

Vorlesung Lernen und Gedächtnis
Modul A2

Klassisches Konditionieren II

Theorien des Konditionierens

Prof. Dr. Thomas Goschke

Überblick

Grundprinzip des Klassischen Konditionieren

Varianten: Lidschlagkonditionierung u. Furchtkonditionierung

Grundlegende Phänomene

- Akquisition, Extinktion, Spontanerholung
- Disinhibition, Rekonditionierung, Renewal, Reinstatement
- Effekte der zeitlichen CS-US-Relation
- Generalisierung und Diskrimination

Was wird gelernt?

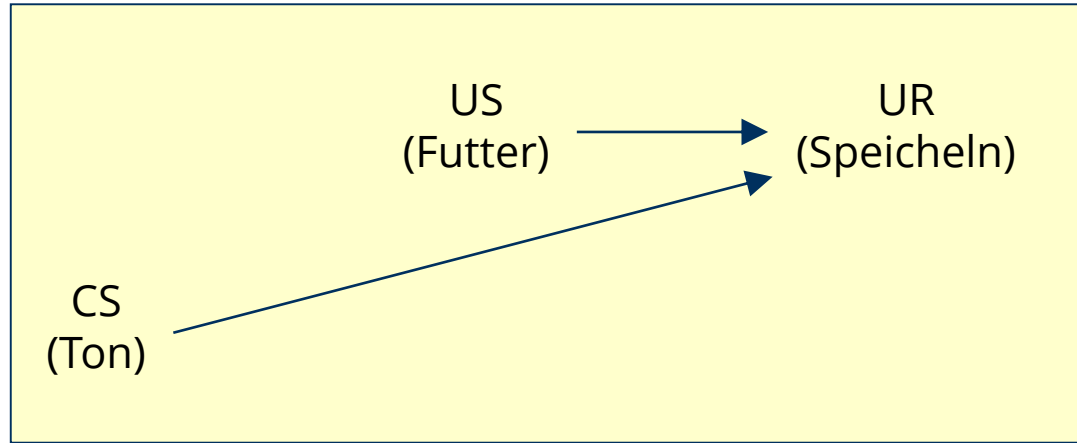
- Was ist die konditionierte Reaktion?
- **S-R Lernen oder S-S Lernen?**
- Kontiguität oder Kontingenz?
- Konditionierte Inhibition
- Blockierung und konfigurales Lernen

Das Rescorla-Wagner-Modell

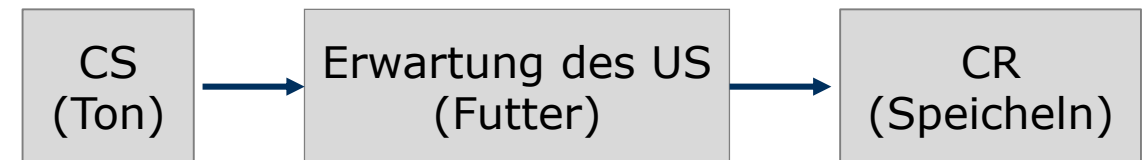
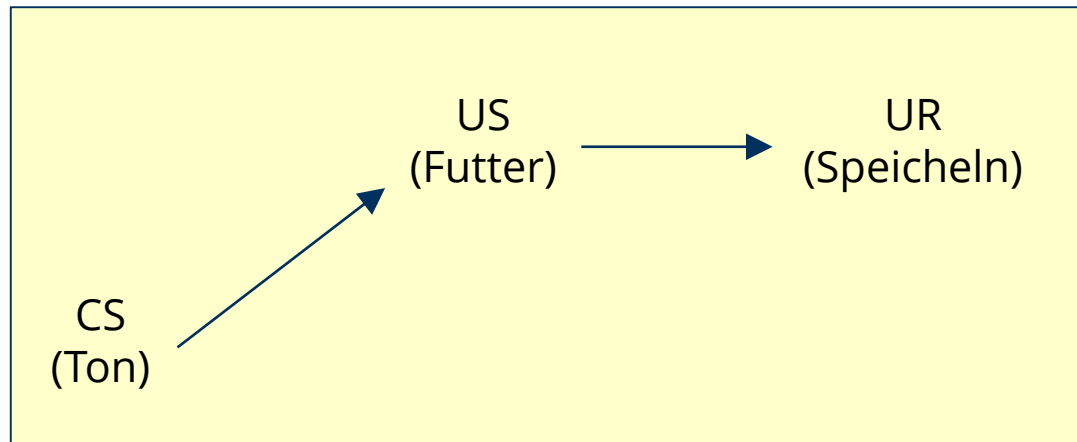
Biologische Einschränkungen

Was wird beim klassischen Konditionieren gelernt?

S-R-Lernen



S-S-Lernen



Was wird beim Klassischen Konditionieren gelernt?

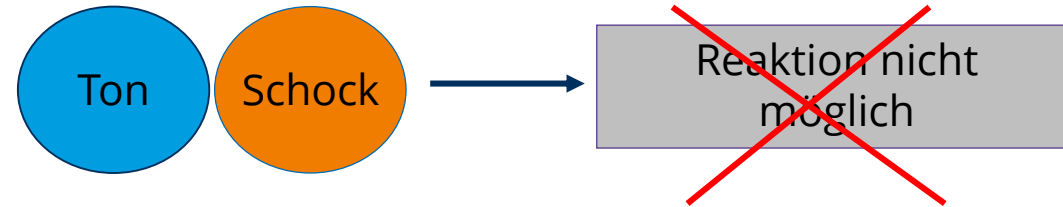
Vier experimentelle Paradigmen

- Response-Prevention
- Sensorische Präkonditionierung
- US Devaluation
- Konditionierung zweiter Ordnung

1. Response-Prevention Paradigm

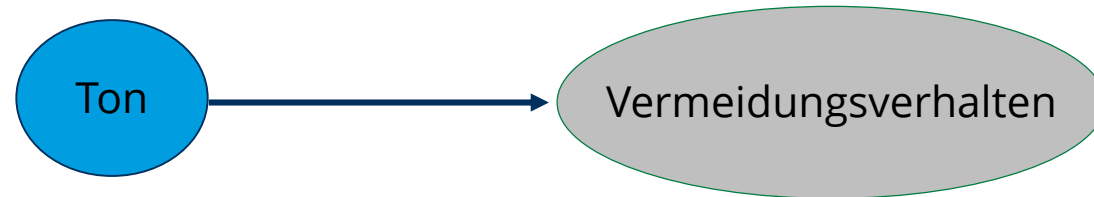
1. Lernphase:

Paarung des CS mit US, aber Verhinderung der UR (z.B. durch temporäre Lähmung der Muskulatur)



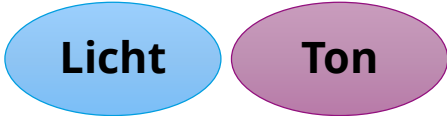
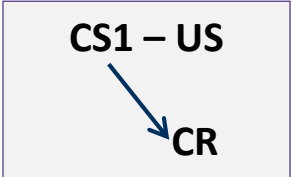
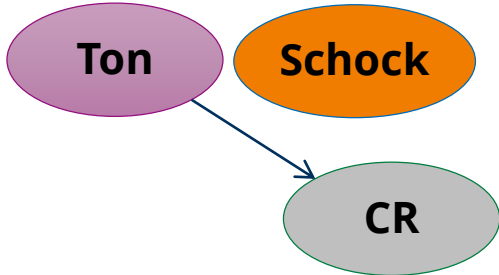
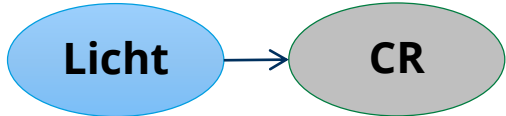
2. Testphase:

Nach Abklingen der Lähmung



- *Spricht für S-S Lernen, da CS nie mit UR gemeinsam auftrat*
- *Aber: vielleicht wurde zwar die motorische Reaktion blockiert, aber der CS nach wie vor mit einer zentralnervösen Repräsentation der Reaktion assoziiert*

2. Sensorische Präkonditionierung

1. Präkonditionierung	CS2 – CS1	
2. Konditionierung		
3. Testphase	CS2 → CR	

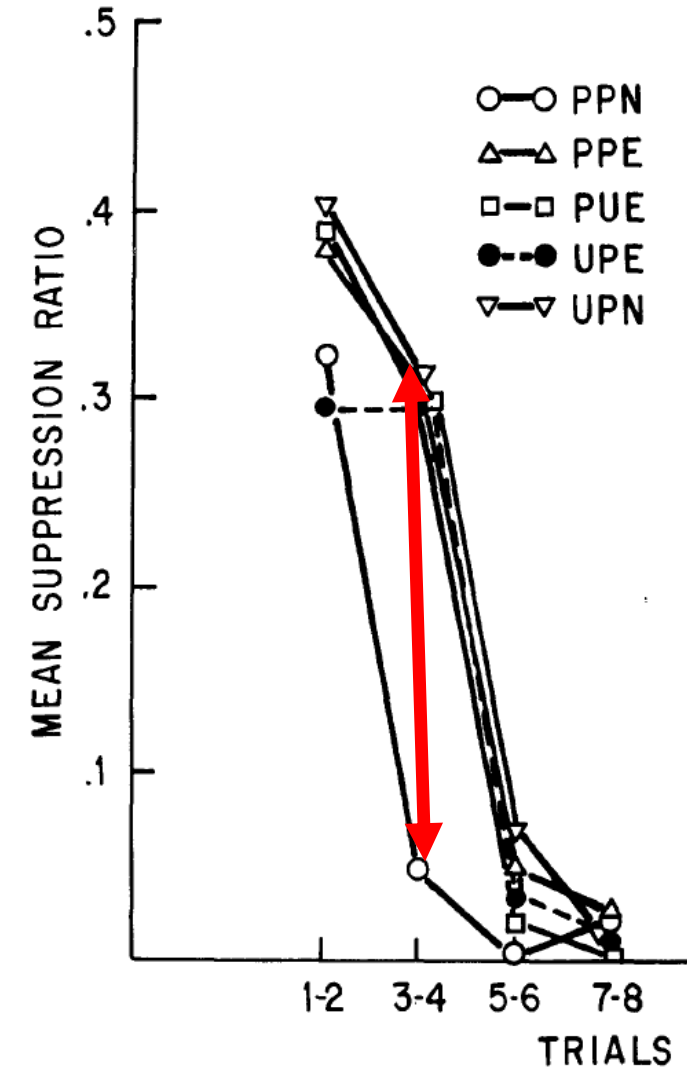
- *Spricht für S-S Lernen (da CS2 nie mit UR gepaart wurde)*
- *CS2 löst Antizipation des CS1 aus, der wiederum Antizipation des US auslöst*

2. Sensorische Präkonditionierung

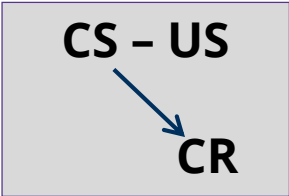
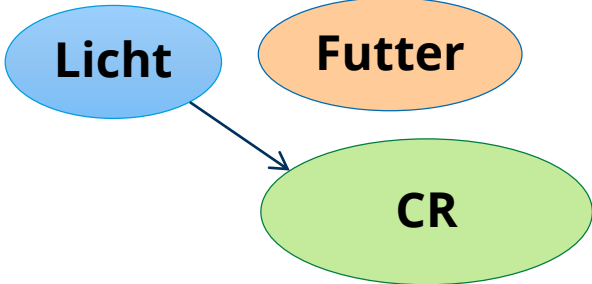
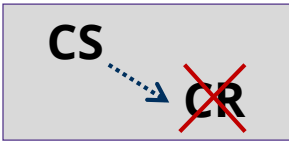
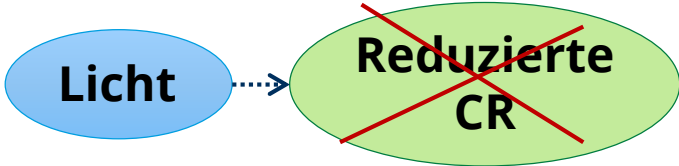
Group	Phase1	Phase2	Test
PPN	Licht-Ton	Ton-Schock	Licht-Schock
UPN	Ungepaart	Ton-Schock	Licht-Schock

- Sensorische Präkonditionierung (Licht-Ton) → schnellerer Erwerb der Licht-Schock Assoziation
- Spricht für S-S Lernen, da CS2 (Licht) nie mit der UR gepaart wurde
- CS2 (Licht) löst Antizipation des CS1 (Ton) aus, der wiederum Antizipation des US (Schock) auslöst

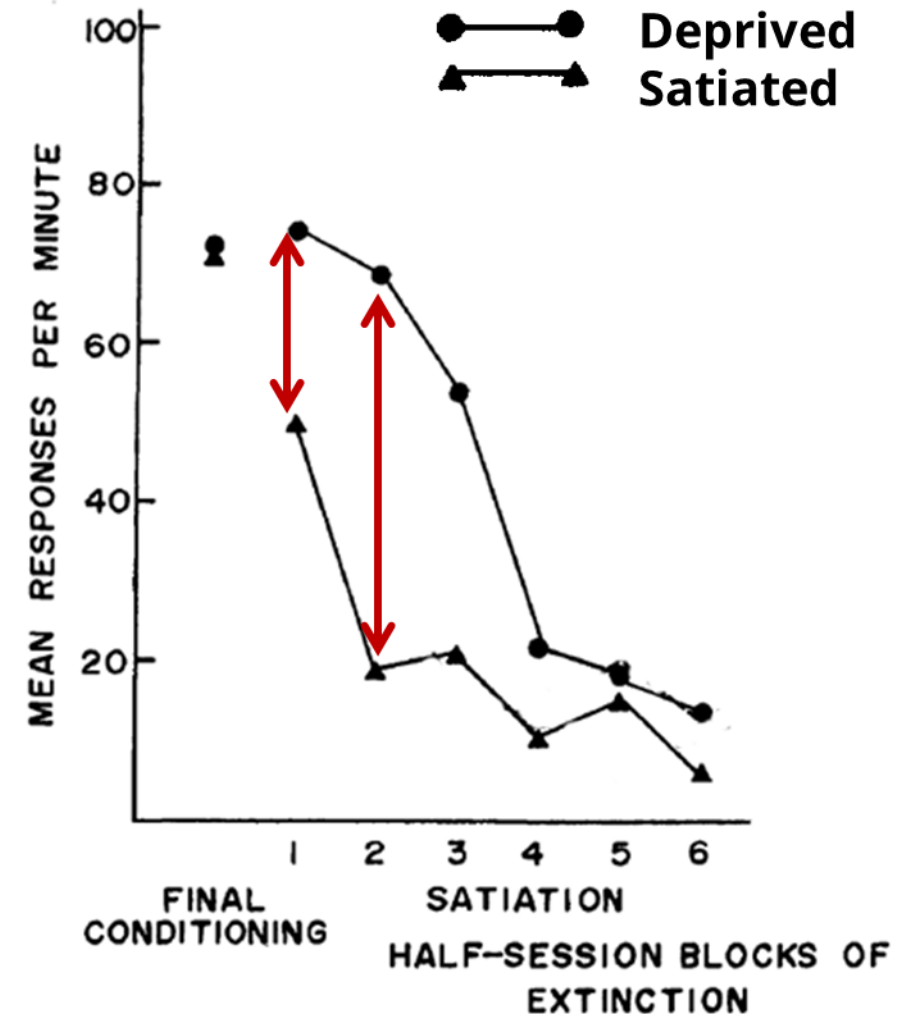
Akquisition der Licht-Schock-Assoziation in der Testphase



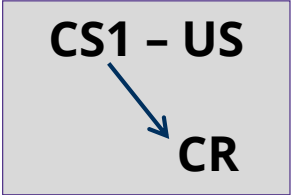
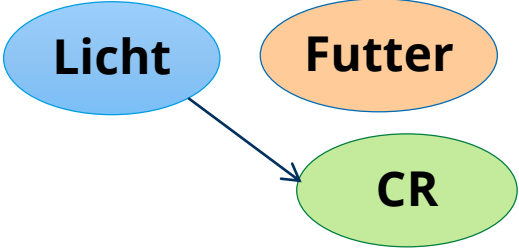
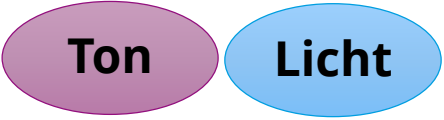
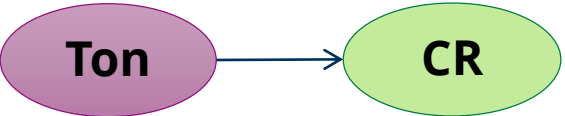
3. US-Devaluations-Paradigma

1. Konditionierung		
2. US-Devaluation		Tiere werden gesättigt
3. Testphase		

**Nach US-Devaluation ist die CR deutlich reduziert
→ spricht für S-S Lernen**



4. Konditionierung zweiter Ordnung

Phase 1: Konditionierung 1. Ordnung		
Phase 2: Konditionierung 2. Ordnung		
Phase 3: Test		

Dass der CS2 die CR auslöst, ohne jemals mit der CR gepaart worden zu sein, spricht für S-S-Lernen
CS2 → Erwartung des CS1 → Erwartung des US → CR

Zur Bedeutung der Konditionierung höherer Ordnung

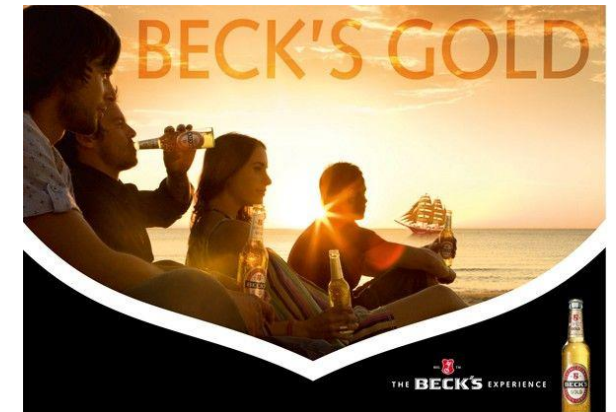
Evaluative Konditionierung

Durch Konditionierung höherer Ordnung können neutrale Reize zu konditionierten Reizen werden, ohne direkt mit einem US gepaart werden zu müssen

Evaluative Konditionierung

- CS 1. Ordnung: z.B. positive oder negative Wörter; emotionale Bilder
- CS 2. Ordnung: neutraler Reiz, der mit dem CS1 gepaart wird
- CR: ursprünglich neutrale Reize werden nach Konditionierung 2. Ordnung positiver bzw. negativer bewertet
- Dies kann auch dann der Fall sein, wenn Probanden sich nicht bewusst erinnern, dass neutrale Reize mit emotionalen Reizen gepaart wurden

Beliebtes Prinzip in der Werbung



Drei Paradigmen und die erworbenen Assoziationen

Paradigma	Phase 1	Phase 1 2	CS1--Assoziation	CS2--Assoziation
Standard	--	CS1--US	S--S (zu US)	--
Sensorisches Vorkonditionieren	CS2--CS1	CS1--US	S--S (zu US)	S--S (zu CS1)
Konditionieren höherer Ordnung	CS1--US	CS2--CS1	S--S (zu US)	S--R oder S--S (zu CR oder CS1)

Was wird beim Klassischen Konditionieren gelernt?

Schlussfolgerungen

Evidenz spricht überwiegend dafür, dass S-S-Assoziationen gelernt werden, die Lebewesen befähigen, das Auftreten eines US aufgrund des CS vorherzusagen

Das schließt nicht aus, dass unter bestimmten Bedingungen (z.B. durch sehr häufige Wiederholung) auch S-R-Assoziationen erworben werden können → Bildung von Gewohnheiten („habits“)

Reiz- und reaktionsbezogene Aspekte von Ereignissen „konkurrieren“ darum, mit neutralen Reizen assoziiert zu werden

Welche Assoziation gelernt wird, hängt u.a. davon welcher Aspekt (S oder R) in der Lernsituation salienter ist

US-Devaluation ist Methode, mit der S-S und S-R-Lernen differenziert werden können

Überblick

Grundprinzip des Klassischen Konditionieren

Varianten: Lidschlagkonditionierung u. Furchtkonditionierung

Grundlegende Phänomene

- Akquisition, Extinktion, Spontanerholung
- Disinhibition, Rekonditionierung, Renewal, Reinstatement
- Effekte der zeitlichen CS-US-Relation
- Generalisierung und Diskrimination

Was wird gelernt

- Was ist die konditionierte Reaktion?
- S-R Lernen oder S-S Lernen?
- **Kontiguität oder Kontingenz?**
- Konditionierte Inhibition
- Blockierungseffekt

Das Rescorla-Wagner-Modell

Probleme für das Modell

- Latente Inhibition
- Konfigurales Lernen

Biologische Einschränkungen

Kontiguität vs. Kontingenzenz

Kontiguität

- Ereignisse werden assoziiert, wenn sie in raum-zeitlicher Nähe auftreten
- Evidenz: Konditionierung ist oft bei kurzem CS-US-Intervall optimal
- Aber: mitunter findet Konditionierung auch über sehr lange CS-US-Intervalle statt (z.B. Geschmacksaversion)

Kontingenzenz

- Zwei Ereignisse werden assoziiert, wenn das eine das andere Ereignis vorhersagt
- Raum-zeitliche Nähe ist nicht hinreichend für Konditionierung
- Entscheidend ist, ob der CS ein valider *Prädiktor* des US ist

Kontiguität (raumzeitliche Nähe von CS und US)

oder

Kontingenzenz (Vorhersagekraft des CS)?

Kontiguität oder Kontingenz?

Das Experiment von Rescorla (1968)

Ratten wurden zunächst trainiert, Hebel zu drücken, um Futter zu bekommen

Danach klassische Konditionierung

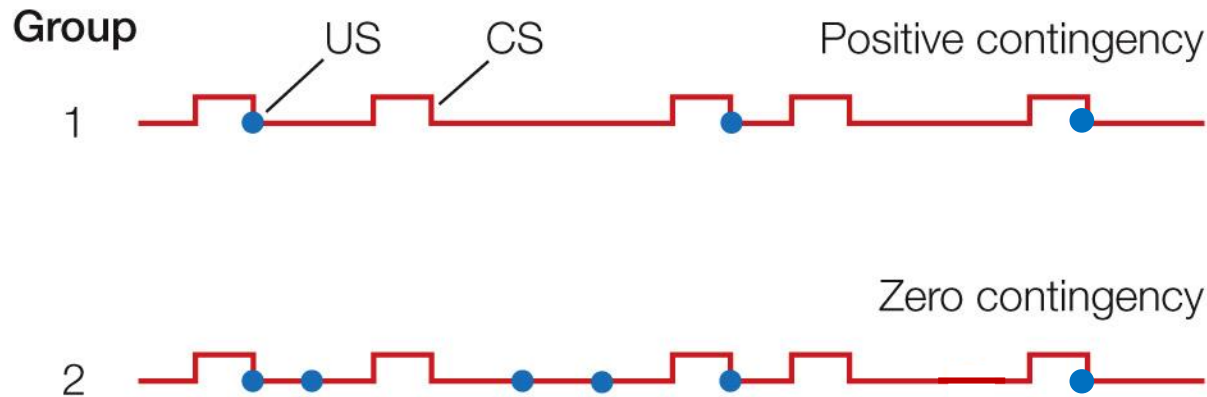
CS = 2-minütiger Ton

US = Elektroschock

CR = Reaktionssuppression während des Tons

Unabhängige Variablen:

- CS-US-Kontiguität: $P(US | CS)$ = Wahrscheinlichkeit des Schocks während des Tons
- US-Basisrate: $P(US | \neg CS)$ = Wahrscheinlichkeit des Schocks in Abwesenheit des Tons
- CS-US-Kontingenz: $P(US | CS) - P(US | \neg CS)$



$$P(US | CS) > P(US | \neg CS)$$

Ton sagt Schock vorher

$$P(US | CS) = P(US | \neg CS)$$

Ton trägt keine Information über Auftreten des Schocks

Das Experiment von Rescorla (1968)

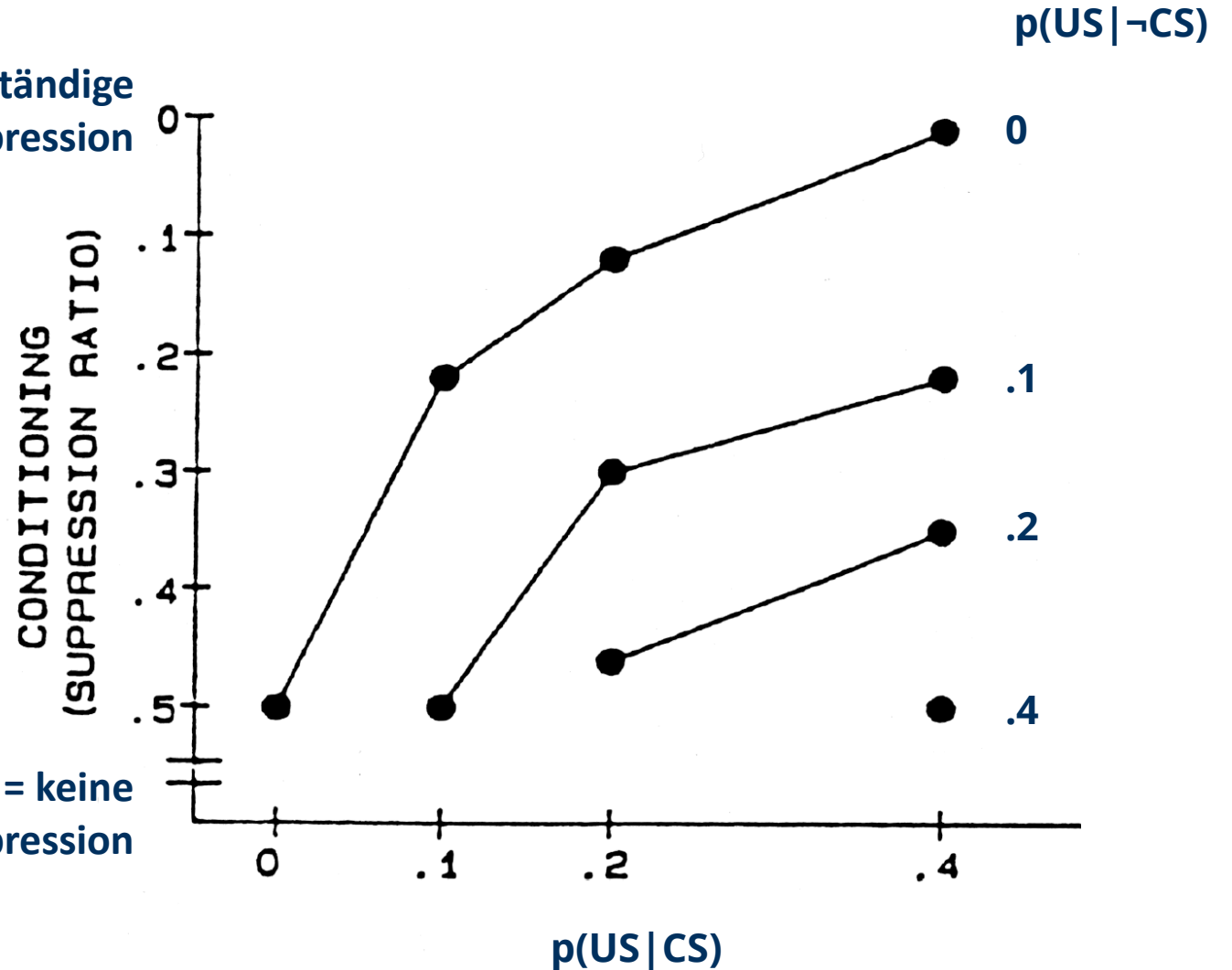
Versuchsdesign

		p(US CS)			
		0	.1	.2	.4
p(US ¬CS)	0	0	.1	.2	.4
	.1		0	.1	.3
	.2			0	.2
	.4				0

[In jeder Zelle steht die Kontingenz
= $p(\text{US}|\text{CS}) - p(\text{US}|\neg\text{CS})$]

Vollständige
Suppression

0.5 = keine
Suppression



Kontiguität oder Kontingenz?

Zusammenfassung der Ergebnisse von Rescorla (1968)

Erhöhung der Kontiguität hatte keinen Einfluss auf das Lernen, wenn die US-Basisrate im gleichen Maß erhöht wurde → CS vermittelte keine Information über das Auftreten des US

Bei gegebener Kontiguität führte jede Verringerung der Basisrate (= erhöhte Kontingenz) zu einer stärkeren Konditionierung

Das Ausmaß der Konditionierung hängt davon ab, wie gut der CS den US **vorhersagt**

Klassisches Konditionieren kann als eine Form statistischer Inferenz betrachtet werden

Überblick

Grundprinzip des Klassischen Konditionieren

Varianten: Lidschlagkonditionierung u. Furchtkonditionierung

Grundlegende Phänomene

- Akquisition, Extinktion, Spontanerholung
- Disinhibition, Rekonditionierung, Renewal, Reinstatement
- Effekte der zeitlichen CS-US-Relation
- Generalisierung und Diskrimination

Was wird gelernt

- Was ist die konditionierte Reaktion?
- S-R Lernen oder S-S Lernen?
- Kontiguität oder Kontingenz?
- **Konditionierte Inhibition**
- Blockierungseffekt

Das Rescorla-Wagner-Modell

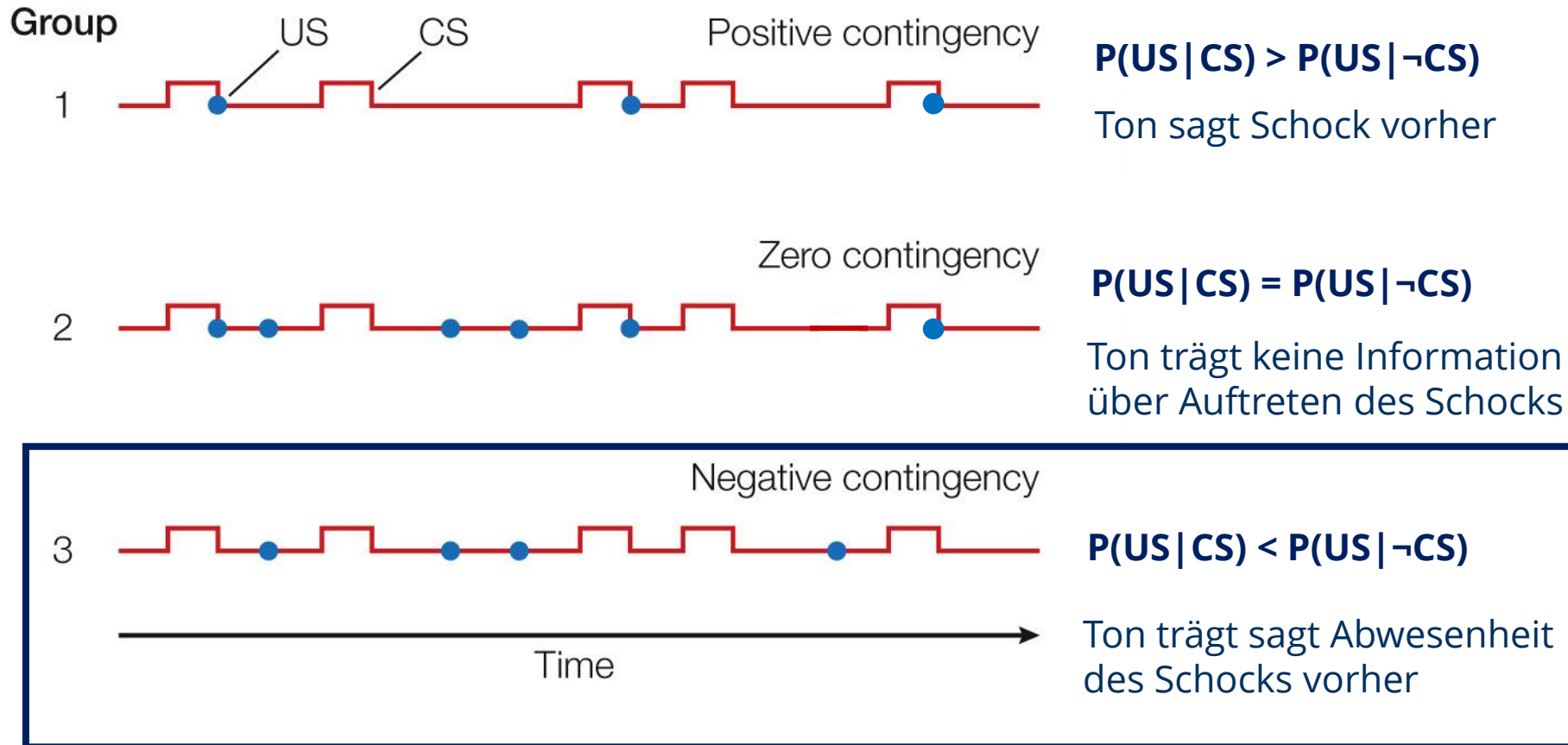
Probleme für das Modell

- Latente Inhibition
- Konfigurales Lernen

Biologische Einschränkungen

Kontiguität oder Kontingenz?

Das Experiment von Rescorla (1968)



Konditionierte Inhibition

Was passiert, wenn der US nie zusammen mit dem CS auftritt (Kontiguität = 0), aber die US-Basisrate hoch ist?

	Schock	¬Schock	
Ton	0	8	8
¬Ton	6	2	8
	6	10	

Kontiguität: $p(\text{US} | \text{CS}) = 0$

Kontingenz: $p(\text{US} | \text{CS}) - p(\text{US} | \neg \text{CS}) = 0 - 6/8 = -.75$

- *Negative* CS-US Relation wird gelernt
- CR wird seltener oder schwächer gezeigt als es ansonsten der Fall wäre
- CS wird zum Signal dafür, dass kein US folgt: „*conditioned inhibitor*“

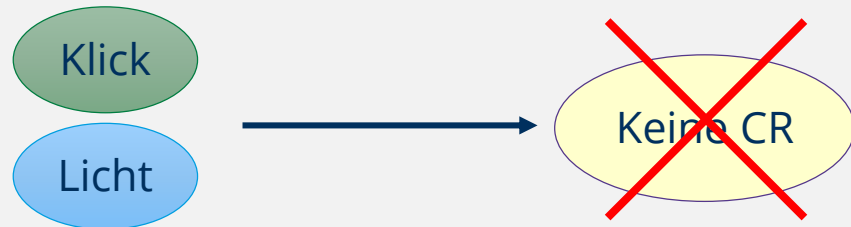
Konditionierte Inhibition: Verzögerungstest und Summationstest

Training

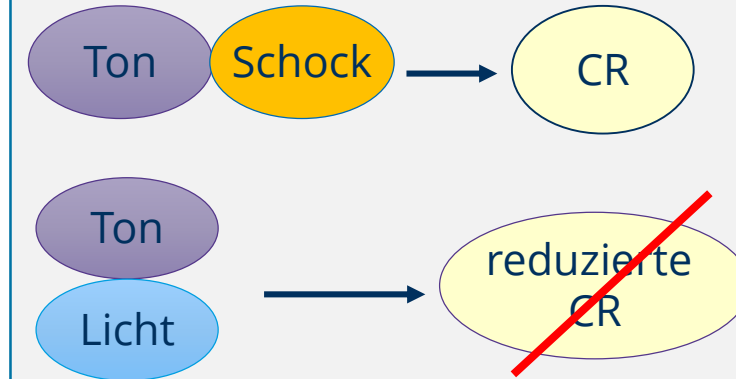
Excitor allein



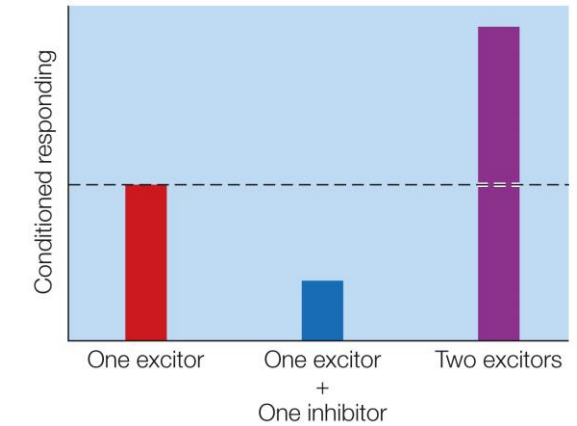
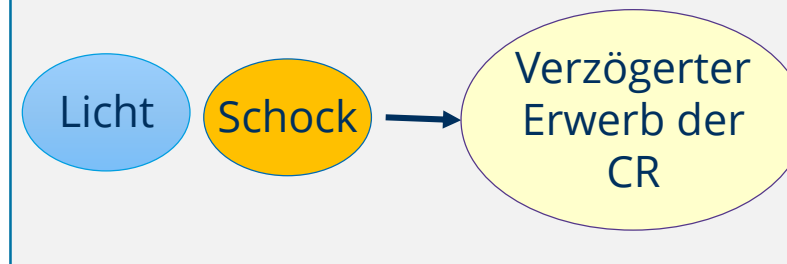
Excitor + Inhibitor



Summationstest

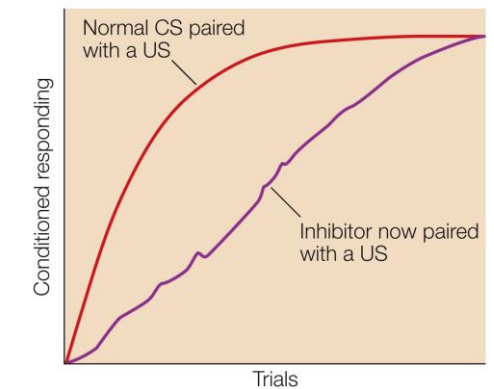


Verzögerungstest



LEARNING AND BEHAVIOR 2e, Figure 3.12
© 2016 Sinauer Associates, Inc.

Zimmer-Hart & Rescorla, 1974



LEARNING AND BEHAVIOR 2e, Figure 3.13
© 2016 Sinauer Associates, Inc.

Pearce, Nicholas und Dickinson (1982)

Ein CS, der die Abwesenheit des US vorhersagt, führt zur Inhibition der CR („inhibitor“)
Kontingenz ist entscheidend: gelernt wird eine negative Korrelation zwischen dem Inhibitor-CS und dem US

Überblick

Grundprinzip des Klassischen Konditionieren

Varianten: Lidschlagkonditionierung u. Furchtkonditionierung

Grundlegende Phänomene

- Akquisition, Extinktion, Spontanerholung
- Disinhibition, Rekonditionierung, Renewal, Reinstatement
- Effekte der zeitlichen CS-US-Relation
- Generalisierung und Diskrimination

Was wird gelernt

- Was ist die konditionierte Reaktion?
- S-R Lernen oder S-S Lernen?
- Kontiguität oder Kontingenz?
- Konditionierte Inhibition
- **Blockierungseffekt**

Das Rescorla-Wagner-Modell

Probleme für das Modell

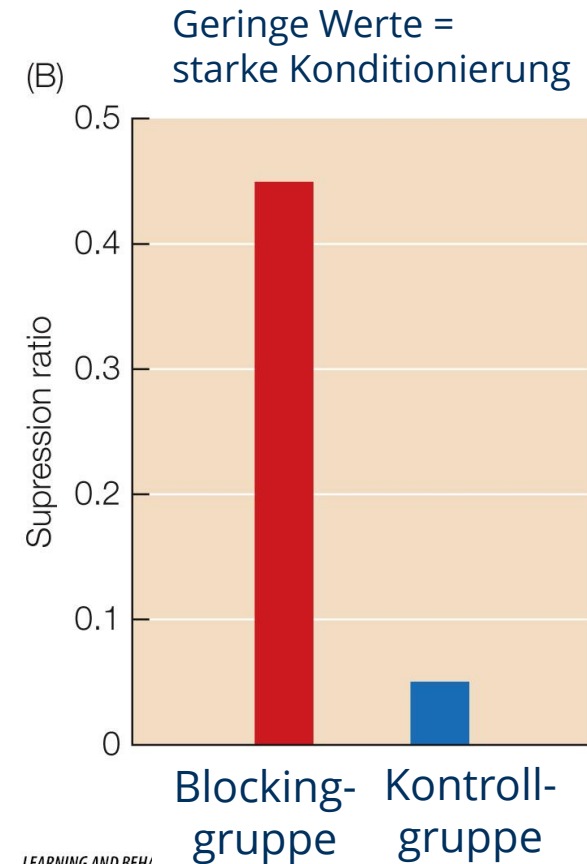
- Latente Inhibition
- Konfigurales Lernen

Biologische Einschränkungen

Blocking-Effekt: Evidenz für die Bedeutung des Informationsgehalts des CS

	16 Durchgänge	8 Durchgänge	Test
Kontrollgruppe			
Experimentalgruppe			

In der Experimentalgruppe erhöht das Licht nicht die Vorhersagbarkeit des US und wird daher nicht mit dem US assoziiert



LEARNING AND BEHAVIOR
© 2016 Sinauer Associates, Inc.

Kamin's unblocking experiment

(A)

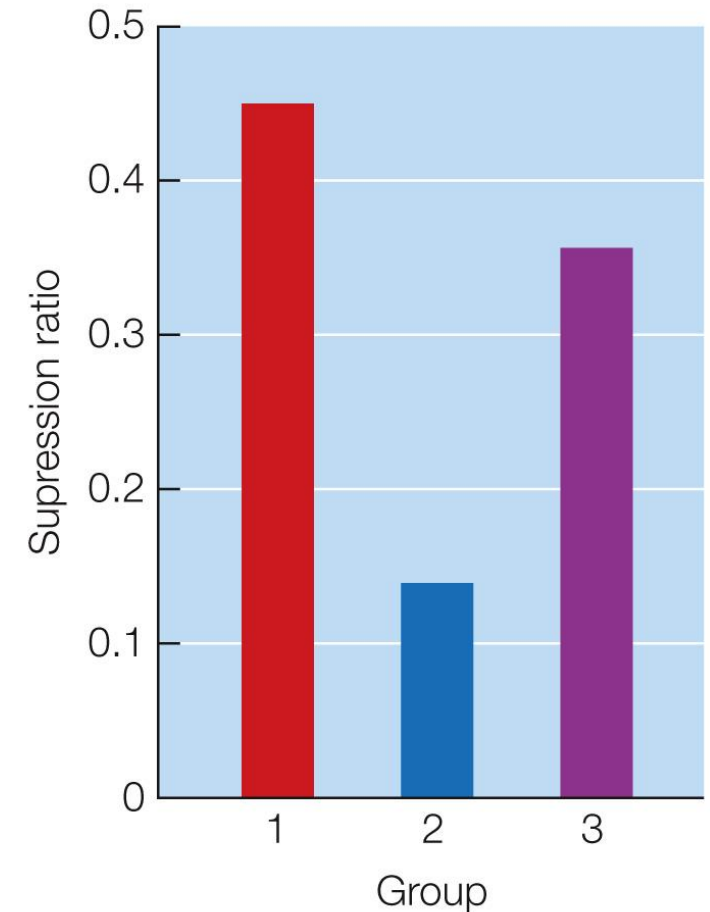
Group	Phase 1	Phase 2	Test
1	N — Shock	LN — Shock	L?
2	N — Shock	LN — SHOCK!!	L?
3	N — SHOCK!!	LN — SHOCK!!	L?

LEARNING AND BEHAVIOR 2e, Figure 3.16 (Part 1)
© 2016 Sinauer Associates, Inc.

In Gruppe 1 und 3 ist das Licht (L) ein redundanter Prädiktor
→ Keine Konditionierung, da das Geräusch (N) den Schock (US) bereits perfekt vorhersagt

In Gruppe 2 sagen Licht + Geräusch einen stärkeren Schock vorher als das Geräusch allein
→ Assoziation Licht – stärkerer Schock wird gelernt (Unblocking)

(B)



LEARNING AND BEHAVIOR 2e, Figure 3.16 (Part 2)
© 2016 Sinauer Associates, Inc.

Blockierungseffekte beim menschlichen Kategorienlernen

(a) Phase 1 training



Class A

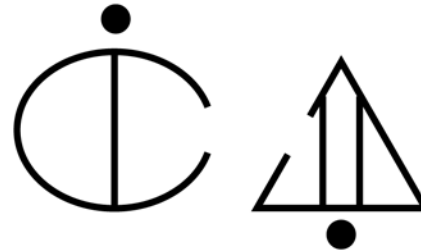
Class B

Rund

Dreieckig

Probanden lernen, Kreise und Dreiecke zwei Kategorien A und B zuzuordnen

(b) Phase 2 training



Class A

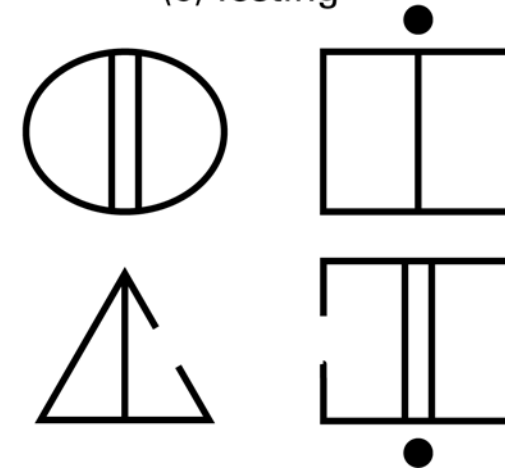
Class B

Rund
Punkt oben

Dreieckig
Punkt unten

Probanden ordnen Kreise und Dreiecke weiterhin Kategorien A und B zu

(c) Testing



Probanden klassifizieren alte Formen weiter korrekt

Probanden klassifizieren neue Formen nicht anhand der Punkte

The “relative validity” experiment

(A) Conditioning

Group Correlated	Group Uncorrelated
AX — US	AX — US
AX — US	AX — No US
BX — No US	BX — US
BX — No US	BX — No US

LEARNING AND BEHAVIOR 2e, Figure 3.17 (Part 1)
© 2016 Sinauer Associates, Inc.

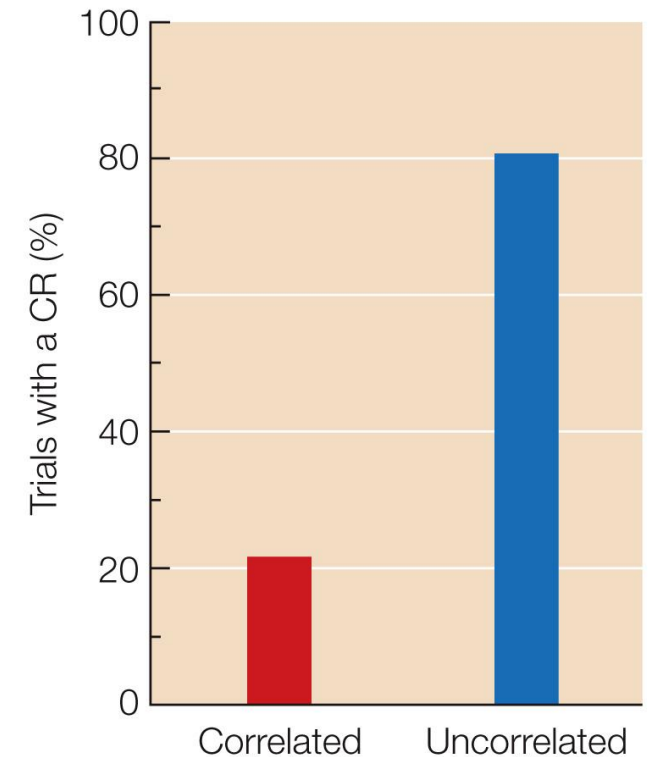
Beide Gruppen erleben die gleiche Zahl von X-US-Paarungen (in 50% der Durchgänge, in denen X dargeboten wird, folgt der US).

In der Gruppe “Correlated) gab es allerdings einen besseren Prädiktor für das Erscheinen oder Ausbleiben des US (die Reize A und B).

In der Gruppe “Uncorrelated” war X kein schlechterer Prädiktor als A oder B; alle CSs wurden in der Hälfte der Durchgänge, in denen sie dargeboten wurden, vom US gefolgt

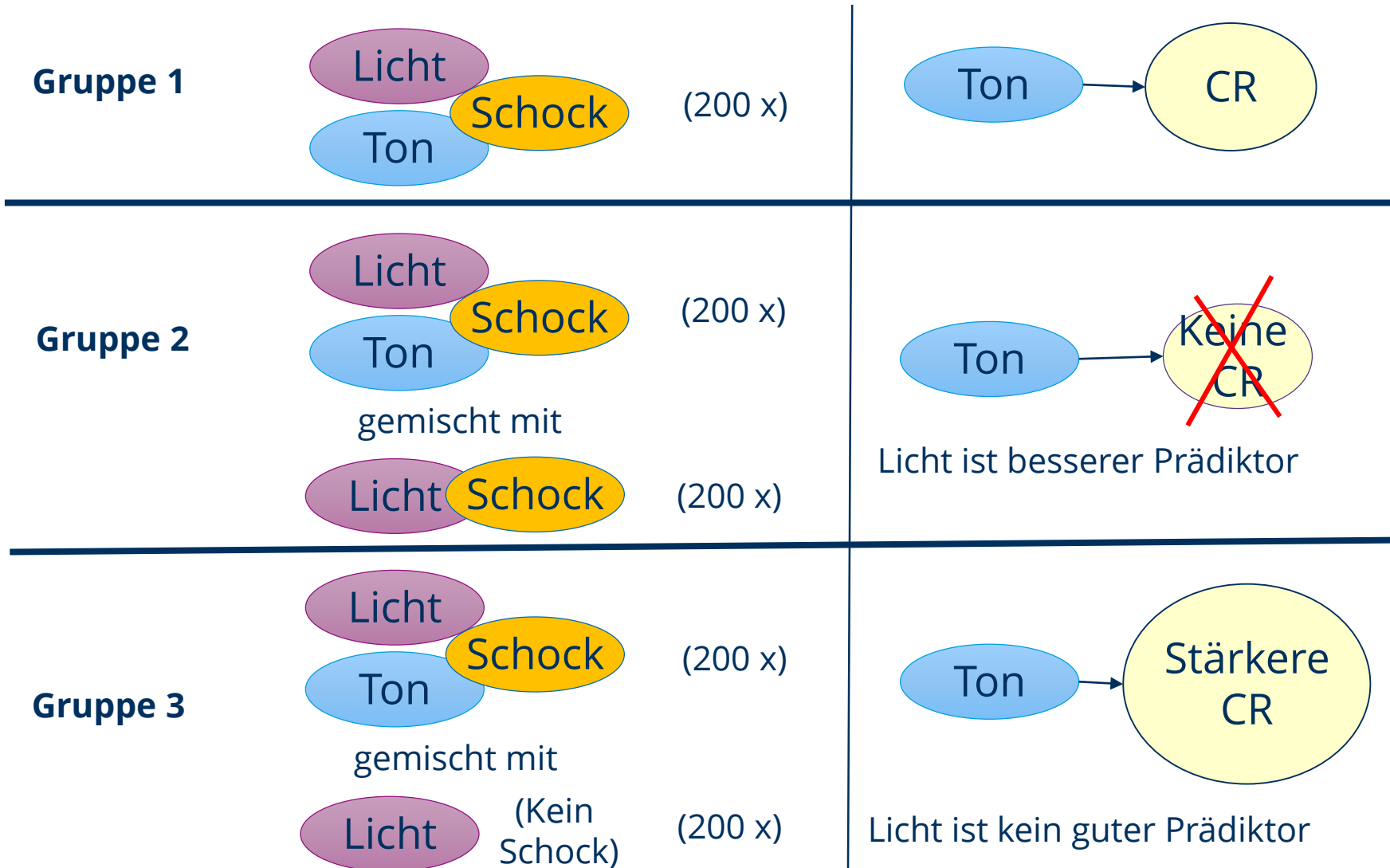
Wurde X im nachfolgenden Test allein dargeboten, löste er sehr viel häufiger eine CR in der Gruppe “Uncorrelated” aus

(B) Test of X alone



LEARNING AND BEHAVIOR 2e, Figure 3.17 (Part 2)
© 2016 Sinauer Associates, Inc.

Bedeutung des relativen Informationsgehalts des CS (Wagner, 1969)



Wenn ein CS1 ein besserer Prädiktor des US ist als ein CS2, dann blockiert der CS1 die Konditionierung des CS2

Stärke der Konditionierung hängt vom relativen Vorhersagewert des CS ab

Fiktives Alltagsbeispiel für relative Validitätseffekte

User A	User B
Odor + Room — Drug	Odor + Room — Drug
Odor + Room — Drug	Odor + Room — No drug
Friend + Room — No drug	Friend + Room — Drug
Friend + Room — No drug	Friend + Room — No drug

LEARNING AND BEHAVIOR 2e, Figure 3.18
© 2016 Sinauer Associates, Inc.

Zwei Drogenkonsumenten A und B nehmen Droge in 50% der Fälle, wenn sie in einem bestimmten Raum sind

- In 50% der Zeit ist ein Geruch vorhanden
- In 50% der Zeit ist ein Freund anwesend

Hypothese der relativen Validität sagt trotz gleicher Historie des Drogenkonsums (gleiche Anzahl von Paarungen des Raums mit der Drogenwirkung) vorher, dass

- Person A ein starkes konditioniertes Verlangen nach der Droge in Anwesenheit des Geruchs entwickelt, nicht aber allein im Raum und nicht in Anwesenheit des Freundes
- Person B ein starkes Verlangen nach der Droge verspüren sollte, wenn er in dem Raum ist, in Anwesenheit des Geruchs oder des Freundes

Überblick

Grundprinzip des Klassischen Konditionieren

Varianten: Lidschlagkonditionierung u. Furchtkonditionierung

Grundlegende Phänomene

- Akquisition, Extinktion, Spontanerholung
- Disinhibition, Rekonditionierung, Renewal, Reinstatement
- Effekte der zeitlichen CS-US-Relation
- Generalisierung und Diskrimination

Was wird gelernt

- Was ist die konditionierte Reaktion?
- S-R Lernen oder S-S Lernen?
- Kontiguität oder Kontingenz?
- Konditionierte Inhibition
- Blockierungseffekt

Das Rescorla-Wagner-Modell

Probleme für das Modell

- Latente Inhibition
- Konfigurales Lernen

Biologische Einschränkungen

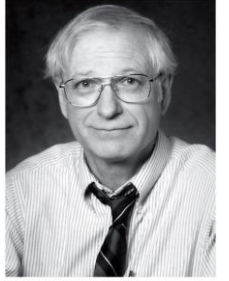
Die Rescorla-Wagner-Theorie

Grundannahmen

Ziel: möglichst viele Phänomene des Klassischen Konditionierens durch einen einheitlichen Lernmechanismus zu erklären

Zentrale Annahmen

- Ist die Intensität des US größer als erwartet, werden alle CS, die mit dem US gepaart werden, exzitatorisch konditioniert
- Ist die Intensität des US geringer als erwartet, werden alle CS, die mit dem US gepaart werden, inhibitorisch konditioniert
- Ist die Intensität des US so wie erwartet, findet keine Konditionierung statt
- Je größer die Diskrepanz zwischen erwarteter und tatsächlicher Intensität des US (der Vorhersagefehler), desto stärker ist die Konditionierung
- Je auffälliger (salienter) ein Reiz ist, desto schneller wird er konditioniert
- Gibt es in einer Lernsituation mehrere CS, werden die Stärken der einzelnen CS-US-Assoziationen zu einer Gesamtassoziationsstärke summiert



Robert
Rescorla



Allan
Wagner

Die Rescorla-Wagner-Theorie

Modellgleichung (für Situationen mit nur *einem* CS)

$$\Delta V = \alpha(\lambda - V)$$

- V Stärke der CS-US-Assoziation (prädiktiver Wert des CS; kann als Erwartung des US interpretiert werden)
- ΔV Veränderung der CS-US-Assoziationsstärke in einem Lerndurchgang
- λ Lambda: Stärke/Intensität des US
- $\lambda - V$ Vorhersagefehler (*prediction error*; kann als Ausmaß der Überraschung über den US interpretiert werden)
- α Lernrate (u.a. Funktion der Salienz des CS; $0 \leq \alpha \leq 1$)

Die Änderung der Assoziationsstärke als Folge einer einzelnen CS-US-Paarung ist proportional zur (mit der Lernrate gewichteten) Differenz zwischen erwarteter und tatsächlicher US-Stärke

Lernen findet statt, wenn erwartete und tatsächliche US-Stärke voneinander abweichen: $|(\lambda - V)| > 0$

Die Rescorla-Wagner-Theorie: Ein Beispiel

$$\lambda = 1, \alpha = .2$$

Vor dem Lernen:

Stärke der CS-US-Assoziation: $V = 0$

Nach 1. Lerndurchgang:

$$\Delta V = .2 \times (1 - 0) = 0.2$$

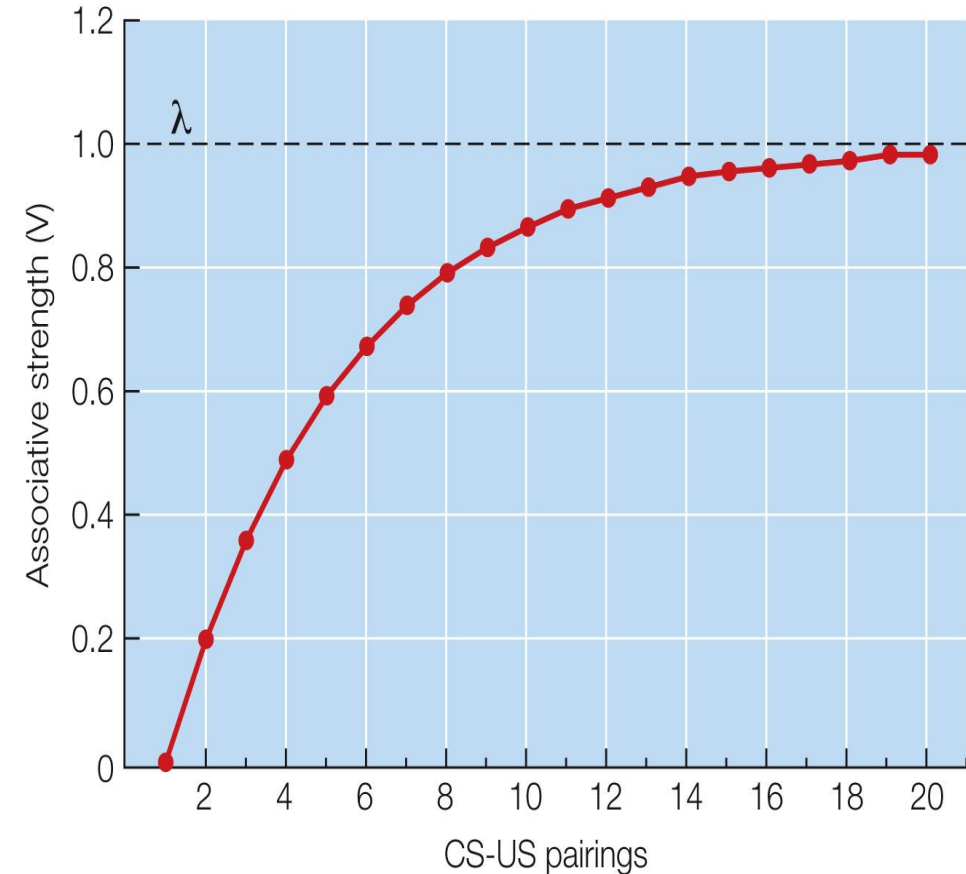
$$V = 0 + 0.2 = 0.2$$

Nach 2. Lerndurchgang:

$$\Delta V = .2 \times (1 - 0.2) = 0.16$$

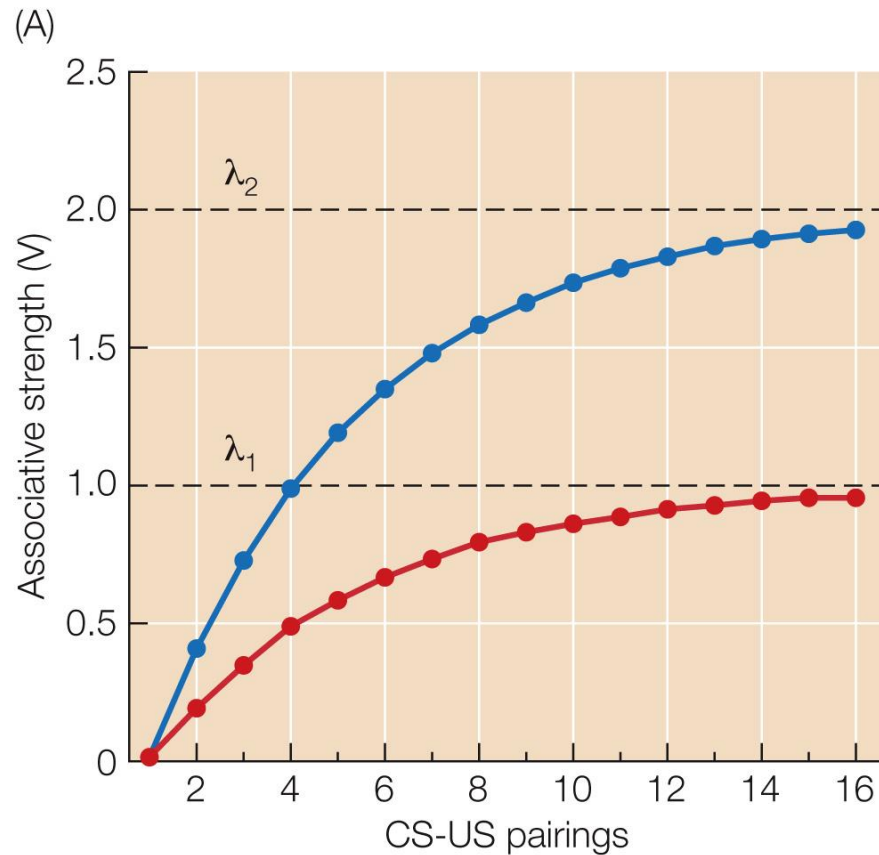
$$V = 0.2 + 0.16 = 0.36$$

$$\Delta V = \alpha(\lambda - V)$$

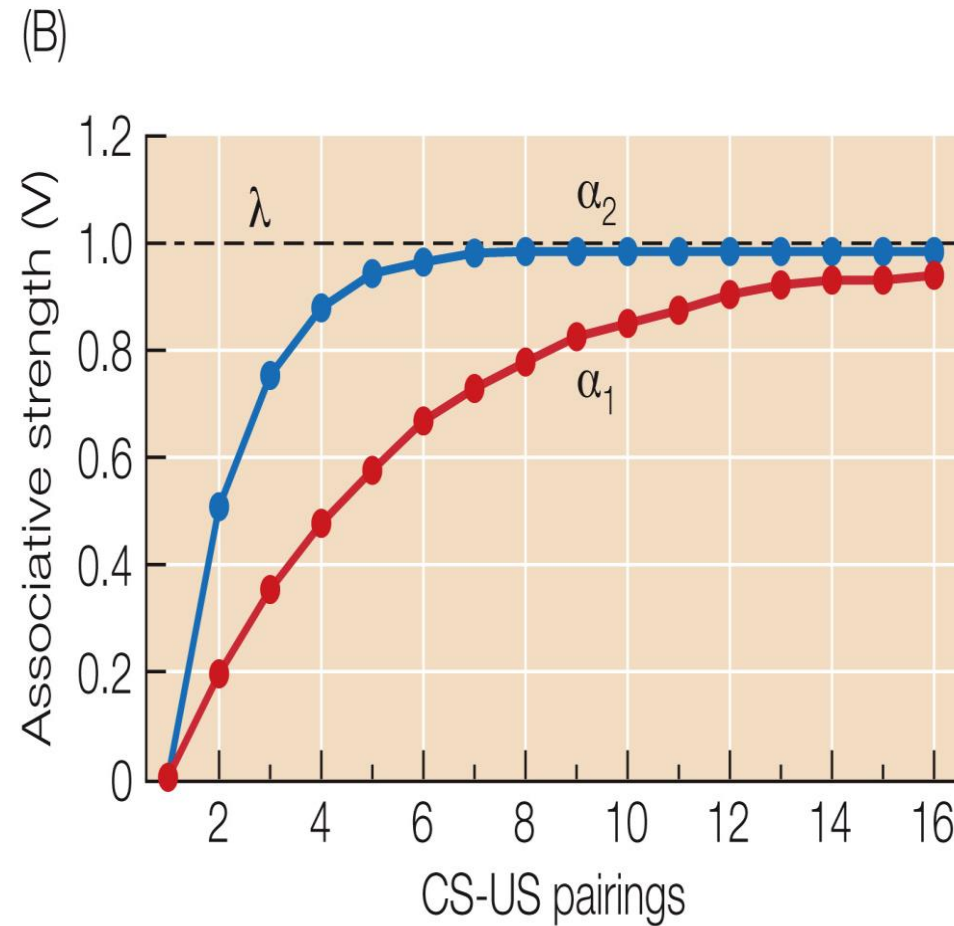


LEARNING AND BEHAVIOR 2e, Figure 4.1
© 2016 Sinauer Associates, Inc.

Effekt der Größe des US (λ) und der Lernrate (α) auf das Lernen



LEARNING AND BEHAVIOR 2e, Figure 4.2 (Part 1)
© 2016 Sinauer Associates, Inc.



LEARNING AND BEHAVIOR 2e, Figure 4.2 (Part 2)
© 2016 Sinauer Associates, Inc.

Vorhersagen des Rescorla-Wagner-Modells für mehrere CS

Jeder CS hat ein **assoziatives Gewicht**, das die Stärke der CS-US-Assoziation repräsentiert

Gibt es mehr als einen CS, ist die **Gesamtassoziationsstärke** aller CS gleich der Summe der Assoziationsstärken der einzelnen CS mit dem US

Beispiel für zwei CS CS_A (z.B. Ton); CS_B (z.B. Licht)

Bei gleicher Lernrate (Salienz) für CS_A und CS_B ergibt sich:

$$V_{AB} = V_A + V_B$$

$$\Delta V_A = \alpha(\lambda - V_{AB})$$

$$\Delta V_B = \alpha(\lambda - V_{AB})$$

Für beliebig viele CS_N gilt: $\Delta V = \alpha(\lambda - \Sigma V_N)$

Compound conditioning und kompetitives Lernen

$$\alpha = 0.2$$

Trial 1:

$$\Delta V_A = \Delta V_B = 0.2(1 - 0) = 0.2$$

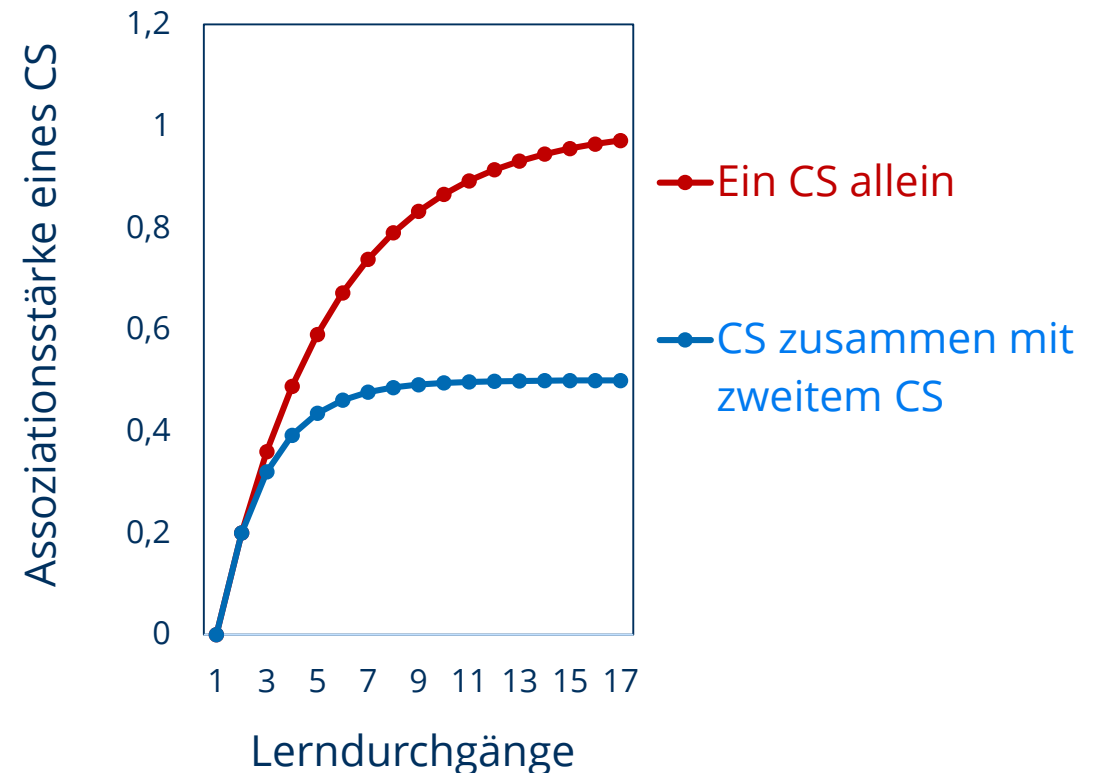
$$V_{AB} = 0.4$$

Trial 2:

$$\Delta V_A = \Delta V_B = 0.2(1 - 0.4) = 0.12$$

(statt: $\Delta V_A = 0.2(1 - 0.2) = 0.16$ bei einem CS)

$$\Delta V = \alpha(\lambda - \sum V_N)$$



Vorhersagen des R-W-Modells für mehrere CS

Compound conditioning und kompetitives Lernen

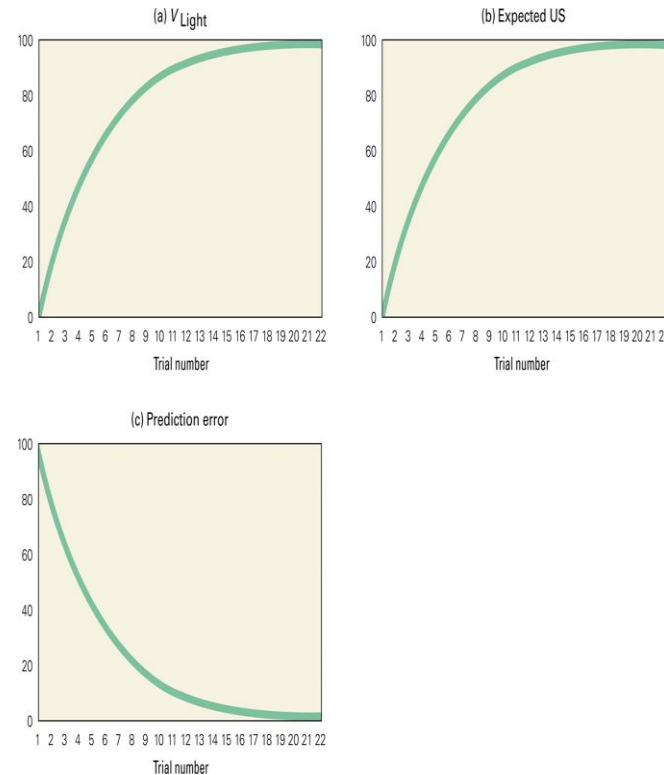
Mehrere CS müssen sich die maximale Assoziationsstärke teilen (d.h. sie „konkurrieren“ darum, mit dem US assoziiert zu werden)

Ein CS, der zusammen mit einem weiteren CS dargeboten wird, kann nur noch einen Teil der maximalen Assoziationsstärke mit dem US erhalten

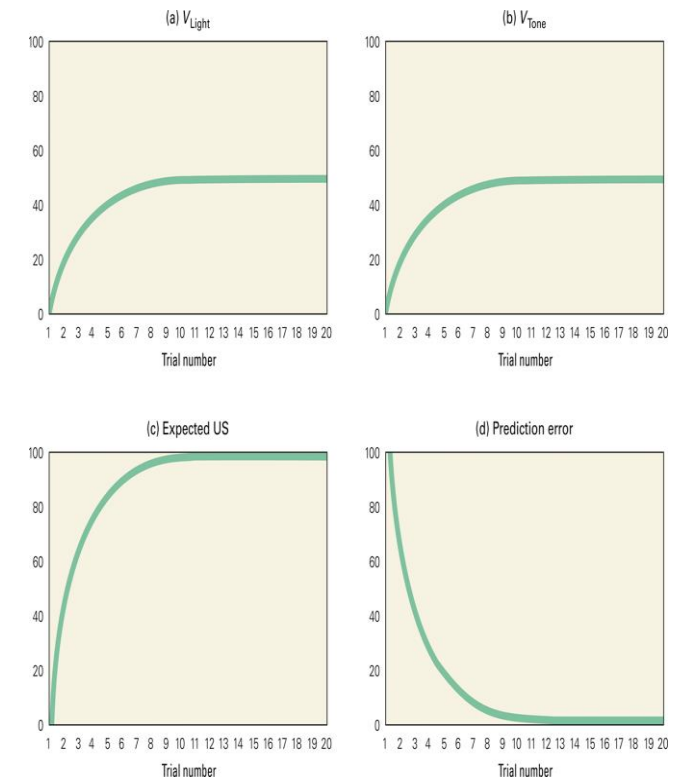
Das Modell sagt eine Reihe von Effekten vorher:

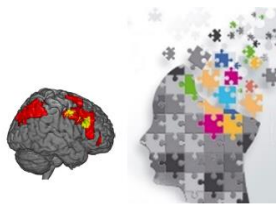
- Überschattung
- Blocking
- Konditionierte Inhibition

Einfache Konditionierung



Compound-Konditionierung





Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!