

Bausteine der Bewegung
„Closed-loop Modell“

Grundprinzipien closed-loop

Closed-loop-Modell:

Charakterisierend für das closed-loop-System ist die Kontrolle der motorischen Systeme durch Feedback, Fehler-Erkennung und Fehler-Korrektur.

Es ist ein rückmeldungs-orientiertes Modell, das rückgekoppelte sensorische Meldungen für eine zielgerichtete motorische Handlung voraussetzt.

Die ständige Rückmeldung aus der Bewegung über den Ablauf ist maßgeblich für die Regelung dieser Bewegung, um die erforderliche Flexibilität bei der Bewegungsausführung zu kontrollieren und zu gewährleisten.

Im Closed-loop-Modell wird die Funktionsweise des Regelvorgangs dargestellt, mit Hilfe dessen der konstant zu haltende Wert (Soll-Wert) einer Größe kontinuierlich durch Eingriffe aufgrund von Messungen dieser Größe (Ist-Wert) hergestellt und (möglichst) aufrechterhalten wird.

Der Bewegungsablauf wird durch die ständige Überprüfung kontrolliert und beim Feststellen einer Diskrepanz von Ist- und Soll-Wert wiederkehrend neu geregelt/korrigiert

Das Modell des Regelkreises wird zur Veranschaulichung von Lernprozessen (Lernen) und der Bewegungsregulation herangezogen.

Grundprinzip des closed-loop-Modells
(Vgl. Roth & Willimczik 1999, 166)

Closed-loop kontrollierte Bewegungen

Bausteine der Bewegung
„Closed-loop Modell“

Closed-loop-Modell (nach Schmidt):

Das System besitzt ein „Control Center“. Es hat unter anderem die Aufgabe, Bewegungsanweisungen (Movement Commands) an die Effektoren zu senden, welche die beteiligten Muskeln und Gelenke bei der Ausführung berücksichtigen. Es enthält also Bewegungsanweisungen, die vom Control Center an die Effektoren geschickt werden.

Die Bewegungskommandos, die vom Control Center ausgehen, lösen die Bewegung aus. Nach dem Start einer Bewegung wird diese ständig über Feedback-Informationen überwacht und gesteuert. Während der Bewegungsausführung werden afferente Informationen über verschiedene sensorische Rezeptoren als Feedback zum Control Center zur rückgemeldet.

Die Rückmeldungen kommen von allen sensorischen Rezeptoren, wie visuelle, akustische und taktile Rezeptoren, sowie den propriozeptiven Rezeptoren, die alle bei der Bewegungsausführung mit beteiligt sind.

Durch das Feedback wird die Richtigkeit der Ausführung während des Bewegungsvollzuges überprüft und zur Korrektur während des Bewegungsablaufes verwendet.

(Ist-/Soll-Wert Vergleich im Movement Control Center – interner Referenz-Wert)
Deswegen sind Bewegungen, die mit dem Closed-loop-System kontrolliert werden langsamer (vgl. open-loop-Steuerung).

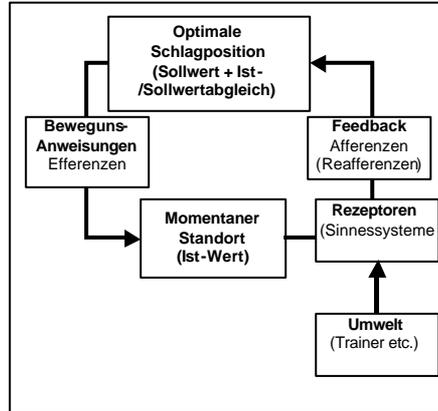
Es ergibt sich das Kontrollprinzip der (mehrfachen) Rückkoppelung. Die efferenten Anweisungen für die Bewegung werden wiederholt mit dem afferenten Feedback verglichen.

Konkretes Beispiel für closed-loop:**Koordination der Bewegungen beim Squashspielen:**

Anhand der Position des Balles wird die **optimale Schlagposition** „errechnet“, dies ist der Soll-Wert, momentaner **Standort** ist der Ist-Wert. Beine werden nun instruiert da hin zu laufen, um die Diskrepanz zu verringern.

Dabei ständige Regelung des Ablaufs durch erneute Soll-Wert-Berechnung und **Diskrepanz-Vergleich**.

Bei Erreichen der Schlagposition und nach Abschlag stellt die gelernte optimale Ausgangsposition (in der Mitte des Feldes) den neuen Soll-Wert dar.

**Closed-Loop-Theorie** Adams (1971, S. 58)**Das Regelungsprinzip**

Adams entwickelte 1971 die so genannte „closed-loop-Theorie“ des Lernens.

Ein closed-loop-System beinhaltet (Adams, 1987, S. 58):

das Feedback über die Reaktion, über die Fehlererkennung und über die Fehlerkorrektur.

Die Reaktion ist zu einem Sollwert = Referenzwert rückgekoppelt.

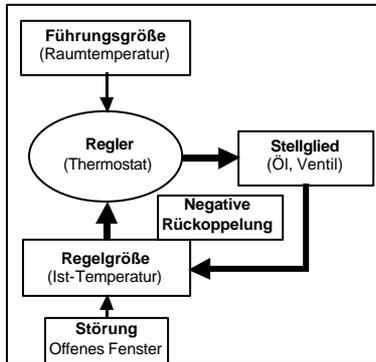
Diskrepanzen bedeuten einen Fehler, der anschließend korrigiert wird.

Es wird über visuelle und propriozeptive Reafferenzen bei der Bewegung eine so genannte „Wahrnehmungsspur“ im Gehirn zur Erinnerung und Wiedererkennung angelegt. Damit ist wesentliches Element motorischen Lernens ein Wahrnehmungsprozess.

Die so genannte „Gedächtnisspur“ ist erforderlich, um die Bewegung auszulösen. Die Gedächtnisspur enthält einfache motorische Programme. Sie wählt die durchzuführende Reaktion bei gegebener Reizkonstellation aus, initiiert sie und geht damit dem Feedback und der Nutzung der Wahrnehmungsspur, welche die Bewegung nach dem Beginn reguliert, voraus.

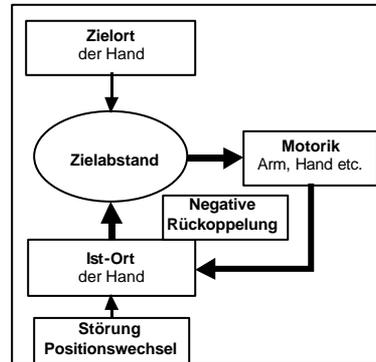
Closed-Loop-Theorie Adams (1971)

Das Regelungsprinzip – Klimaanlage



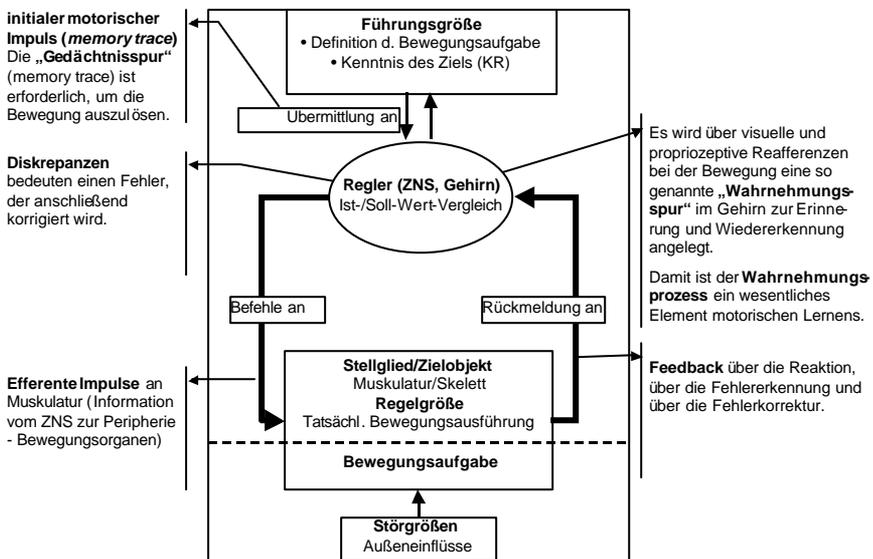
Die „Closed-Loop-Theorie“ stammt ursprünglich von ADAMS (1971) und ging auf die Vorstellung eines Regelkreises, wie z. B. bei einer Klimaanlage zur rück.

Das Regelungsprinzip – Positionierung einer Gliedmaße

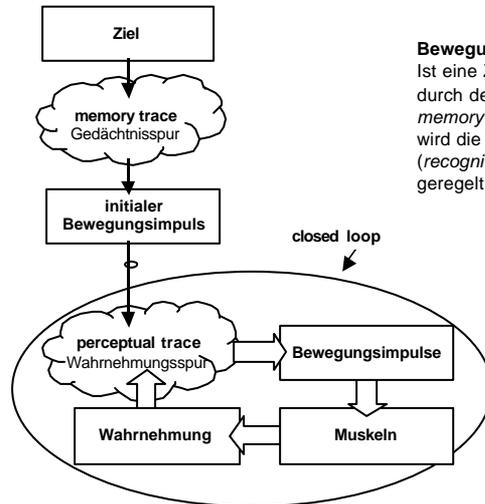


Während der Bewegungsausführung, findet eine ständige Rückmeldung über die momentane Position statt, um mögliche Abweichungen zu korrigieren.

Regelkreis nach Adams



Fertigkeitserwerb - closed-loop-theorie (Adams)

**Bewegungsausführung:**

Ist eine Zielbewegung auszuführen, wird diese durch den Aufruf (*recall*) einer geeigneten *memory trace* (Motorprogramm) initiiert. Danach wird die Bewegung durch die Erinnerung (*recognition*) der passenden *perceptual trace* geregelt.

Kritik an Closed-loop-Modellen

Schmidt kritisierte 1975 (S. 225 – 260, übersetzt von Kaul und Zimmermann, 1990) die closed-loop-Theorie des Lernens unter anderem in folgenden Punkten:

1. Es wird nicht berücksichtigt, dass Bewegungssequenzen auch ohne Hilfe von Feedback durchgeführt werden können, d.h. Bewegungen sind auch ohne Reafferenzen möglich.
2. Die Variabilität einer Reaktion, auf veränderte Situationen, bleibt außer Acht.
 - Das Closed-Loop-Modell sagt nichts darüber aus, wie Personen sich Fertigkeiten aneignen, die mit verschiedenen Reaktionen bei verschiedenen Bedingungen zu tun haben
3. Das Closed-Loop-Modell ist eigentlich response-chaining = Reaktionskette d.h. Feedback aus Bewegung 1 löst Bewegung 2 aus usw.
 - Sie ist auf einzelne, sich wiederholende Bewegungen beschränkt
 - Timing - 100ms-Feedback-Zeit: wie dann schnelle Bewegungen?
4. Regelgeleitetes Verhalten, Generalisierung - kann von Kettentheorie nicht erklärt werden

Konsequenz aus open/closed-loop – Kritik:

Hybrides Modell der Bewegungskontrolle von Schmidt:

- sowohl Steuerungs- als auch Regelprozesse beteiligt
- während der ersten 150 bis 200 ms *muß* open-loop-Kontrolle stattfinden
- ab 200 ms *kann* closed-loop-Kontrolle stattfinden
- für Bewegungskorrekturen müssen wenigstens 200 ms zur Verfügung stehen

Schematheorie (Schmidt)

Schmidt (1975) führte den Gedanken von Adams' Theorie weiter, da seiner Meinung nach die Theorie nicht auf alle Bewegungen übertragbar sei.

Seine Überlegungen fasste er in seiner **Schema-Theorie** zusammen, die zwei grundsätzliche Komponenten der Kontrolle beinhaltet.

Sie basiert zum einen auf dem Konzept des motorischen Programms, zum anderen auf dem des Modells der Bewegung (Gedächtnisspur und Wahrnehmungsspur) nach Adams.

- Menschen machen sich allgemeine Regeln (Schemata) zu eigen
- Menschen behalten nicht Informationen über frühere Bewegungen und deren Konsequenzen im Gedächtnis, sondern:
- Entwickeln ein Wahrnehmungsschemas (motorisches Schema), die die Relationen zwischen den verschiedenen Stimulusbedingungen, den möglichen Bewegungen und deren erwarteten Konsequenzen beschreiben.

Die eine Komponente ist die Annahme so genannter **generalisierter motorischer Programme (GMP)**, welches eine allgemeine Gedächtnisrepräsentation der Aktion darstellt.

Die Zweite Komponente ist die Annahme eines so genannten **Motor Response Schemas**.

GMP (Schmidt)**Die Theorie Generalisierter Motorischer Programme (GMP) von Schmidt****Grundannahme:**

geht davon aus, dass Bewegungen schon zentral vorprogrammiert sind und größtenteils ohne Feedback ausgeführt werden können; also eine „abstrakte Struktur, die im Gedächtnis verankert ist und durch Bewegungserfahrungen erzeugt wurde“ (Adams, 1989, S. 79).

Ein generalisiertes motorisches Programm steuert eine ganze Klasse von strukturell ähnlichen Bewegungen. Da die Anzahl der motorischen Programme von jedem Bewegungssegment zu groß wäre, um sie alle im Gedächtnis zu speichern, z. B. für das Werfen eines Balles.

Beispiel Tennis

Ein Beispiel aus dem Sport soll das Konzept der generalisierten Programme weiter verdeutlichen. Ein Tennisaufschlag kann mit großer oder kleiner Beschleunigung des Schlägerkopfes gespielt werden. Beide Bewegungen werden von einem generalisierten Bewegungsprogramm 'Tennisaufschlag' initiiert und kontrolliert. Ein Eingangsparameter dieses Programmes ist die Beschleunigung des Schlägerkopfes bzw. der notwendige Kraftaufwand. Je nachdem, ob der Parameter 'Beschleunigung des Schlägerkopfes' groß oder klein gewählt wird, ergibt sich eine große oder kleine Ballabfluggeschwindigkeit. Die Bewegung selbst zeigt letztlich die gleichen Strukturmerkmale bei schneller und langsamer Bewegungsausführung und kann daher auf ein generalisiertes Bewegungsprogramm zurückgeführt werden.

