

Lernen: Klassische Konditionierung II Operante Konditionierung I

Dr. Knut Drewing
Uni Gießen

Überblick über „Lernen“

3 Vorlesungen

- I. Klassische Konditionierung I:
Basisphänomene, Grenzen, Interpretation
- II. Klassische Konditionierung:
Rescorla-Wagner Modell
Operante Konditionierung:
Phänomen(e)
- III. Operante Konditionierung:
Interpretation, Grenzen

Überblick heute

- A. Klassische Konditionierung:
 - I. Rescorla-Wagner Modell
- B. Operante Konditionierung
 - I. Grundprinzip
 - II. Basisphänomene
 - III. Verstärkungspläne
 - IV. Komplexes Verhalten

Überblick heute

- A. Klassische Konditionierung:
 - I. Rescorla-Wagner Modell
- B. Operante Konditionierung
 - I. Grundprinzip
 - II. Basisphänomene
 - III. Verstärkungspläne
 - IV. Komplexes Verhalten

Grundprinzip - Wiederholung

Vorher:

- US (Futter) → UR (Speicheln)
NS (Ton) → keine/unspezifische R. (OR)

Erwerb (kontingente Paarung):

NS/CS (Ton) [kurz vor] – US (Futter)

Nachher:

- CS (Ton) → CR (Speicheln)
[US (Futter) → UR (Speicheln)]

CS: konditionierter Stimulus **US (UCS): unconditionierter St.**
CR: konditionierte Reaktion **UR (UCR): unconditionierte Rk.**
NS: neutraler Stimulus

Rescorla-Wagner Modell

Kamins Blocking - Wiederholung

Kamin, 1968

	STAGE 1 16 Durchgänge	STAGE 2 8 Durchgänge	STAGE 3
Experimental Group	Light → Shock	Light + Tone → Shock	Tone → No Conditioned Response
Control Group		Light + Tone → Shock	Tone → Conditioned Response

→ Licht-Schock-Kond. blockiert Ton-Schock-Kond.

→ Ton liefert keine neue Information zur Vorhersage des US
→ Rescorla-Wagner Modell

Rescorla-Wagner Modell

Grundannahmen I

Rescorla-Wagner Modell

Konditionierung: CS-US Assoziation
zB US Luftstoß, „CS“ Ton

Rescorla-Wagner Modell: Vorhersage der Veränderung des Assoziationsgrades je Durchgang

- 2 Basisfaktoren beim Konditionieren
 - Stärke/Intensität des US
 - Erwartete Intensität des US = besteh. Assoziation

→ *exzitatorische Konditionierung*
inhibitorische Konditionierung
keine Konditionierung

„Lernen findet nur statt, wenn der Betroffene überrascht wird“

Grundannahmen II

Rescorla-Wagner Modell

Zuwachs an *assoziativer Stärke* in jedem Lerndurchgang :

$$\Delta V = \alpha (\lambda - V_{\text{sum}})$$

V_{sum} = Stärke der US-Erwartung/CS-US Assoziation
 ΔV = Veränderung der Assoziationsstärke
 α = Lernrate
 λ = Stärke des US/ max. Assoziationsstärke

Beispiel: Akquisition

Rescorla-Wagner Modell

$$\Delta V = \alpha (\lambda - V_{\text{sum}})$$

Bsp.: US Luftstoß, „CS“ Ton

1. Konditionierungsdurchgang

$V_{\text{sum}} = 0$ „kein Luftstoß nach Ton erwartet“
 $\lambda = 100$ „Luftstoß der „Stärke 100“ erfolgt“
 $\alpha = 0.2$ „Lernrate“
 $\Delta V = 0.2 * (100-0) = 20$ „exzitatorische Kond.“

2. Konditionierungsdurchgang

$V_{\text{sum}} = 20$ „ $V_{\text{sum}} + \Delta V$ aus 1. Durchgang“
 $\lambda = 100$ „Luftstoß der „Stärke 100“ erfolgt“
 $\alpha = 0.2$ „Lernrate“
 $\Delta V = 0.2 * (100-20) = 16$ „exzitatorische Kond.“

Beispiel: Akquisition

Rescorla-Wagner Modell

$$\Delta V = \alpha (\lambda - V_{\text{sum}})$$

3. Konditionierungsdurchgang

$V_{\text{sum}} = 36$ „20 + 16“
 $\lambda = 100$ „Luftstoß der „Stärke 100“ erfolgt“
 $\alpha = 0.2$ „Lernrate“
 $\Delta V = 0.2 * (100-36) = 12.8$ „exzitatorische K.“

Empirische Überprüfung an CR

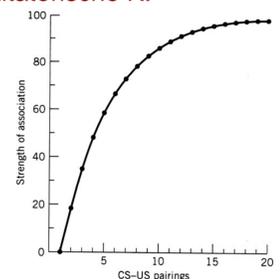


FIGURE 2.11 Growth of associative strength with repeated CS-US pairings, according to Rescorla-Wagner theory.

Beispiel: Extinktion

Rescorla-Wagner Modell

$$\Delta V = \alpha (\lambda - V_{\text{sum}})$$

1. Extinktionsdurchgang

$V_{\text{sum}} = 100$ „Akquisition komplett“
 $\lambda = 0$ „kein Luftstoß nach CS“
 $\alpha = 0.2$ „Lernrate“
 $\Delta V = 0.2 * (0-100) = -20$ „inhibitorische Kond.“

2. Extinktionsdurchgang

$V_{\text{sum}} = 80$ „ $V_{\text{sum}} + \Delta V$ aus 1. Durchgang“
 $\lambda = 0$ „kein Luftstoß nach CS“
 $\alpha = 0.2$ „Lernrate“
 $\Delta V = 0.2 * (0-100) = -20$ „inhibitorische Kond.“

$V_{\text{sum}} = 0$

Beispiel: Kamin's Blocking

Kamin, 1968

Rescorla-Wagner Modell

	STAGE 1 16 Durchgänge	STAGE 2 8 Durchgänge	STAGE 3
Experimental Group	Light → Shock	Light + Tone → Shock	Tone → No Conditioned Response
Control Group		Light + Tone → Shock	Tone → Conditioned Response

Beispiel: Kamins Blocking - Kontrollbedingung

Rescorla-Wagner Modell

$$\Delta V_i = \alpha_i (\lambda - V_{\text{sum}})$$

Bsp.: US E-Schock, „CS_T“ Ton, „CS_L“ Licht

1. Konditionierungsdurchgang

$$V_{\text{sum}} = 0 \quad \text{„kein Schock nach Ton oder Licht erwartet“}$$

$$\lambda = 100 \quad \text{„Luftstoß der „Stärke 100“ erfolgt“}$$

$$\alpha_{\text{Licht}} = \alpha_{\text{Ton}} = 0.2 \quad \text{„Lernrate Licht = Lernrate Ton“}$$

$$\Delta V_{\text{Licht}} = 0.2 * (100-0) = 20$$

$$\Delta V_{\text{Ton}} = 0.2 * (100-0) = 20$$

2. Konditionierungsdurchgang

$$V_{\text{sum}} = 40 \quad \text{„} V_L + \Delta V_L + V_T + \Delta V_T = 0 + 20 + 0 + 20 \text{“}$$

.....

Komplette Akquisition (hier)

$$V_{\text{sum}} = 100; \text{ davon } V_{\text{Licht}} = 50, V_{\text{Ton}} = 50$$

Beispiel: Kamin's Blocking – Experimentalbed.

Rescorla-Wagner Modell

	STAGE 1 16 Durchgänge	STAGE 2 8 Durchgänge	STAGE 3
Experimental Group	Light → Shock	Light + Tone → Shock	Tone → No Conditioned Response
Control Group		Light + Tone → Shock	Tone → Conditioned Response

1. Durchgang Phase 2

$$V_{\text{Ton}} = 0 \quad \text{„kein E-Schock nach Ton erwartet“}$$

$$V_{\text{Licht}} = \lambda = 100 \quad \text{„Komplette Akquisition“}$$

$$\alpha_{\text{Licht}} = \alpha_{\text{Ton}} = 0.2 \quad \text{„Lernrate Licht = Lernrate Ton“}$$

$$\Delta V_{\text{Licht}} = 0.2 * (100-100) = 0$$

$$\Delta V_{\text{Ton}} = 0.2 * (100-100) = 0$$

.....

→ V_{Ton} bleibt 0 „Blockierung, keine Konditionierung“

Beispiel: Konditionierter Inhibitor

Rescorla-Wagner Modell

Konditionierung

Kamin, 1968

a) Ton (CS+) - US (E-Schock)

b) Ton & Licht (CS-) - kein US

CS+ → CR

CS+ & CS- → keine CR

→ Licht ist konditionierter Inhibitor

Modellvorhersage bei Abschluss Akquisition

$$\lambda = 100$$

$$\text{Resultat } V_{\text{Ton}} = 100 \quad \text{„Schock nach Ton erwartet“}$$

$$\text{Resultat } V_{\text{Ton}} + V_{\text{Licht}} = 0 \quad \text{„kein Schock nach Kombination“}$$

$$\rightarrow V_{\text{Licht}} = -100 \quad \text{„konditionierter Inhibitor“}$$

Grundannahmen

Rescorla-Wagner Modell

Konditionierung: CS-US Assoziation

Rescorla-Wagner Modell: Vorhersage der Veränderung des Assoziationsgrades je Durchgang

• 2 Basisfaktoren beim Konditionieren

- Stärke/Intensität des US
- Erwartete Intensität des US

→ *exzitatorische Konditionierung*
inhibitorische Konditionierung
keine Konditionierung

„Lernen findet nur statt, wenn der Betroffene überrascht wird“

Problem: Stimuluspräexposition

Rescorla-Wagner Modell

	Präexpositionsgruppe	Kontrollgruppe
Phase I:	mehrfache Stimuluspräes.	---
Phase II: (Kondit.)	CS-US	CS-US
	↓	↓
	geringere Lernrate schwächere CR	„normale“ Lernrate „normale CR“

Reiss & Wagner, 1972

→ „latente Inhibition“

$$\text{Vgl. } \Delta V = \alpha (\lambda - V_{\text{sum}})$$

Effekte reiner CS-Manipulation nicht vorhergesagt.

→ „CS-Aufmerksamkeitsmodelle“

Rescorla-Wagner Modell

Rescorla-Wagner Modell

Probleme:

- CS- Effekte
- Assoziative Präferenz

+ Erklärt viele Ergebnisse auf der Basis einfachen (durchgangswisen) Lernens
+ Inspiration vieler Studien durch Modell

Überblick heute

- A. Klassische Konditionierung:
 - I. Rescorla-Wagner Modell
- B. Operante Konditionierung – „Phänomene“
 - I. Grundprinzip
 - II. Basisphänomene
 - III. Verstärkungspläne
 - IV. Komplexes Verhalten

Überblick

- I. Grundprinzip Operante Konditionierung
- II. Basisphänomene
- III. Verstärkungspläne
- IV. Komplexes Verhalten

Edward L. Thorndike (1874-1949)

I. Grundprinzip OK

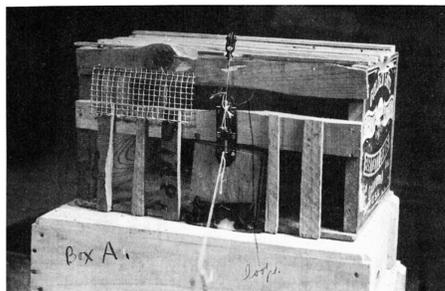


FIGURE 1.5 One of the four puzzle boxes used by Thorndike in his doctoral thesis.

- Untersuchung nicht-reflexiven Verhaltens
- Katzen im Problemkäfig
- Messung der Zeit bis zum Entkommen
- Futter & Freiheit



Thorndike, 1898

Beobachtungen

I. Grundprinzip OK

AV: Latenz der Entkommensreaktion

Zu Beginn:
→ zufälliger Erfolg
→ Versuch und Irrtum

Latenz nimmt graduell ab
→ keine Einsicht

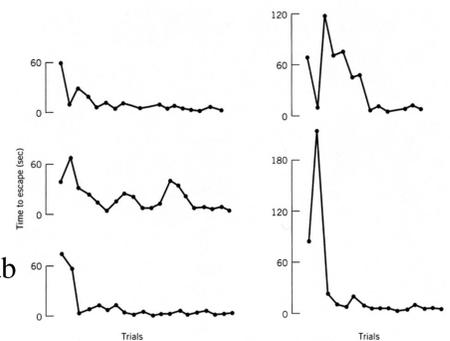


FIGURE 1.6 Learning curves for five cats in Thorndike's puzzle boxes. Source: From *Psychological Monographs*, Volume 2 (Whole No. 8) by E. L. Thorndike. *Animal intelligence: An experimental study of the associative processes in animals*. Copyright © 1898 by The Macmillan Company. In the Public Domain.

Gradueller Aufbau der Assoziation Käfig - „richtige“ Reakt.

„Instrumentelles Konditionieren“

Thorndike, 1898

Gesetz des Effektes (Thorndike)

I. Grundprinzip OK

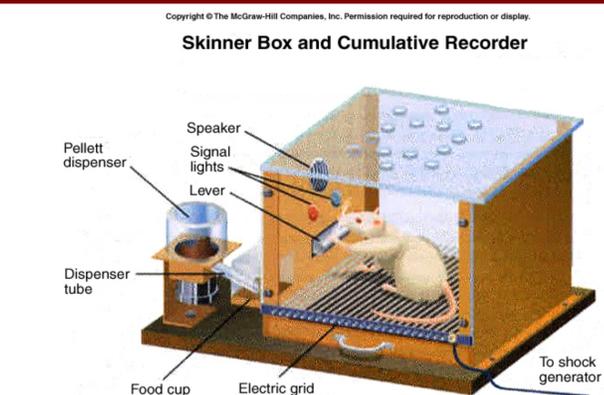
“Von verschiedenen Reaktionen auf dieselbe Situation werden jene, die von einer Befriedigung des Willens des Tieres begleitet oder gefolgt werden, mit der Situation stärker verbunden, so dass sie bei einem erneuten Auftreten der Situation mit größerer Wahrscheinlichkeit wieder gezeigt werden. Jene, die von einer Frustration des Tieres begleitet oder gefolgt werden, führen zu einer Schwächung der Assoziation mit der Situation, so dass sie vermutlich mit geringerer Wahrscheinlichkeit wieder auftreten. Je größer die Befriedigung oder Frustration desto intensiver die Stärkung oder Schwächung der Verbindung.”

- Lernen einer S-R-Assoziation (zB Käfig – Hebel drück.)
- Automatismus

Gesetz der Effekts: Verstärkung festigt S-R-Assoziation
(Gesetz der Übung: Übung festigt S-R-Assoziation)

Burrhus F. Skinner (1904 – 1990)

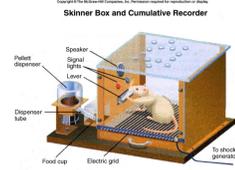
I. Grundprinzip OK



Skinner's „freies operantes Verfahren“

I. Grundprinzip OK

- Untersucht Verhalten, das zu jeder Zeit mehrmals gezeigt werden kann (meist Picken, Hebeldrücken)
- AV: Reaktionsrate (z.B. Anzahl Hebeldrücken)
- viele Daten in kurzer Zeit
- „freies operantes Verhalten“
- zufälliges „spontanes“ Verhalten – gezeigt auch ohne Stimuluskontrolle
[vs *respondentes Verhalten* bei KK]
- Verhalten, das eine Konsequenz herbeiführt



Dreifachkontingenz

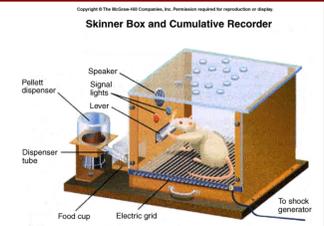
I. Grundprinzip OK

Diskriminativer Hinweisreiz S_D
z.B. Situation, Signallicht

Reaktion R
z.B. Hebeldrücken

Stimulus/Verstärker V
z.B. Futter

(Genau) wenn S_D dann (R-> V)



Skinner's Deskriptiver Behaviorismus

I. Grundprinzip OK

→ „Radikal-behavioristisch“, d.h. keine Annahmen über Assoziationen (da nicht beobachtbar)
→ *Beschreibung wie Verhalten (sw-keit) durch Stimulusbedingungen und Verstärkung kontrolliert wird*

Lernen: Veränderung der Auftretensw-keit von Verhalten
Verstärker: erhöhen W-keit eines vorherigen Verhaltens
→ Lernen

Operante/Instrumentelle Konditionierung: Prozess, in dem sich die W-keit eines Verhaltens in einer Situation (definiert durch diskriminative Stimuli) S_D durch Verstärkung erhöht

! Versuch die Vielfalt „willkürlichen“ Verhaltens auf operante Konditionierung (=Verst. zufälligen Verhaltens) zurückzuführen !

Skinner (1938, 1950)

Überblick

- I. Grundprinzip Operante Konditionierung
- II. **Basisphänomene**
- III. Verstärkungspläne
- IV. Komplexes Verhalten

Basisphänomene

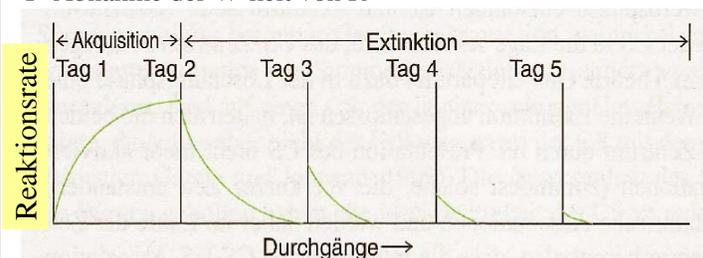
II. Basisphänomene

Erwerb (Akquisition): Verhalten R → Verstärkung V, wenn S_D
(Picken → Futter, wenn Licht leuchtet)

→ Zunahme der W-keit von R, wenn S_D

Löschung (Extinktion): R führt nicht mehr zu V

→ Abnahme der W-keit von R



Spontanerholung: Nach Löschung & Verstreichen von Zeit tritt R wieder auf

Generalisierung/Diskrimination

II. Basisphänomene

Generalisierung: Auch ein dem S_D (diskriminativer Hinweisreiz) ähnlicher Reiz kann die Rate des Verhaltens R erhöhen

Diskriminationslernen: Es kann gelernt werden, zwischen ähnlichen diskriminativen Reizen zu unterscheiden

Mehr in 3. Stunde

Sekundäre (konditionierte) Verstärker

II. Basisphänomene

- **Primärer Verstärker:** Reiz, der ohne vorherige Lernvorgänge verstärkend wirkt (zB Futter)
- **Sekundärer Verstärker:** ursprünglich neutraler Reiz, der die Fähigkeit Verhalten zu verstärken erworben hat - aufgrund der Paarung mit primären Verstärker
zB: *mehrmalige Paarung Klick → Futter* (Skinner, 1938)
→ *Klick erhöht W-keit vorhergehenden Verhaltens*
- **Generalisierter Verstärker:** ursprünglich neutraler Reiz, der mit mehreren primären Verstärkern assoziiert (zB Geld)



Überblick

- I. Grundprinzip Operante Konditionierung
- II. Basisphänomene
- III. Verstärkungspläne
- IV. Komplexes Verhalten

Kontinuierliche & intermittierende Verstärkung

III. Verstärkungspläne

- **Kontinuierliche Verstärkung (CRF = continuous reinforcement):** Jede Reaktion wird verstärkt „Immer-Verstärkung“
- **Intermittierende Verstärkung:** „Nur manchmal wird verstärkt“
→ Verstärkungspläne
→ Die 4 einfachen Verstärkungspläne

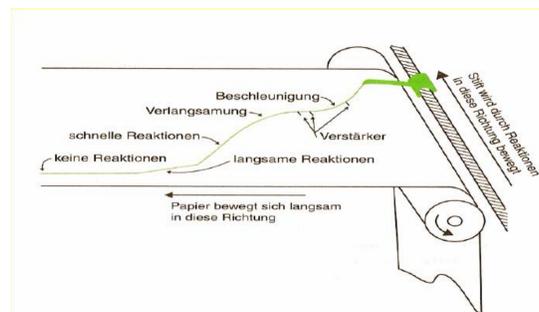
Ferster & Skinner, 1957

		Time	Responses
Fixed	Fixed Interval	Fixed Interval	Fixed Ratio
	Variable Interval	Variable Interval	Variable Ratio
		Time	Responses
Variable	Fixed Interval	Fixed Interval	Fixed Ratio
	Variable Interval	Variable Interval	Variable Ratio

- **Quotenplan (ratio):** Jede nte (2., 5., 7. ...) Reaktion wird verstärkt
- **Intervallplan:** Erste Reaktion nach Ablauf von Zeitintervall gemessen ab letzter Verstärkung wird verstärkt
- **Feste Quote/-s Intervall:** n bzw. Intervall immer gleich
- **Variable Quote/-s Intervall:** n bzw. Intervall schwankt von Durchgang zu Durchgang um Mittelwert

Gerät für kumulative Aufzeichnungen

III. Verstärkungspläne



Skinner, 1938

Abbildung 7.1: Eine vereinfachte Zeichnung eines Geräts für kumulative Aufzeichnungen und die von ihm produzierte Kurve.

Typische Ergebnisse der 4 Pläne

III. Verstärkungspläne



Abbildung 7.2: Idealierte kumulative Aufzeichnungen, die die typischen Verhaltensmuster zeigen, die von den vier einfachen Verstärkungsplänen produziert werden.

- Nachverstärkungspause bei festen Plänen
- Anzahl Reaktionen f. Quote > Intervall

Typische Ergebnisse der 4 Pläne

III. Verstärkungspläne

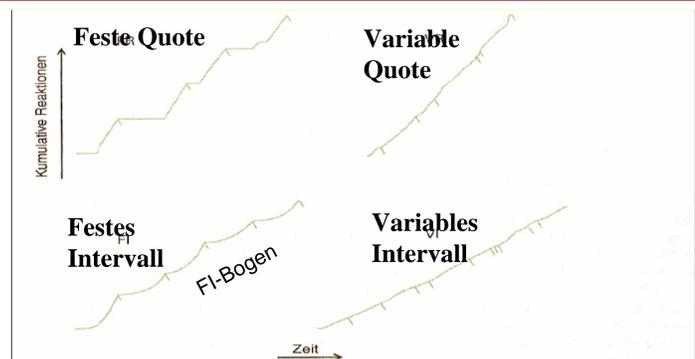


Abbildung 7.2: Idealierte kumulative Aufzeichnungen, die die typischen Verhaltensmuster zeigen, die von den vier einfachen Verstärkungsplänen produziert werden.

- Nachverstärkungspause bei festen Plänen
- Anzahl Reaktionen f. Quote > Intervall
- Hohe Lösungsresistenz

Hohe Lösungsresistenz

III. Verstärkungspläne

- Löschung (& Erwerb) bei intermittierender Verstärkung schwerer als bei kontinuierlicher Verstärkung
- Je weniger Verstärkung desto lösungsresistenter

„partieller Verstärkungseffekt“

Früher: „Humphrey's Paradox“
widerspricht Kontiguitätsprinzip (da weniger R-V Kopplung)

→ **Diskriminationshypothese**: Erkennen des Kontingenwechsels dauert länger

Baum, 1993

Nachverstärkungspause – Feste Quote

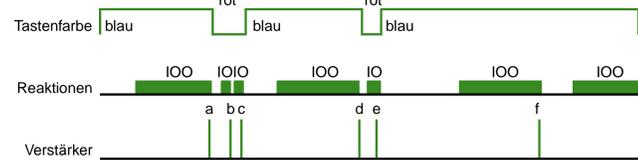
III. Verstärkungspläne

Nachverstärkungspause nimmt mit Quote zu (Powell, 1969)



„Sättigung“ / „Ermüdung“ / „Verstärker-Distanz“ ???

- Exp. S_D = Tastenfarbe, R = Hebel drücken, V = Futter
- Taste blau → FR-100 („jede 100. Reaktion verstärkt“)
- Taste rot → FR-10 („jede 10. Reaktion verstärkt“)
- Pause länger vor oder nach FR-100 ???



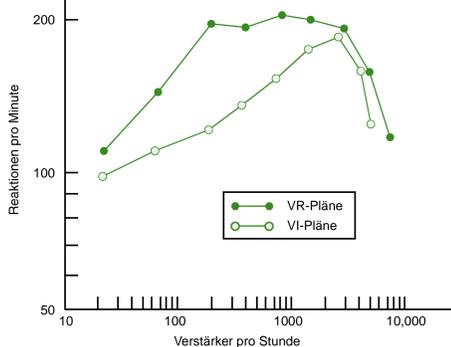
→ **Verstärker-Distanz Hypothese/ antizipatorisch**

Crossman, 1968
Mintz, Mourer & Gofseyeff, 1967

Mehr Reaktionen bei VR als bei VI-Plänen

III. Verstärkungspläne

- Tauben; Verstärkung nach VR-n oder VI-n Plänen (viele Stufen von n)
- Reaktionszahl in Abhängigkeit von tatsächlicher Verstärkung/h



→ **Durchgangswises Lernen oder Lernen langfristiger Zusammenhänge?**

Baum, 1993

Conclusio Verstärkungspläne

III. Verstärkungspläne

Wie beeinflussen versch. R-V Kontingenzen die Wahrscheinlichkeit des Verhaltens R?

- Insgesamt „sinnvoll“
- Genaue theoretische Einordnung der Einzelphänomene jedoch oft noch kontrovers

Überblick

- I. Grundprinzip Operante Konditionierung
- II. Basisphänomene
- III. Verstärkungspläne
- IV. **Komplexes Verhalten**

Komplexes Verhalten

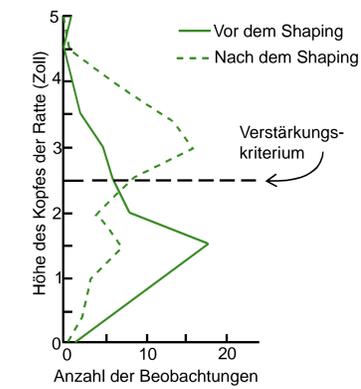
IV. Komplexes Verhalten



„Verhalten, das unter normalen Umständen mit minimaler Wahrscheinlichkeit zufällig gezeigt“

Shaping = sukzessive Annäherung

IV. Komplexes Verhalten

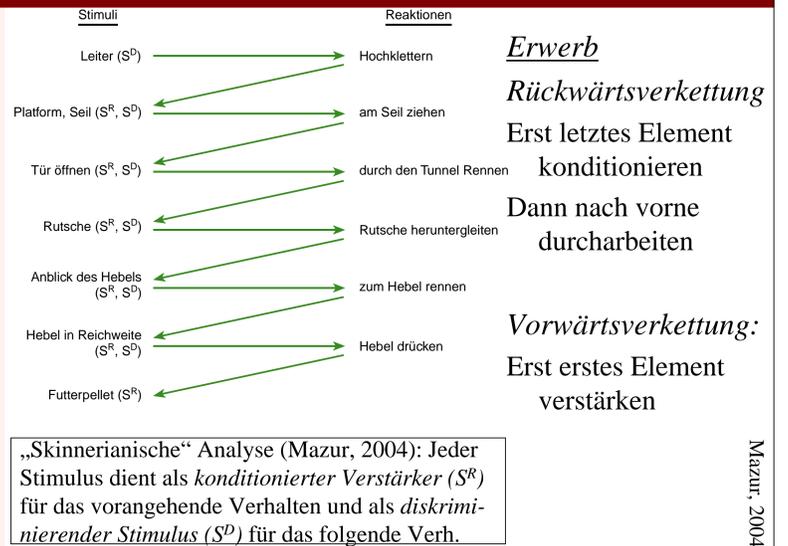


Hypothetische Änderung der Verhaltensverteilung (Mazur, 2004; Rachlin, 1970)

- Verhalten ist variabel
- Verstärkung von Verhalten, das sich dem Zielverhalten annähert
- Sukzessive Anpassung des Verstärkungskriteriums (VK)
 - z.B. Drücken eines Hebels in 4 Zoll Höhe
 - VK 1: Kopf heben
 - VK 2: Kopf und Vorderbeine 1 Zoll heben
 - VK 3: VK 2: Kopf und Vorderbeine 2 Zoll heben
 - ...

Chaining = Verhaltensketten

IV. Komplexes Verhalten



Mazur, 2004

Skinner

IV. Komplexes Verhalten

Skinner: Shaping & Chaining (Verkettung) erklären komplexes Verhalten

Heute: Effiziente Methoden der Verhaltensformung (zB Therapie, Dressur)

Überblick Phänomene OK

- I. Grundprinzip Operante Konditionierung
- II. Basisphänomene
- III. Verstärkungspläne
- IV. Komplexes Verhalten

Conclusio

Operante Konditionierung:

Prozess, in dem sich die W-keit eines (spontan emittierten) zufälligen Verhaltens R in einer Situation (definiert durch diskriminative Hinweisreize S_D) durch Verstärkung V erhöht

Skinner's Verhaltensanalyse: Veränderung von R ggb. $S_D \rightarrow (R \rightarrow V)$

- Beschreibung vieler Phänomene:
 - Akquisition, Extinktion etc.
 - Verstärkungspläne (\rightarrow R-V Kontingenzen)
 - Bestimmte Typen komplexen Verhaltens

- Einige dieser Phänomene legen über Beschreibung hinausgehende Interpretationen nahe

Literatur

Anderson, J.R. (2000). Learning and Memory (2nd edition). Hoboken: Wiley & Sons.

Mazur, J.E. (2004). Lernen und Gedächtnis (translation of 5th Edition). Pearson: München.