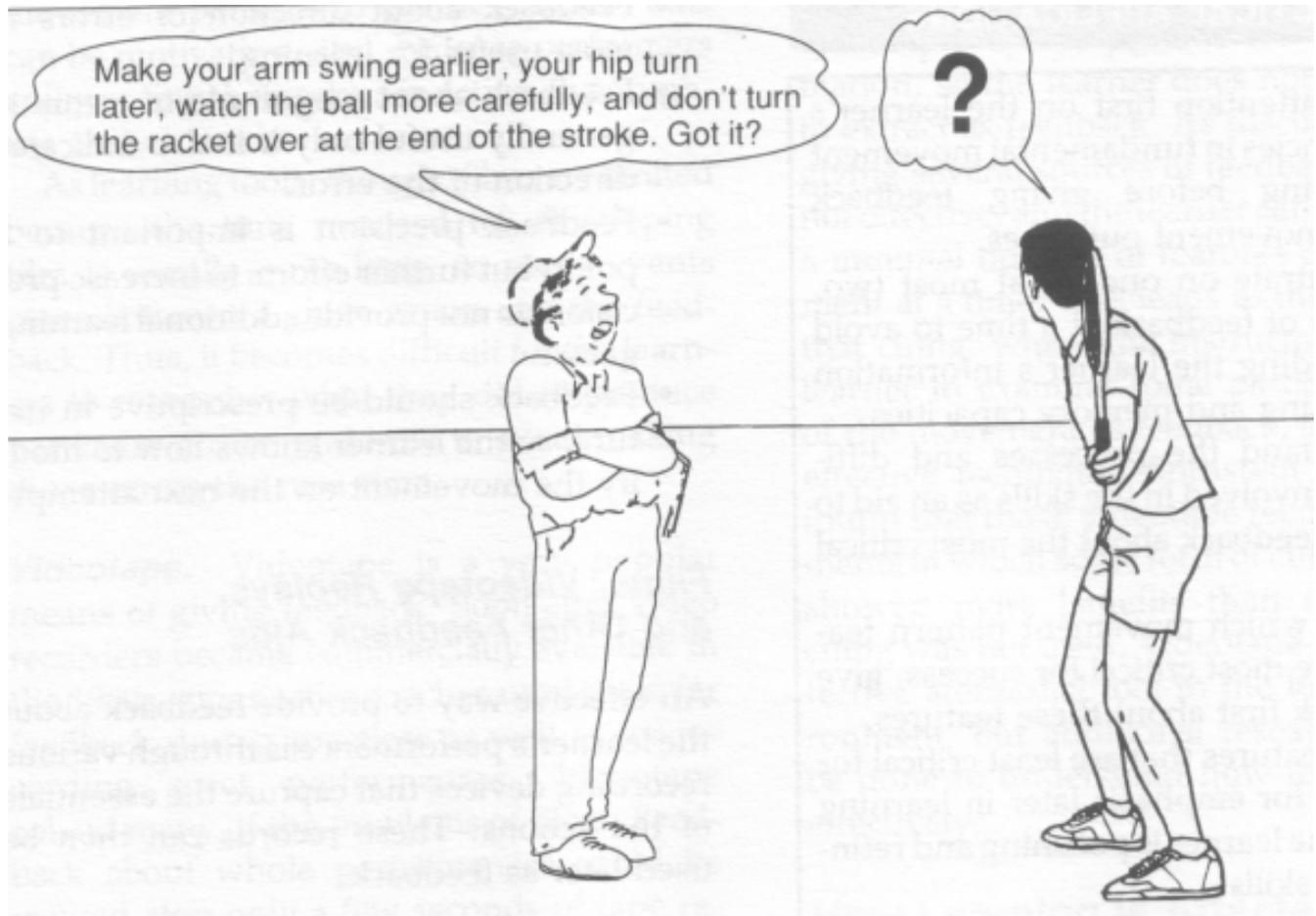
- vergleicht erwünschten und aktuellen Zustand und meldet den Unterschied an die Exekutive

Einleitung  
Fitts  
Adams

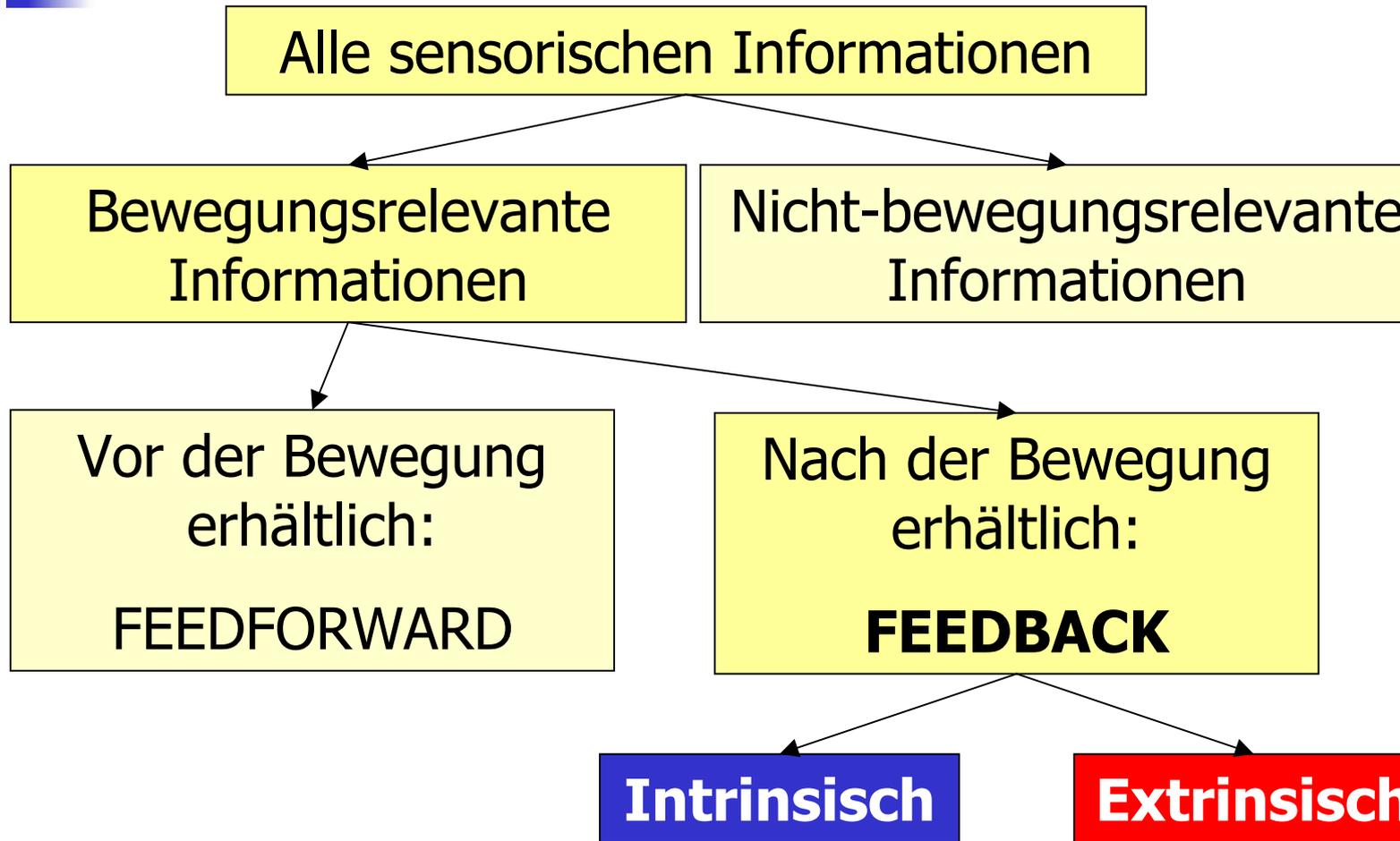


# Was ist Feedback?

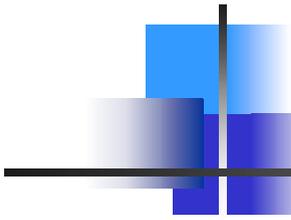
Einleitung  
Fitts  
Adams



# Was ist Feedback?



Einleitung  
Fitts  
Adams



# Was ist Feedback?

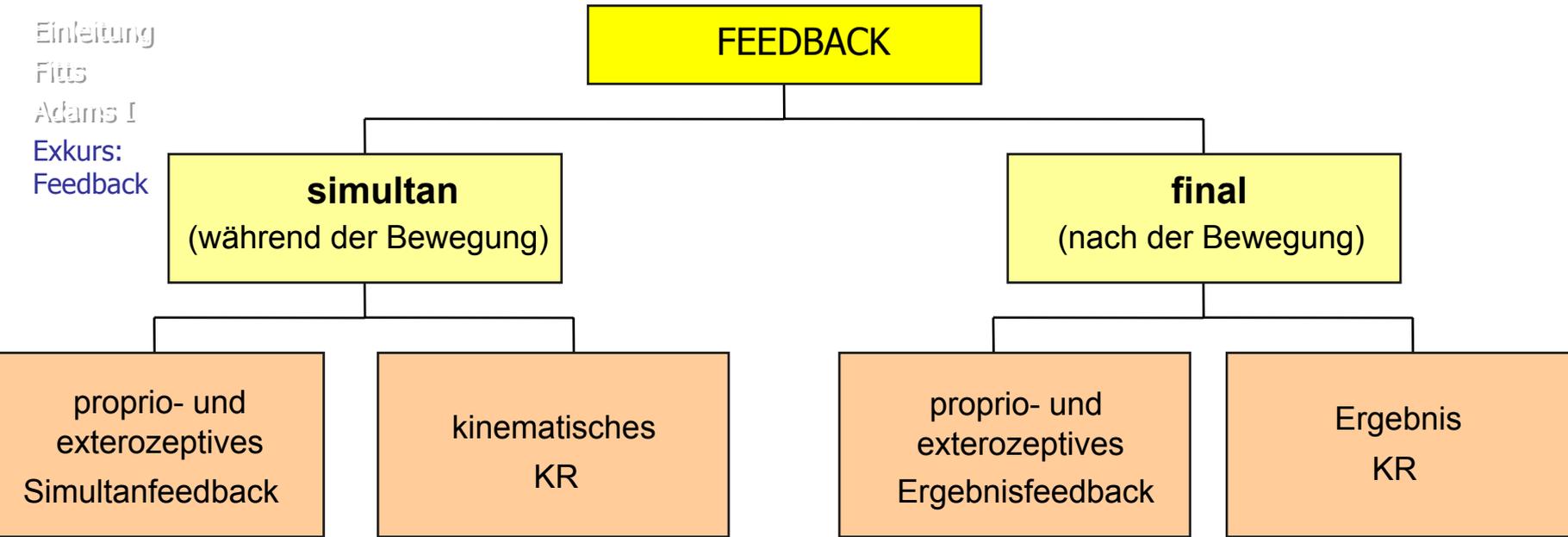
---

- **Intrinsisches Feedback**
  - **Propriozeptiv**  
= Muskelkraft, Stellung der Gelenke, ...
  - **Exterozeptiv**  
= visuell, auditiv
- **Extrinsisches Feedback**
  - **Knowledge of Results (KR)**
  - **Knowledge of Performance (KP)**

Einleitung  
Fitts  
Adams

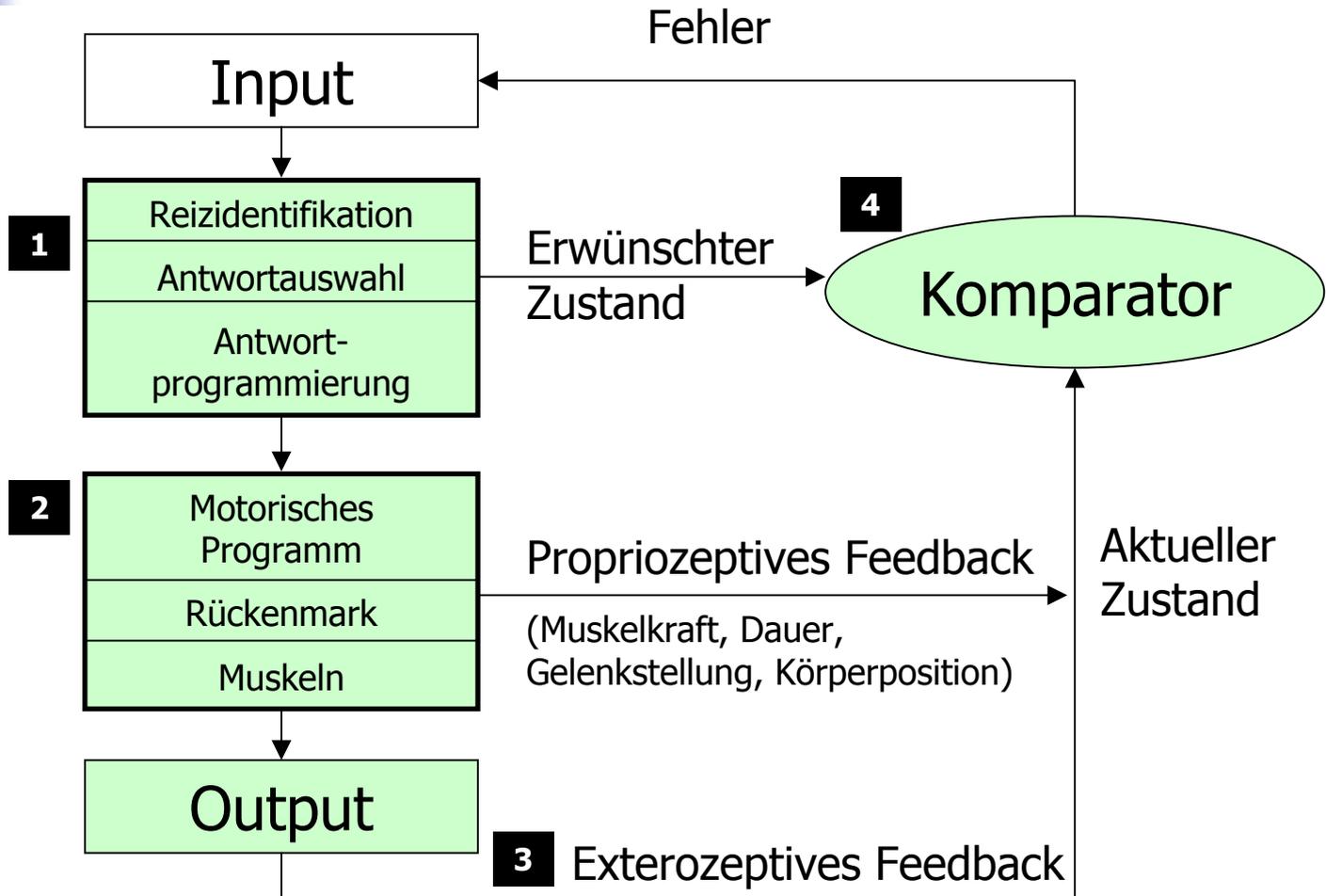
# Klassifizierung von Feedback?

Einleitung  
 Fitts  
 Adams I  
 Exkurs:  
 Feedback



# Closed-Loop Theorie von Adams

Einleitung  
Fitts  
Adams



# Closed-Loop Theorie von Adams

Einleitung  
Fitts  
Adams

- **Memory Trace:** (Gedächtnisspur)  
verantwortlich für die Auswahl der groben Richtung einer Bewegung (Bewegungsansatz)
- **Perceptual Trace:** (Wahrnehmungsspur)  
verantwortlich für die genaue Positionierung



# Closed-Loop Theorie von Adams

## Entwicklung der perzeptuellen Spur:

Sammlung von Spuren, die durch das vorhandene KR (= knowledge of results) immer genauer werden

→ KR wird aktiv genutzt um die richtige Spur zu entwickeln (KR hat Führungsrolle)

**Qualität der Rückmeldung wirkt sich auf den Lernverlauf aus**

Einleitung  
Fitts  
Adams



# Closed-Loop Theorie von Adams

## Kritik:

- **logische Inkonsistenz:**

Komparator dient gleichzeitig als Referenz- und Führungsmechanismus

- **Eingeschränkter Bereich:**

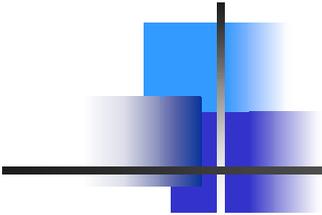
gilt nur für langsame Positionierungsbewegungen, da für schnelle Bewegungen Feedback zu langsam

- **Empirische Kontraevidenz:**

Deafferenzierungsstudien, variable Übung, relativer KR

Einleitung  
Fitts  
Adams





# Deafferenzierungsstudien

Einleitung  
Fitts  
Adams

- Deafferenzierung:

Ausschaltung der sensiblen Impulse (Afferenzen), entweder traumatisch bedingt oder durch operative Unterbrechung der segmentären sensiblen Fasern der hinteren Spinalnervenwurzeln.

- Lashley (1917)

- Patient mit Schusswunde konnte das Knie genauso gut in eine 45° Position bringen wie gesunder Mensch.

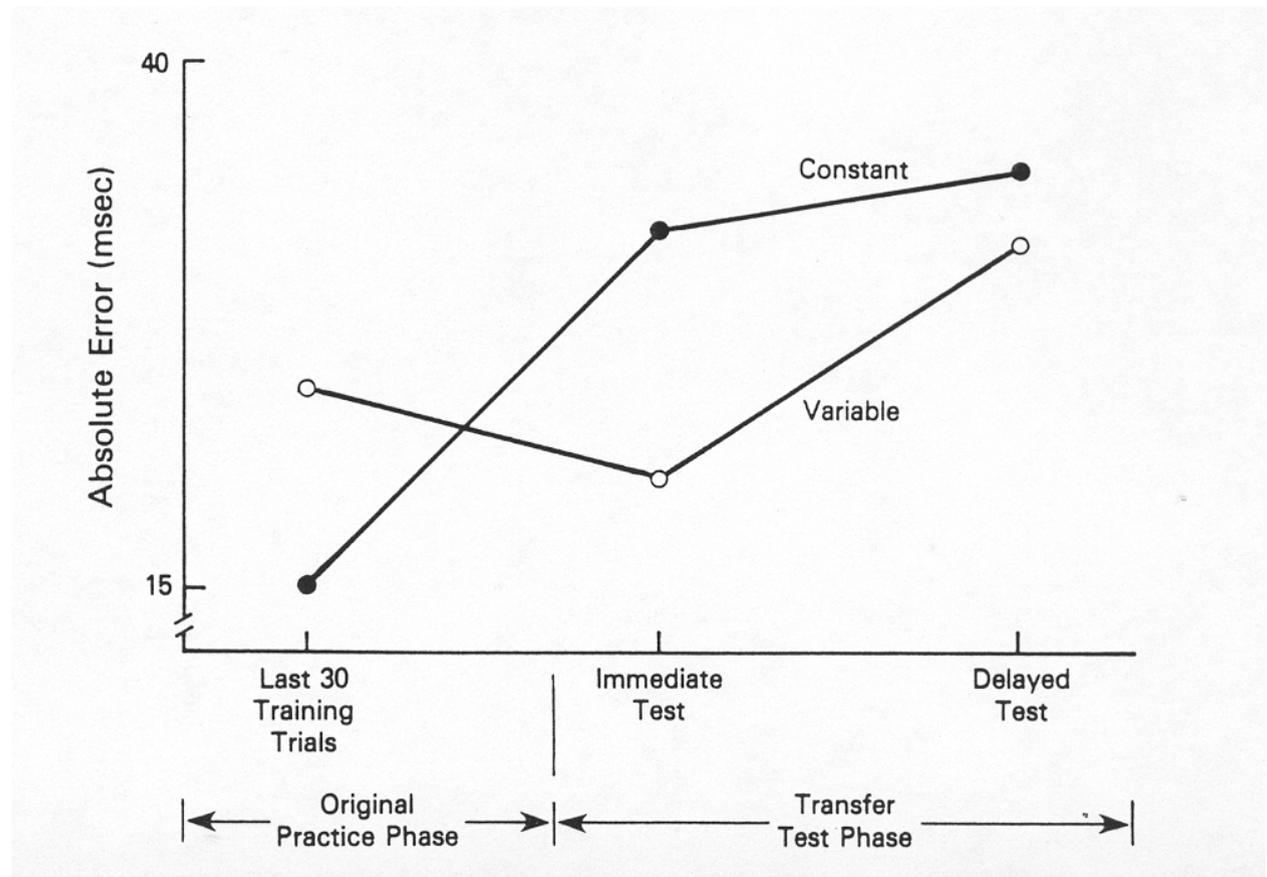
- Taub (1968)

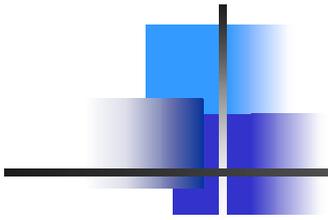
- Verhaltensrepertoire von Affen nach Deafferenzierung der vorderen Extremitäten bleibt weitgehend erhalten.
- Lediglich bei feinmotorischen Bewegungen zeigen sie deutliche Einbußen.

# Variable Übung

- McCracken und Stelmach (1977)

Einleitung  
Fitts  
Adams





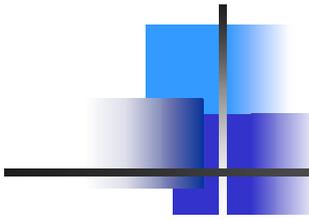
# Schmidts Schema Theorie

---

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt

- „In 1975 largely because of my dissatisfaction with Adams' position, I formulated a theory that can be considered as a rival to Adams.“

Schmidt (1982), S. 482



# Schmidts Schema Theorie

- Zwei Repräsentationsstrukturen werden postuliert:
  - **Recall Schema:**  
verantwortlich für die Produktion von Bewegungen
  - **Recognition Schema:**  
verantwortlich für die Evaluierung der (Bewegungs-)  
Antwort
- GMP (generalisierte motorische Programme):  
abstrakte Repräsentation einer Bewegung

Einleitung

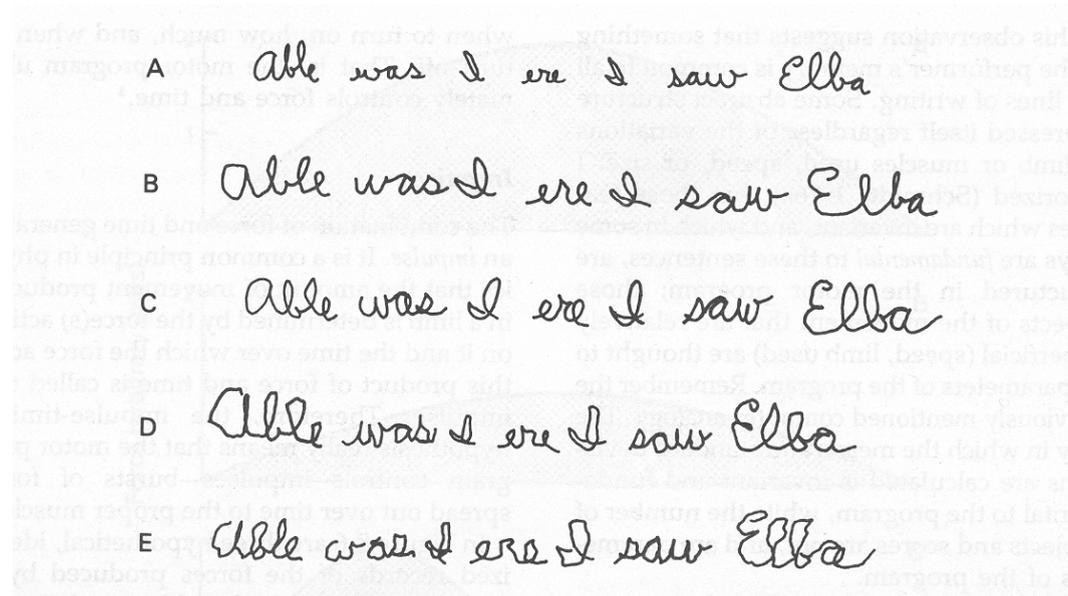
Fitts

Adams

Schmidt

# GMP: generalisiertes motorisches Programm

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt

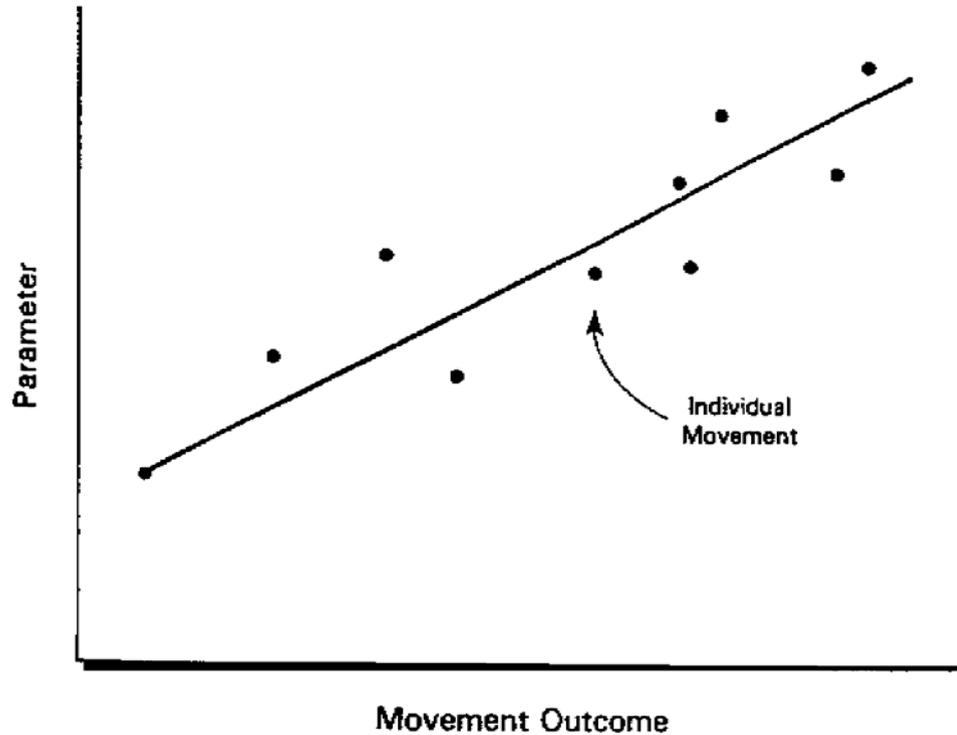


- Ein motorisches Programm ist eine Ansammlung von „Muskelbefehlen“, die strukturiert werden bevor eine Bewegung beginnt und die es erlauben eine komplette Bewegungssequenz ohne peripheres Feedback auszuführen. (Keele, 1968)

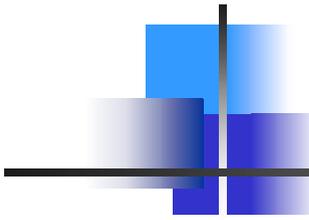
# Recall-Schema

## Input-Output-Beziehung

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt



From Schmidt (1988)



# Schmidts Schema Theorie

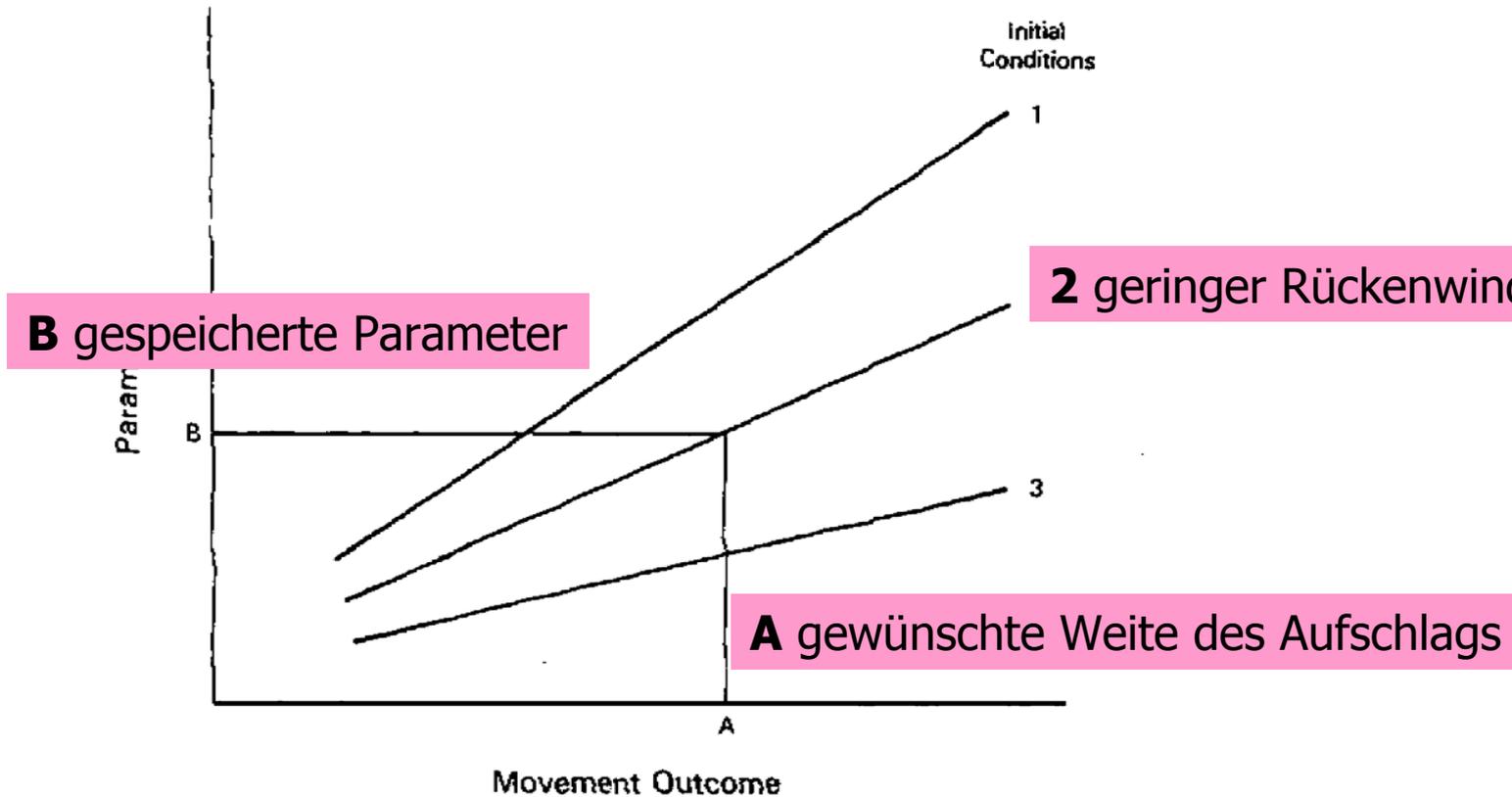
Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt

- Wenn man eine Bewegung ausführt werden 4 Informationen gespeichert:
  - **Anfangsbedingungen**  
(Körperposition, Gewicht des geworfenen Objekts,...)
  - **Gespeicherte Programmspezifikationen**  
(Parameter des verantwortlichen GMP)
  - **Ergebnis der Bewegung**  
(KR)
  - **Sensorisches Ergebnis**  
(wie sich die Bewegung angefühlt hat, aussah, angehört hat,...)

→ Schemabildung

# Recall-Schema

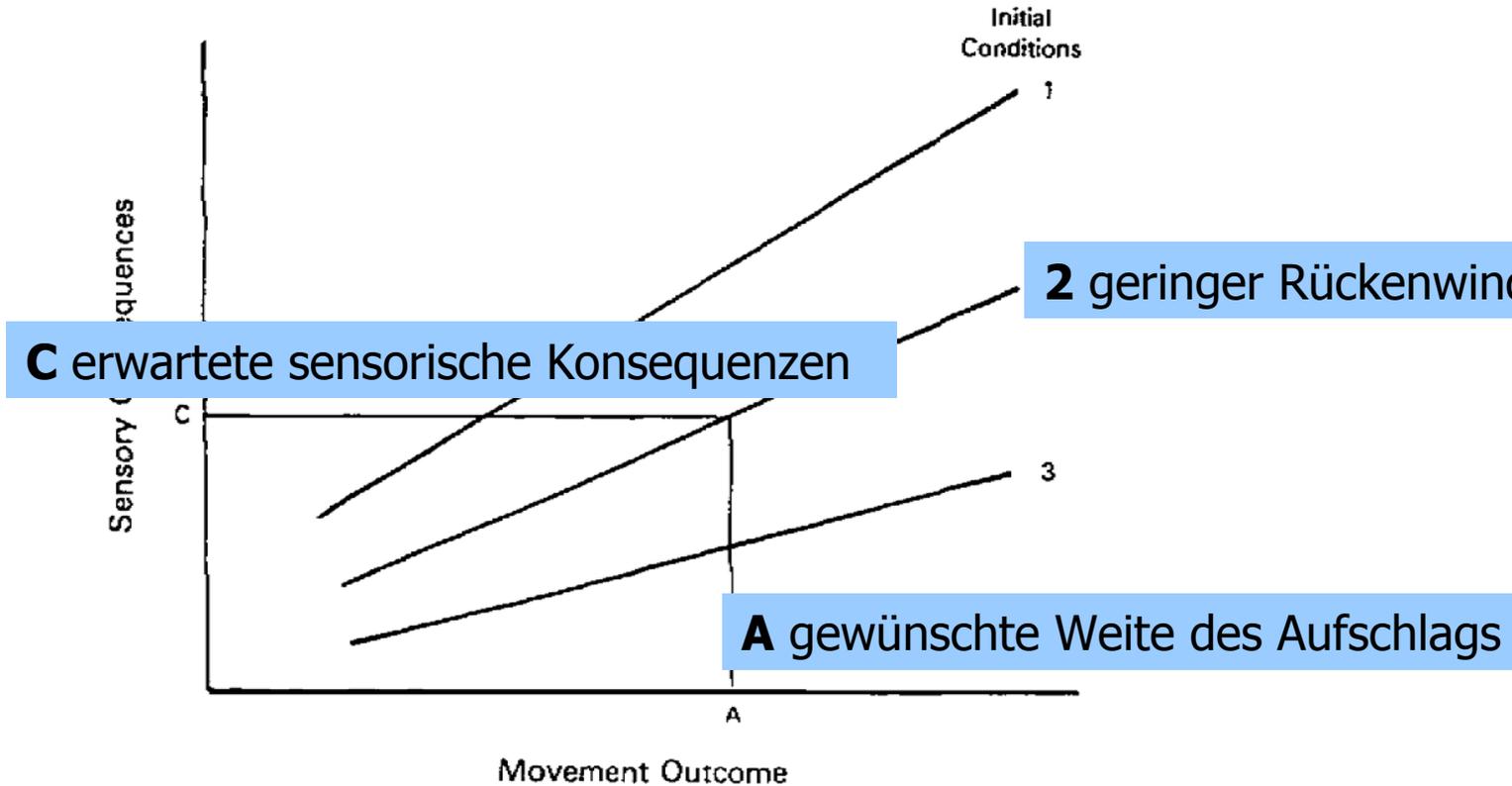
Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt



From Schmidt (1988)

# Recognition Schema

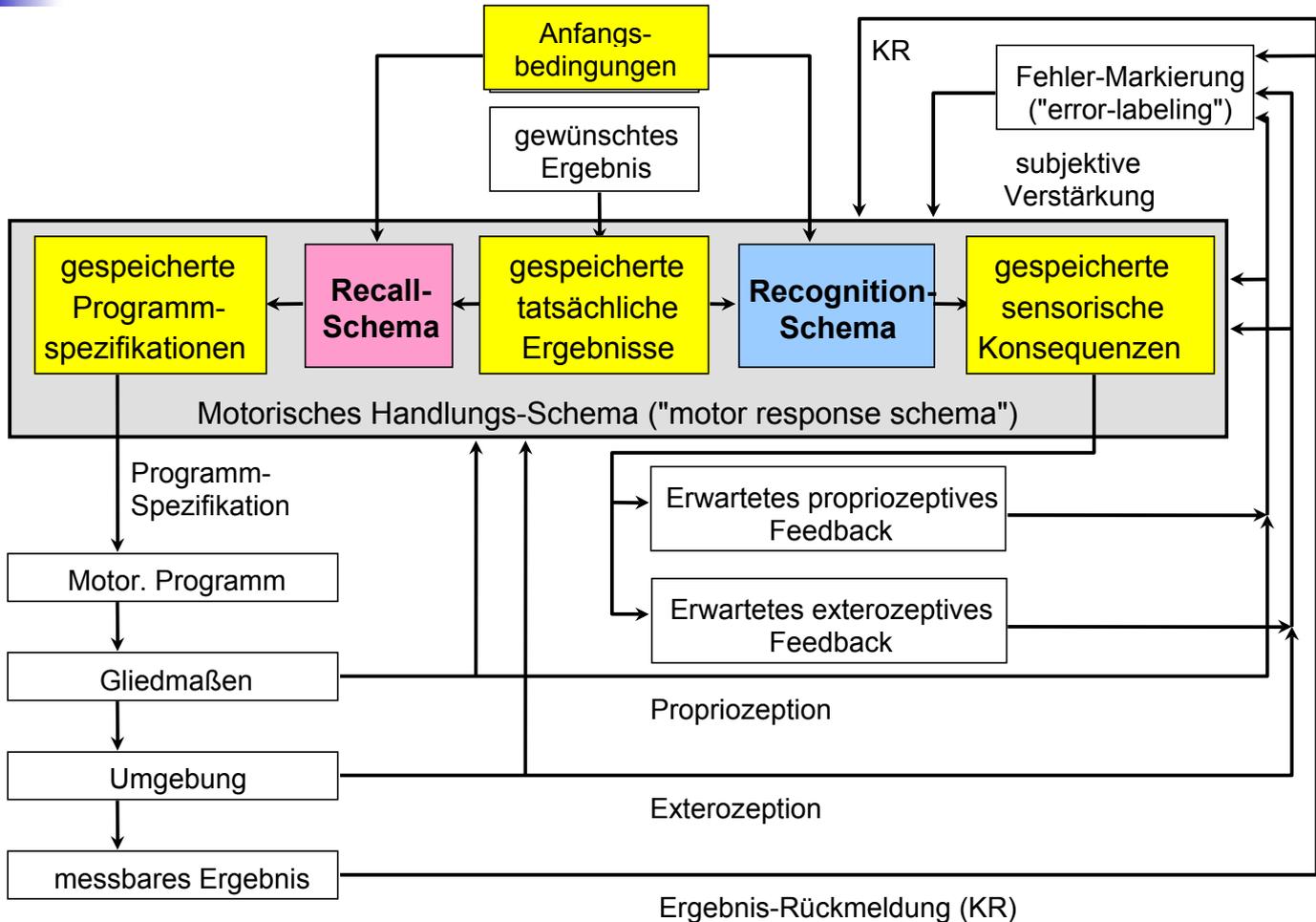
Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt

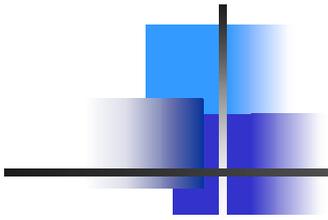


From Schmidt (1988)

# Schema Theorie

Einleitung  
 Fitts  
 Adams  
 Schmidt





# Schema Theorie

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt

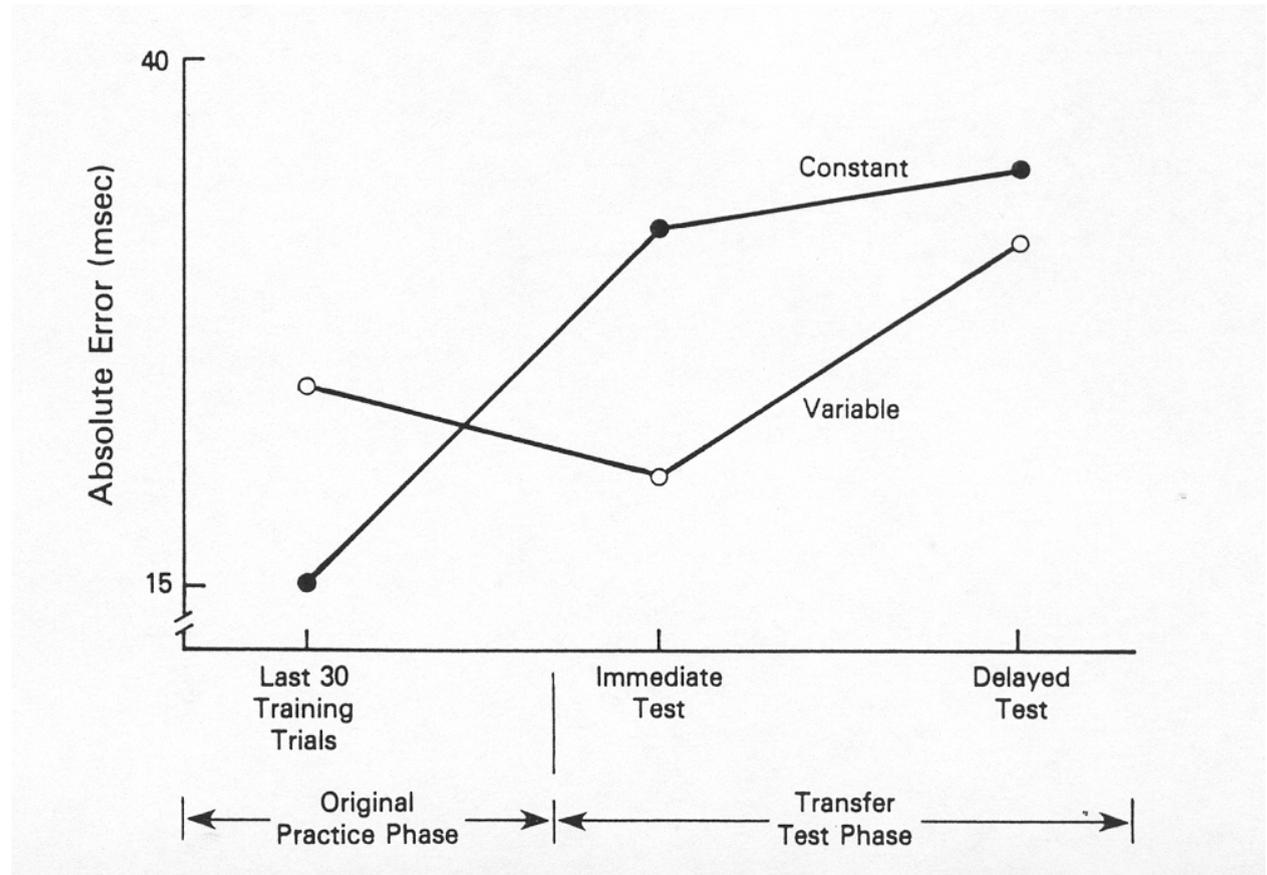
- „Pluspunkte“:

1. bewertende Funktion des Recognition Schemas und bewegungsproduzierende Funktion des Recall Schemas vermeiden die logische Inkonsistenz
2. Bewegungsspezifizierende Funktion des Recall Schemas macht die Theorie auch für schnelle, ballistische Bewegungen anwendbar
3. Positive Wirkung von Variabilität der Übung kann erklärt werden

# Variable Übung

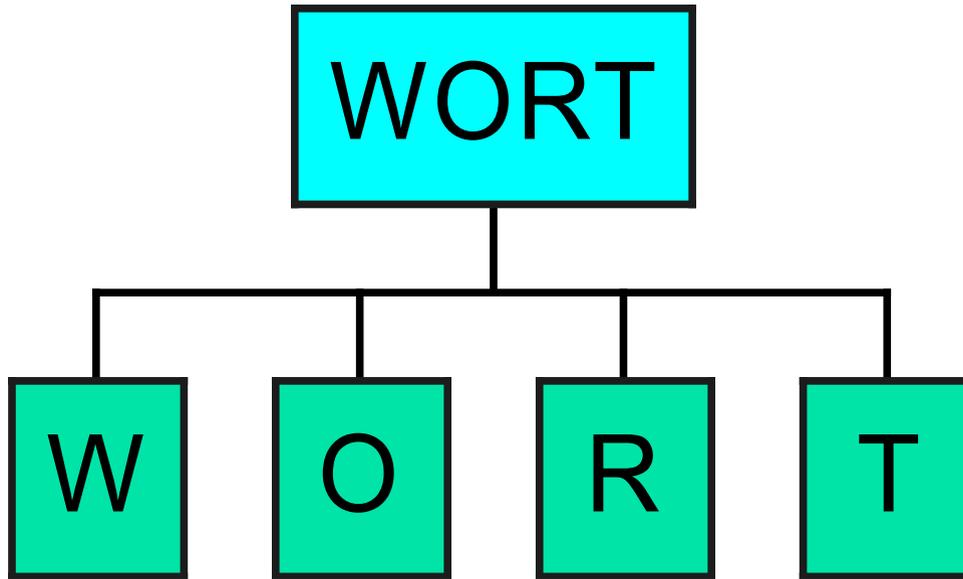
- McCracken und Stelmach (1977)

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt



# Hierarchisches Lernen

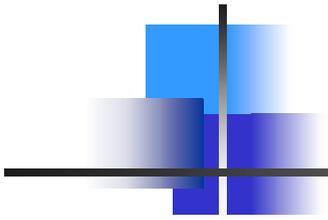
Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchisches Lernen



Komplexe Einheit

Bausteine

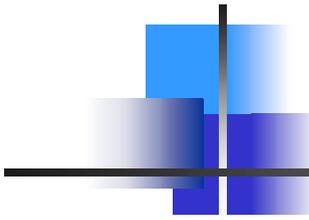
einzelne Buchstaben



# Hierarchisches Lernen

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchi-  
sches Lernen

- Schemata und GMP sind attraktive Konzepte, aber schwer zu identifizieren
- Hierarchische Strukturen hingegen sind klar definiert
- **Zentrale Annahme:**  
Lernen erfolgt durch das Bilden von zunehmend komplexerer „Units“ (higher-level units) aus einfacheren Einheiten.
  - Bryan & Harter (1897): Morse-Code
  - MacKay & Bowen (1969): „Biliguale“



# Hierarchisches Lernen

- MacKay & Bowen (1969):
  - Versuchspersonen sprachen fließend Englisch und Deutsch
  - müssen einen Satz in einer Sprache immer schneller sprechen → Sprechzeit nimmt ab
  - wenn sie dann einen Satz in der anderen Sprache sprechen müssen, der die gleiche Bedeutung hat, verbessert sich die Sprechzeit weiter; hat der Satz eine andere Bedeutung, stellt sich die Verbesserung langsamer ein
  - **Erklärung:**  
Bildung von höheren Ebenen („higher-level units“) während des Lernens. Die höchste Ebene ist die Bedeutung, wird diese wieder aktiviert, kann schneller gelernt werden.

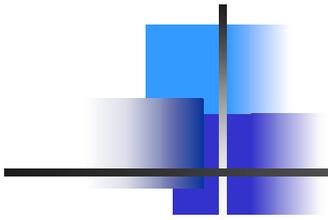
Einleitung

Fitts

Adams

Schmidt

Hierarchi-  
sches Lernen



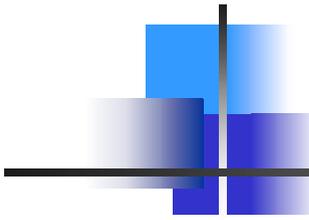
# Chunking

---

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchi-  
sches Lernen

## Bildung von „Informationsklumpen“

- vwb mwo pel  
➔ vw bmw opel
  
- Telefonnummern Auswendiglernen



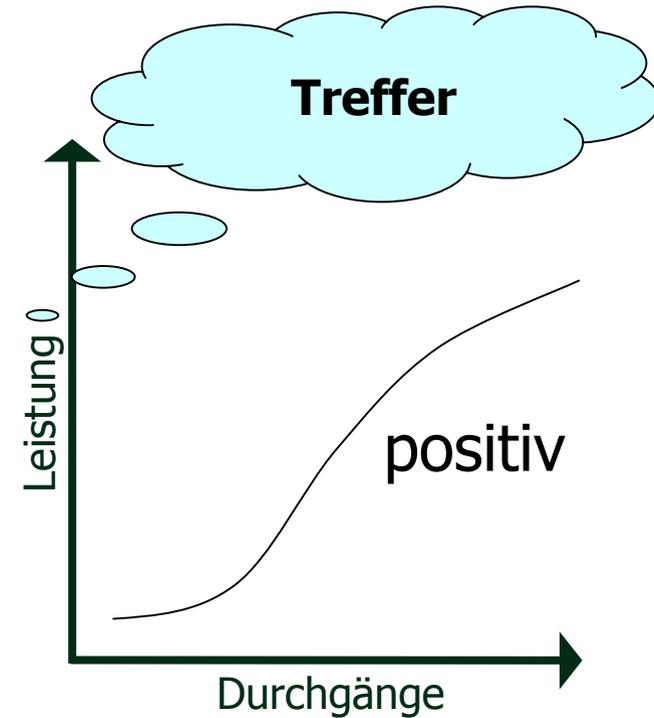
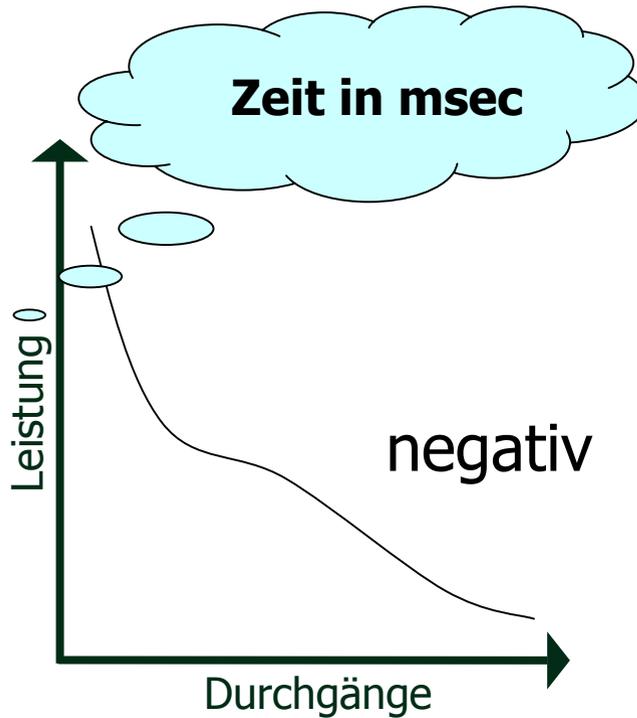
# Darstellung von Lernprozessen

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchisches Lernen  
Leistungs-  
kurven

- Verbesserung (und auch Verschlechterung) motorischer Leistung kann mit Hilfe von Leistungskurven graphisch dargestellt werden.
- Bezeichnung „**Leistungskurven**“ besser als „Lernkurven“, da lernen nicht direkt gemessen werden kann, sondern nur aus beobachtbaren Verhaltensänderungen herleitbar ist.

# Leistungskurven

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchisches Lernen  
Leistungskurven

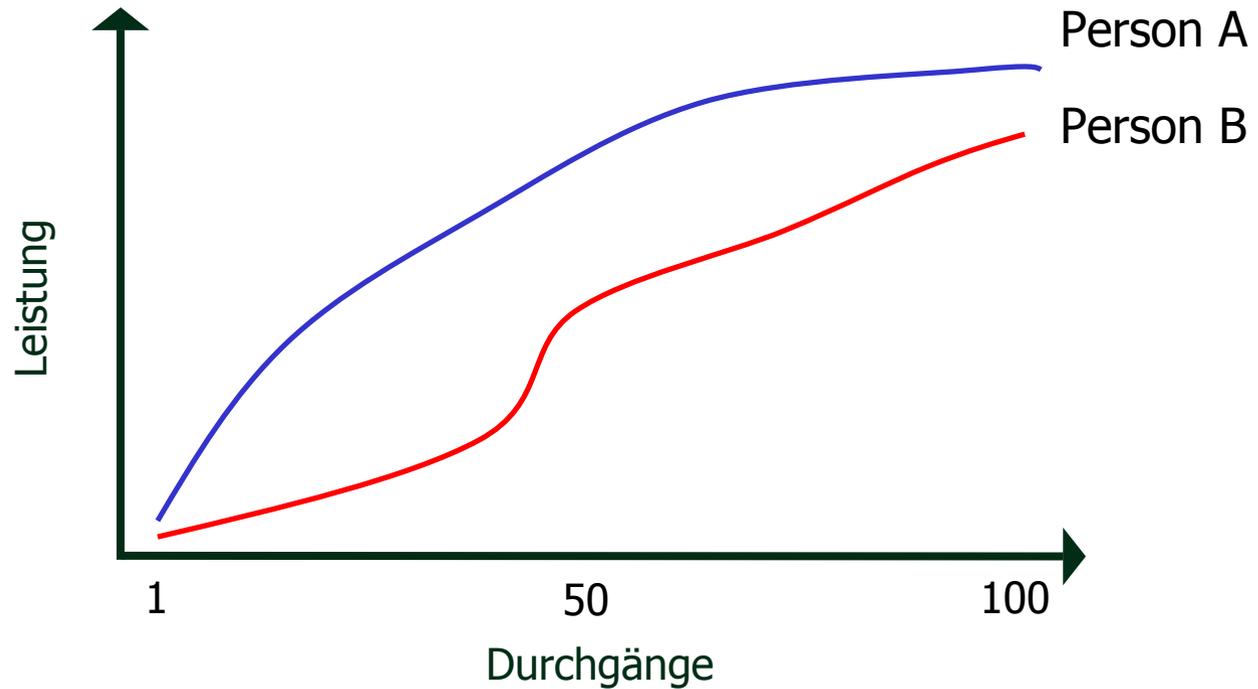


- Transfer darf nie vergessen werden

# Leistungskurven

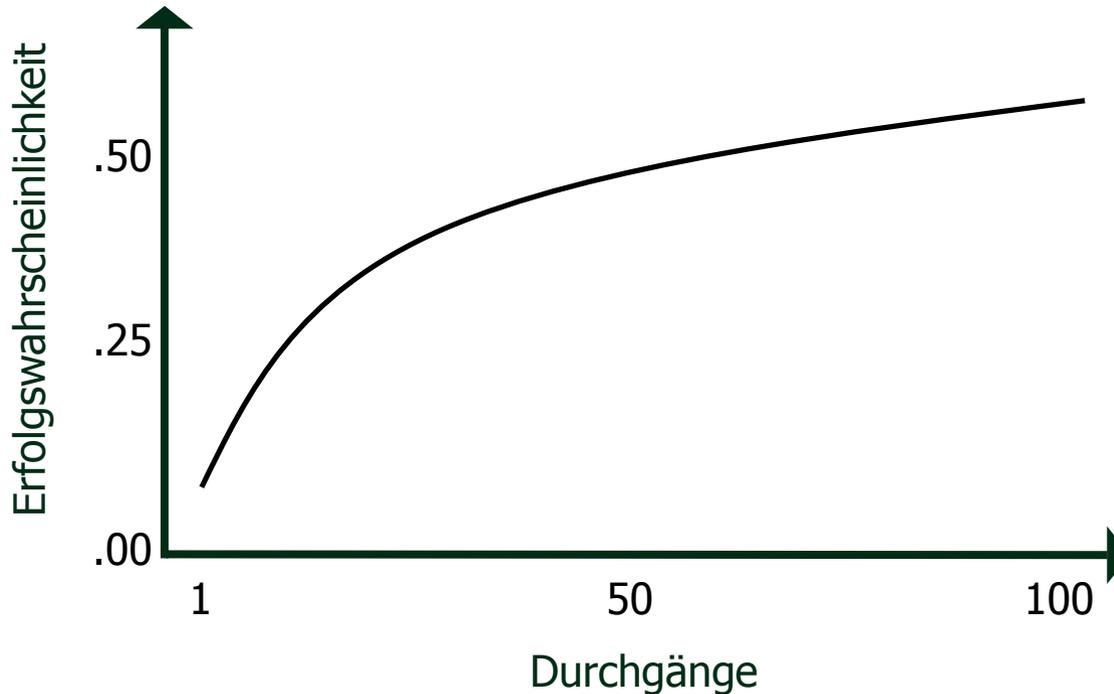
- Variabilität zwischen Versuchspersonen

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchisches Lernen  
Leistungskurven



# Leistungskurven

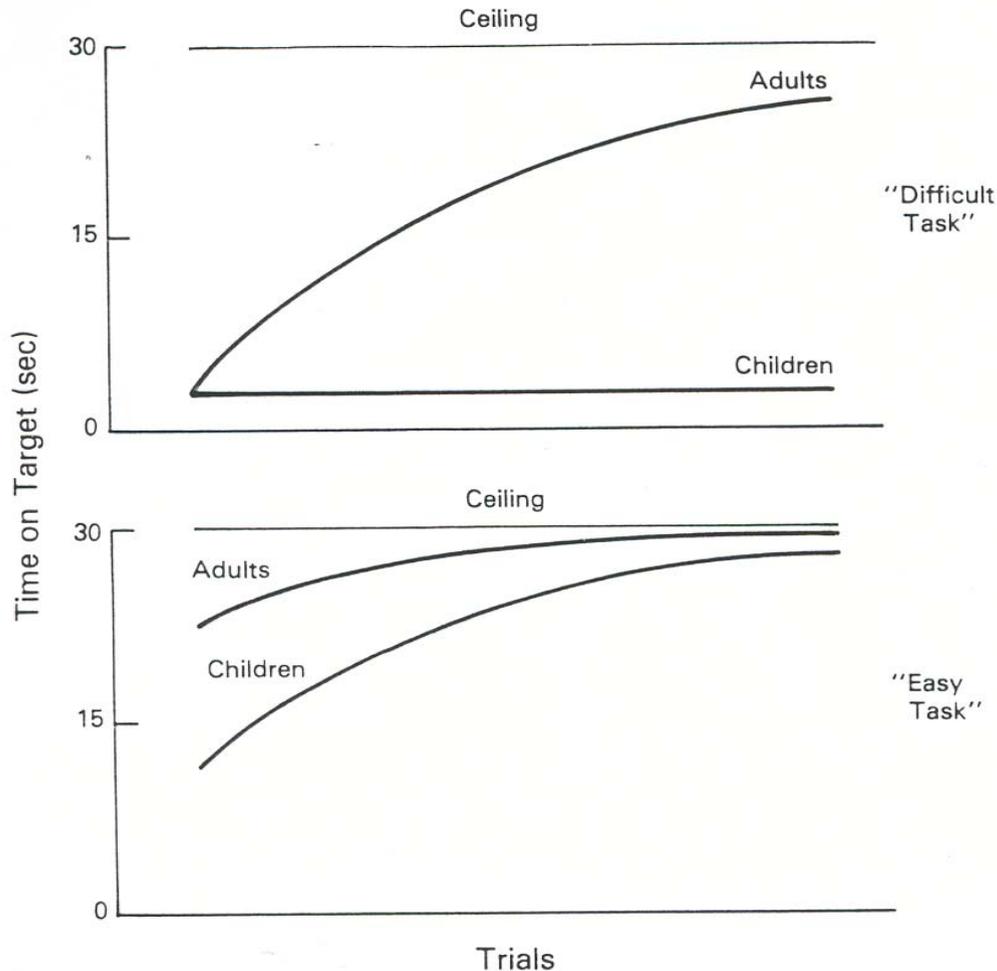
- Variabilität innerhalb einer Versuchsperson

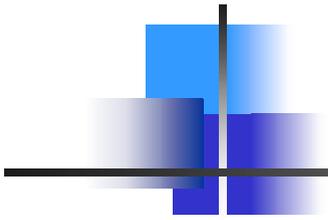


Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchi-  
sches Lernen  
Leistungs-  
kurven

# Hypothetische Leistungskurven

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchisches Lernen  
Leistungskurven





# Übung

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchi-  
sches Lernen  
Leistungs-  
kurven  
Übung

- **Übung macht den Meister.**
- **Üben ist schwer, aber Sterben noch schwerer.**
- **Übung bringt Gewöhnung**
- **Übung ist der beste Lehrer.**
- **Übung tut mehr als aller Meister Lehr'.**
- **Übung und Fleiß vermag alles.**

Einleitung

Fitts

Adams

Schmidt

Hierarchi-  
sches Lernen

Leistungs-  
kurven

Übung

## **Definition von motorischem Lernen:**

Relativ überdauernde Veränderungen internaler  
Bewegungskontrollstrukturen in Folge motorischer

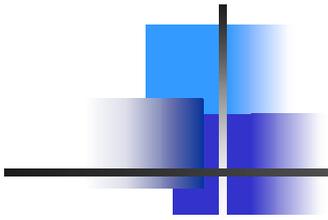
**Übungsprozesse**, die sich in relativ  
überdauernden Verhaltensänderungen niederschlagen.

# Physikalische Veränderungen

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchi-  
sches Lernen  
Leistungs-  
kurven  
Übung

- neben den Verhaltensänderungen und den kognitiven Übungseffekten entstehen auch nicht-kognitive und nicht-neuronale Übungseffekte (→ z.B. Muskelaufbau)





# Übung

---

...dazu braucht man

- Motivation:
  - Die Aufgabe wichtig erscheinen lassen.
  - Ziele setzen oder vereinbaren.
- ein Bewegungsbild:
  - Filme, verbale Instruktion, Demonstration
- eine Struktur:
  - Variables Üben
  - Massed vs. distributed
  - Blocked vs. random
  - Mentales Üben

Einleitung

Fitts

Adams

Schmidt

Hierarchi-  
sches Lernen

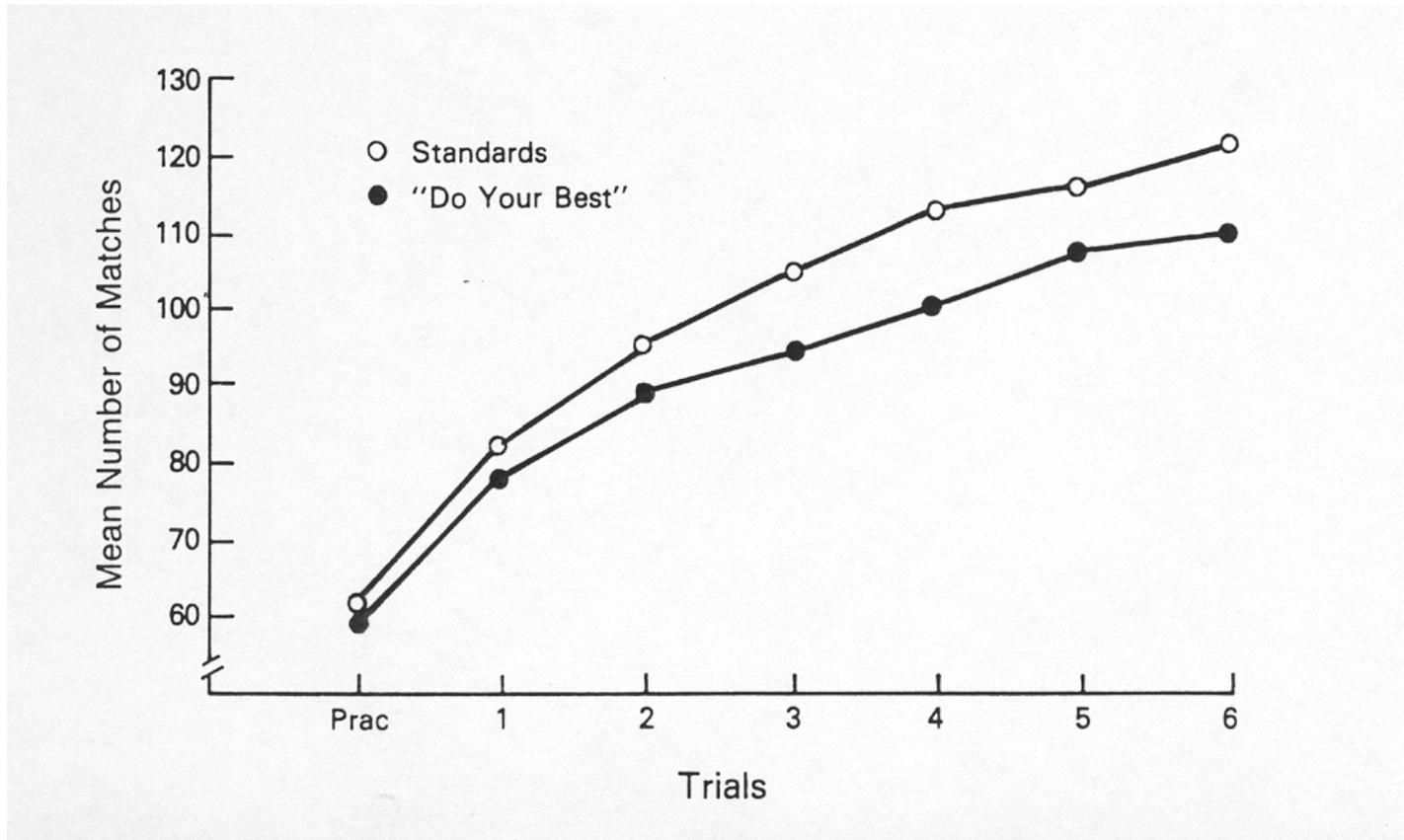
Leistungs-  
kurven

Übung

# Übung

- Concept of goalsetting (Locke, 1968)

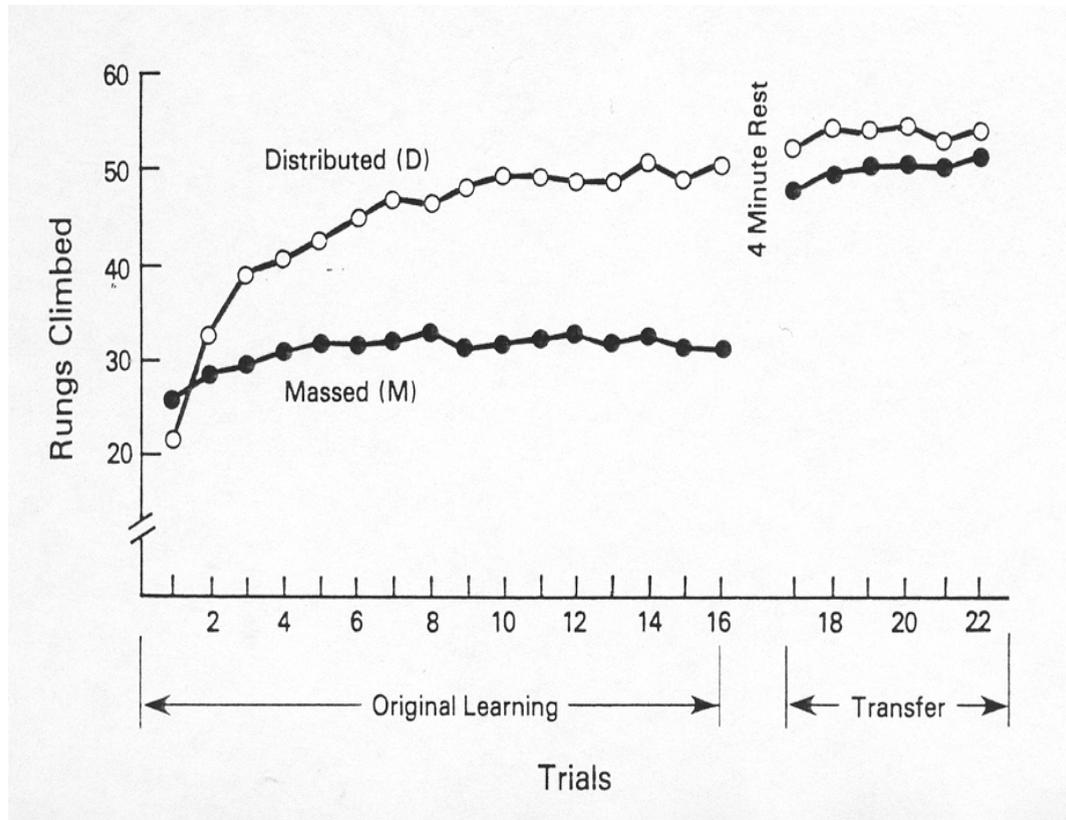
Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchi-  
sches Lernen  
Leistungs-  
kurven  
Übung



# Übung

- massed= ohne Pausen
- distributed = mit Pausen

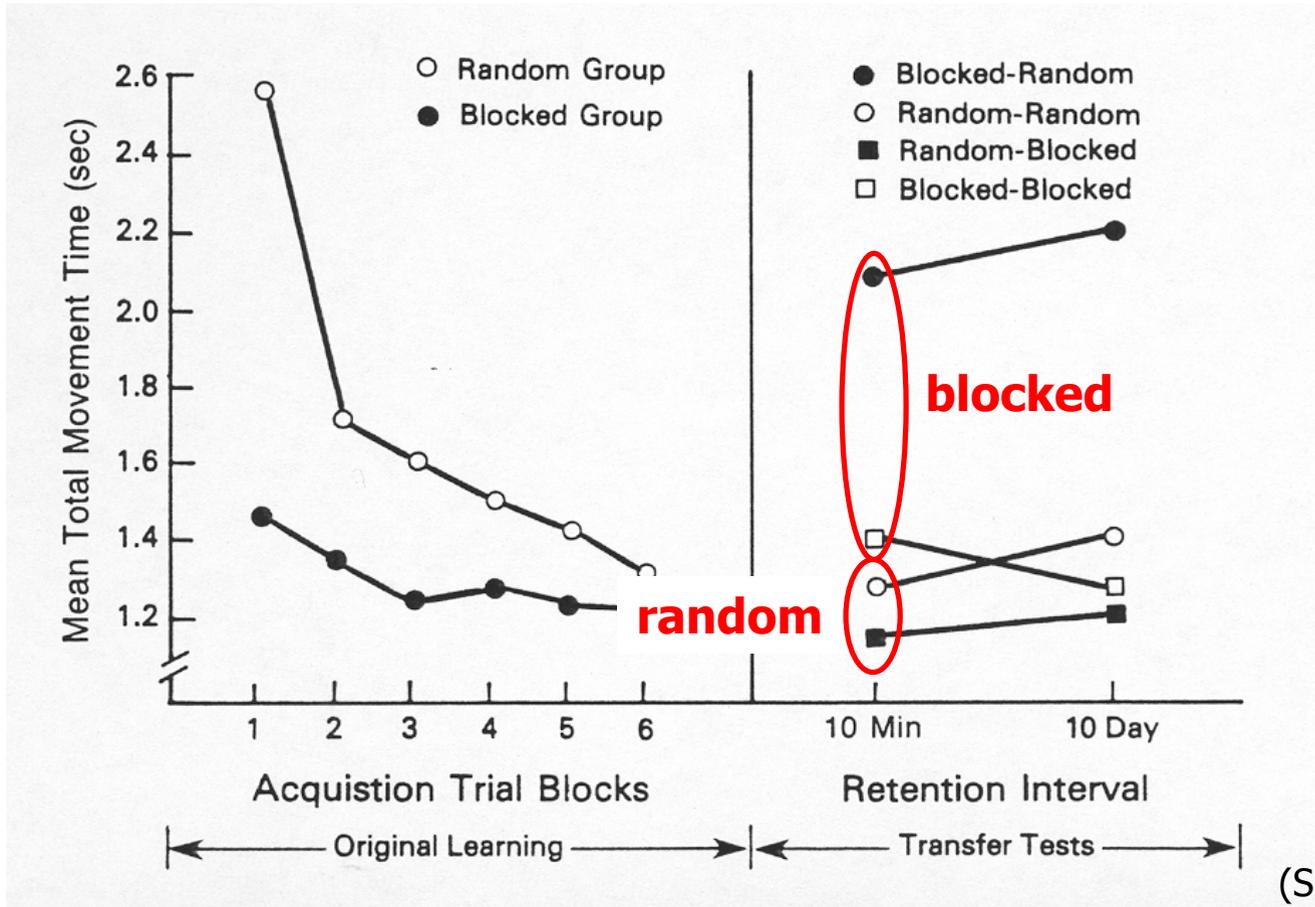
Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchisches Lernen  
Leistungskurven  
Übung



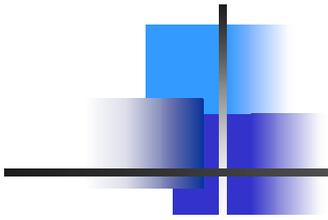
# Übung

## ■ Blocked versus random

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchisches Lernen  
Leistungskurven  
Übung



(Shea & Morga



# Mentale Übung

- **Bedeutet eine Bewegung im Geiste ausführen, ohne dabei Muskeln zu beanspruchen**

- ➔ Hilfreich beim Erlernen und Abruf von motorischen Programmen
- ➔ Besser als kein Üben, aber schlechter als aktives Üben

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchi-  
sches Lernen  
Leistungs-  
kurven  
Übung

# Mentale Übung

- Rotary Pursuit Test

Einleitung

Fitts

Adams

Schmidt

Hierarchi-  
sches Lernen

Leistungs-  
kurven

Übung

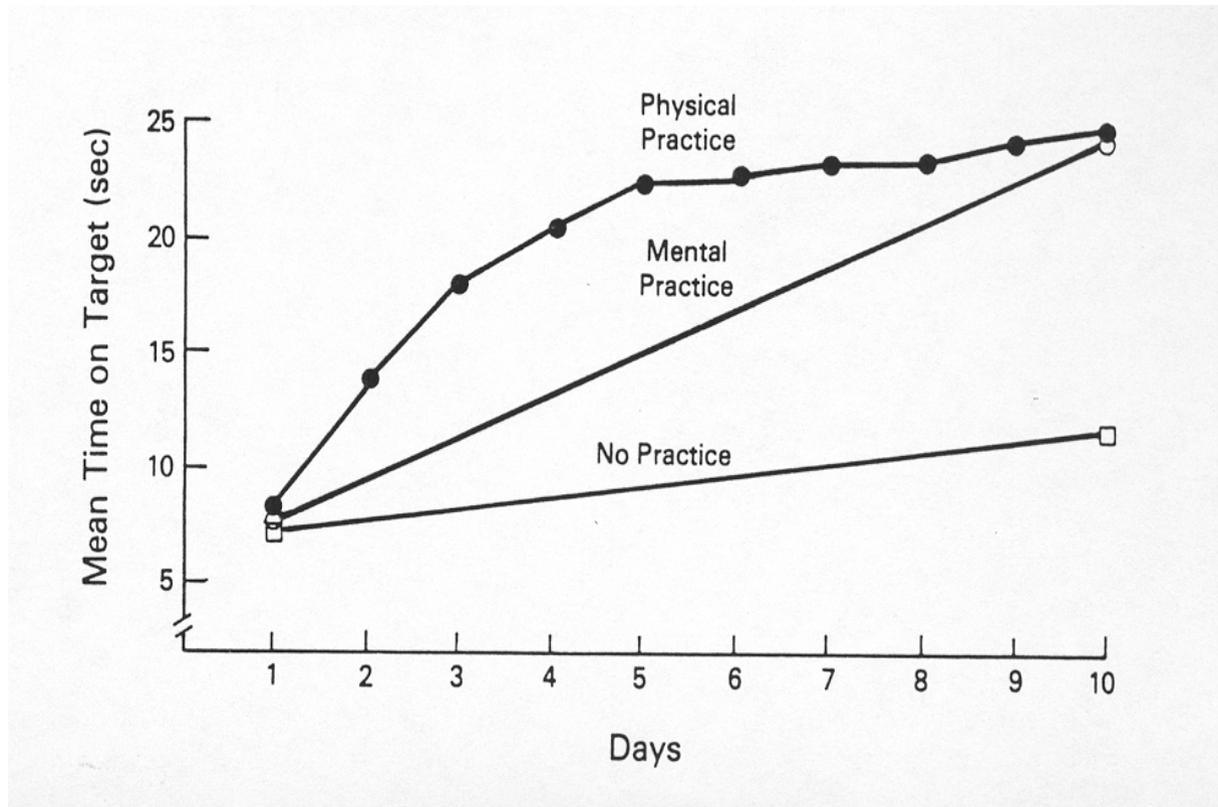


(Rawlings, et al.)

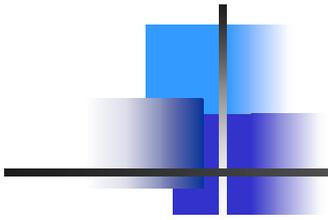
# Mentale Übung

- besser als kein Üben
- schlechter als aktives Üben

Einleitung  
Fitts  
Adams  
Schmidt  
Hierarchi-  
sches Lernen  
Leistungs-  
kurven  
Übung



(Rawlings, et al.)



# Guidance (Anleitung)

- Hilfestellungen im Sport
- Verbales Begleiten

## PRO:

- Fehler werden vermieden
- verringert die Verletzungsgefahr und nimmt die Angst (nicht experimentell bewiesen)

## CONTRA:

- trial-and-error oft erfolgreich
- Man „entdeckt“ die Bewegung nicht selbst.

Einleitung

Fitts

Adams

Schmidt

Hierarchi-  
sches Lernen

Leistungs-  
kurven

Übung