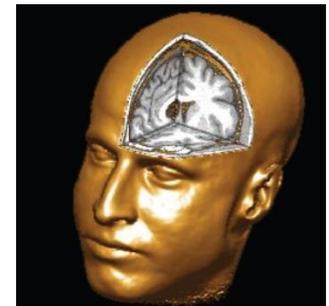
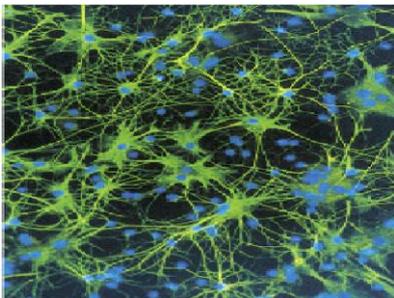




Vorlesung WS 2013/14
Kognitive Neurowissenschaft

Neuronale Mechanismen einfacher Entscheidungen

Thomas Goschke





Thema der heutigen Vorlesung

I. Was bestimmt unsere Entscheidungen?

- Sind wir rationale Entscheider?
- Wie wird der Wert von Zielen und Handlungen neuronal repräsentiert?
- Wie werden unterschiedliche Bewertungsaspekte (Kosten, Nutzen, Risiken) zu einer Entscheidung integriert?

Literatur

■ Lehrbuchkapitel

- Purves et al. (2013). *Principles of Cognitive Neuroscience* (2nd. ed.). Sinauer Associates. Chapter 14: Decision Making.

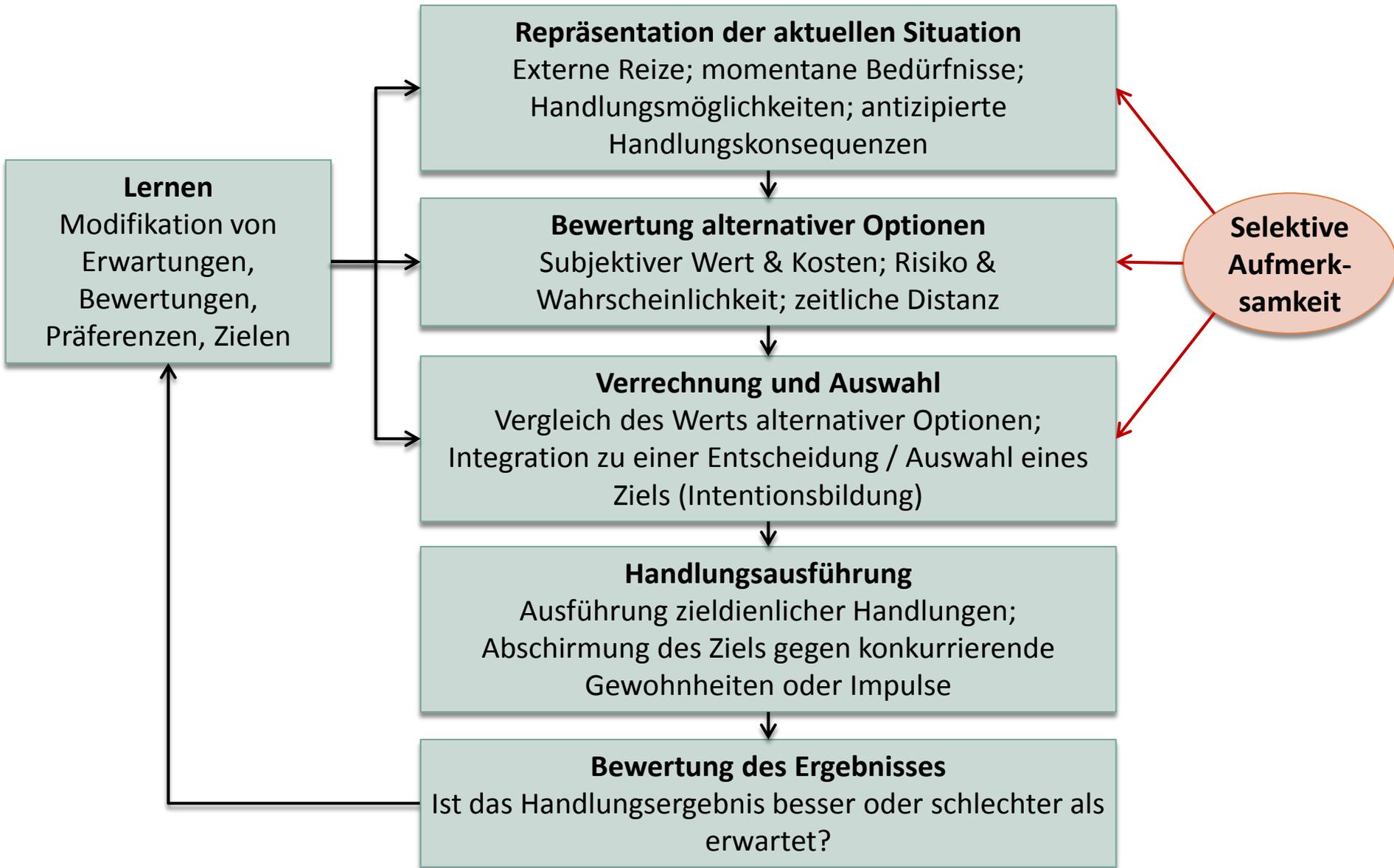
■ Handbuch

- Glimcher, P. W. & Fehr, E. (2014). *Neuroeconomics. Decision making and the brain* (2nd Ed.). London: Academic Press.

■ Übersichtsartikel

- Rangel, A., Camerer, C., & Montague, P. R. (2008). A framework for studying the neurobiology of value-based decision making. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(7), 545-556.
- Fehr, E., & Rangel, A. (2011). Neuroeconomic Foundations of Economic Choice—Recent Advances. *Journal of Economic Perspectives*, 25(4), 3-30.
- Rangel, A., & Hare, T. (2010). Neural computations associated with goal-directed choice. *Current Opinion in Neurobiology*, 20(2), 262-270.

Der Prozess des Entscheidens: Ein Rahmenmodell



Ansätze der Entscheidungsforschung:

**Von der Idee des rationalen Entscheiders
zur Verhaltens- und Neuroökonomie**

Wahrscheinlichkeit und Wert



Blaise Pascal (1623-1662)

Rationale Strategie beim Wetten: Wähle die Option, bei der das Produkt aus Gewinnhöhe und Gewinnwahrscheinlichkeit maximal ist

Wette 1: 12 €, wenn Sie aus 4 Karten eine bestimmte Karte ziehen

Wette 2: 200 €, wenn Sie aus 36 Karten eine bestimmte Karte ziehen

Für welche Alternative entscheiden Sie sich?

	Wahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit x Wert	Erwarteter durchschnittlicher Gewinn
Wette 1	$1/4 = .25$	$.25 \times 12$	3,00 €
Wette 2	$1/36 = 0.0278$	$.0278 \times 200$	5,56 €

Klassische ökonomische Entscheidungstheorie: Der Mensch als rationaler Entscheider

- **Rationalität** als Befolgen normativer Entscheidungsregeln



- Menschen wählen die Optionen, die maximalen subjektiven Nutzen versprechen
- Menschen verrechnen Wahrscheinlichkeiten und Werte aller relevanten Optionen
- Menschen zeigen konsistente Präferenzen:
 $A > B$ und $B > C \rightarrow A > C$

Oskar Morgenstern & John
von Neumann, ca. 1946.

*Courtesy of the Institute for Advanced
Study, Princeton*

Traditionelle Ökonomie

- Geringes Interesse an psychologischen und neuronalen Prozessen, die Entscheidungen zugrunde liegen
- Elaborierte mathematische Modelle, wie Entscheidungen optimal getroffen werden sollten
- Theorie der “*revealed preferences*”
 - ▣ Menschen treffen Entscheidungen *als ob* sie eine Nutzenfunktion maximieren würden
 - ▣ Wahlverhalten sollte bestimmte Konsistenzaxiome erfüllen (Houthakker, 1950; Samuelson, 1938).

Neuroökonomie

- Ziel = Modelle der komputationalen & neuronalen Mechanismen, die menschlichen Entscheidungen zugrunde liegen
- Junge Disziplin → noch keine umfassende Theorie, wie Gehirn Entscheidungen hervorbringt
- Wichtige Annahmen
 - ▣ Neuronale Aktivität ist inhärent stochastisch und verrauscht → stochastische Komputationen
 - ▣ Entscheidungsprozesse unterliegen systematischen Verzerrungen & Fehlern
 - Ignorieren relevanter Informationen beim Bewertungen von Optionen
 - Intuitive Heuristiken
 - Impulsivität

Erwarteter Wert \neq subjektiver Nutzen



Kopf = 2€ / Zahl = 0€
oder
0,90€ sicher

ExW = 1€

ExW = 0,90€

Kopf = 20.000€ / Zahl = 0€
oder
9000 € sicher

ExW = 10.000€

ExW = 9000€

Entscheiden Sie sich!

(B)



9.250 \$

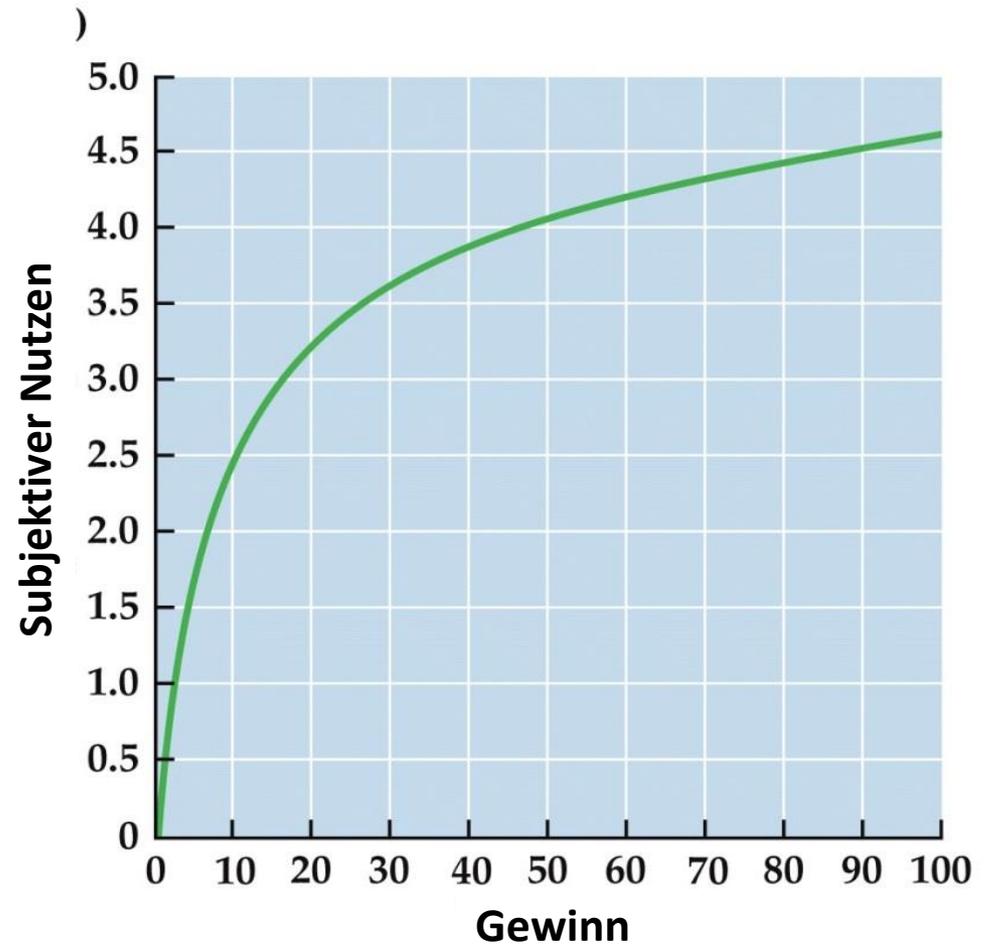


15.001 \$

Der subjektive Nutzen eines Gewinns ist relativ zum Ausgangswert



Daniel Bernoulli (1700-1782)



Verhaltensökonomie

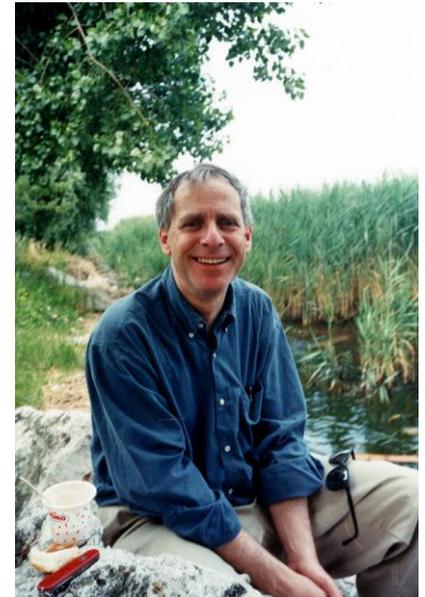
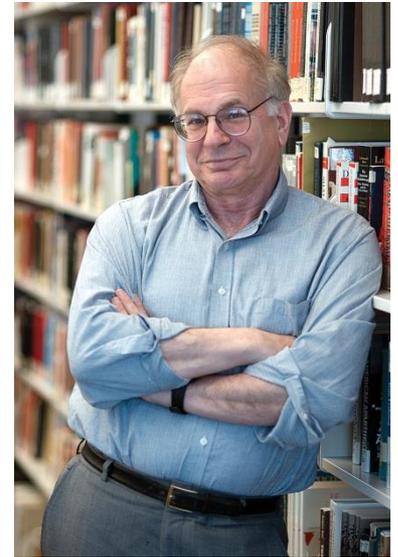
■ Daniel Kahneman

- geb. 1934; Prof. f. Psychologie, Princeton University
- 2002 Nobelpreis für Ökonomie

■ Amos Tversky

- 1996 verstorben; Prof. f. Behavioral Sciences, Stanford University

- Über mehrere Jahrzehnte entwickeltes Forschungsprogramm zu „heuristics & biases“
- Nachweis, dass menschliche Entscheidungen häufig von normativen Rationalitätsstandards abweichen
- Bedeutung intuitiver Heuristiken und systematischer Verzerrungen im Entscheidungsprozess





Wurden mehr Männer oder mehr Frauen präsentiert?

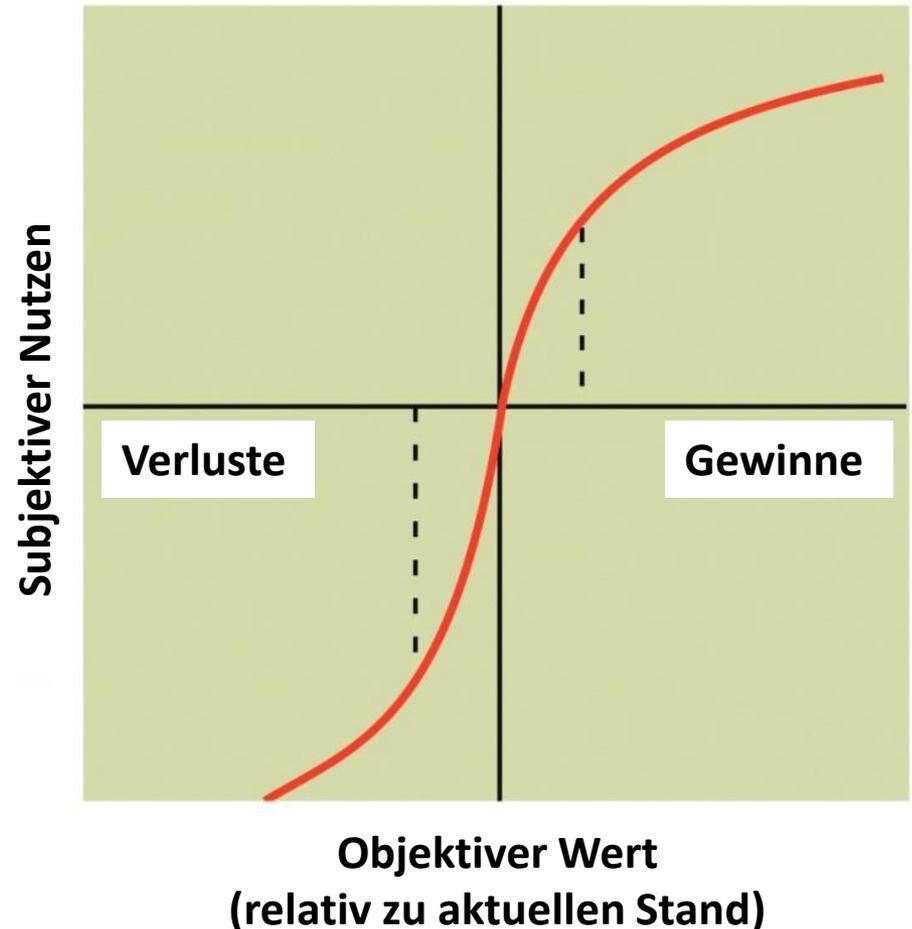
Berühmte Personen werden häufiger und/oder leichter aus dem Gedächtnis abgerufen

*→ Wir schließen aus hoher «**Verfügbarkeit**» auf große Häufigkeit*

Verhaltensökonomie und Prospect Theorie: Referenzabhängigkeit von subjektiven Werten

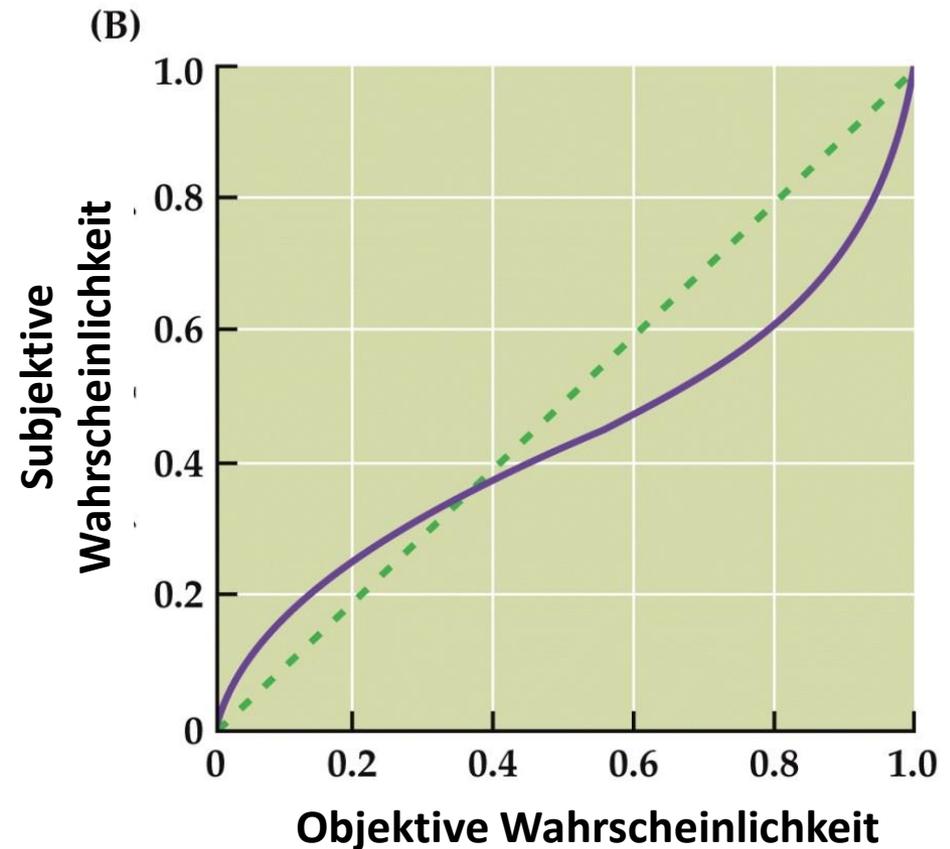
- Steigung der subjektiven Wertfunktion nimmt mit steigender Gewinnhöhe ab
- Steigung der Wertfunktion ist steiler für Verluste als für Gewinne (*Verlust-Aversion*)

(A)



Verhaltensökonomie und Prospect Theorie: Wahrscheinlichkeitsgewichtung

- Wahrscheinlichkeit seltener Ergebnisse wird oft überschätzt
→ z.B. Risiko-Suche bei Lotterie
- Wahrscheinlichkeit häufiger Ereignisse wird oft unterschätzt
→ z.B. Risiko-Aversion bei unwahrscheinlichen Verlusten (Versicherung)



Decision neuroscience (Neuroökonomie)

- Integration von Ökonomie, Psychologie, Neurowissenschaft und Komputationaler Modellierung

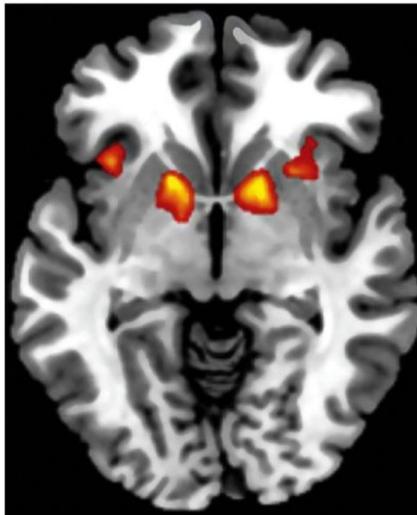
- Zentrale Fragen
 - (1) Welche Variablen berechnet das Gehirn, um Entscheidungen zu treffen?

 - (2) Wie sind diese Berechnungen neuronal implementiert?

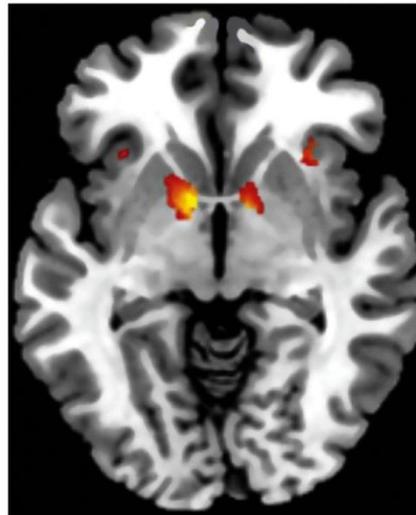
 - (3) Welche Schlüsse lassen sich aus neurokomputationalen Modellen für das Verständnis adaptiver sowie dysfunktionaler Entscheidungen (z.B. bei psychischen Störungen) ableiten?

Ein Beispiel: Pathologisches Spielen

- Schätzungen: 1 - 2 % aller erwachsenen US-Bürger zeigen irgendwann während ihres Lebens pathologisches Spielverhalten
- Unfähigkeit, Spielverhalten einzustellen oder zu reduzieren trotz massiver negativer Folgen



Wins > Losses



Near-miss loss > Full-miss loss

Pathologische Spieler zeigen stärkere Aktivierung im mesolimbischen Belohnungssystem (ventrales Striatum) bei „Beinahe-Gewinnen“

Clark et al., 2009

Neuronale Korrelate einfache Wahlentscheidungen

Einfache Entscheidungen

- Kleine Anzahl vertrauter Optionen
 - Alle relevanten Informationen sind bekannt
 - Keine Konflikte & keine Selbstkontrolle notwendig
- Ermöglicht Erforschung neuronaler Mechanismen des Entscheidens ohne komplizierende Faktoren berücksichtigen zu müssen
- Hoffnung: Prinzipien einfacher Entscheidungen gelten auch für komplexere Entscheidungen

Tatsächlich sind „einfache“ Entscheidungen komplexer als es zunächst scheint!

Einfache Entscheidungen: Fünf Teilaspekte

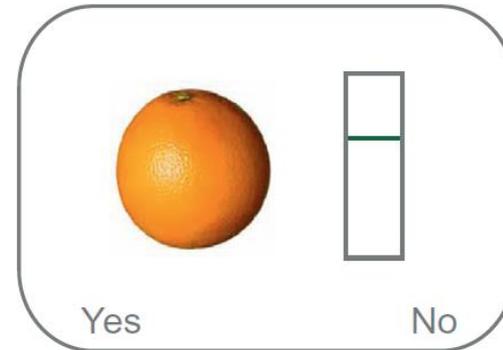
1. Vor einer Entscheidung berechnet das Gehirn Wertsignale für jede Option
2. Entscheidungen beruhen auf einem Vergleich der Wertsignale, der durch Drift-Diffusions-Modelle beschrieben werden kann
3. Wertsignale werden berechnet, indem Informationen über die Attraktivität der Attribute jeder Option integriert werden
4. Die Berechnung und der Vergleich von Werten kann durch Aufmerksamkeitsprozesse moduliert werden
5. Wenn die gewählte Option eintritt / konsumiert wird, berechnet das Gehirn ein Nutzensignal

1. Berechnung von Wertsignalen

- Entscheidungen beruhen auf der Berechnung und dem Vergleich der Werte und Kosten verschiedener Optionen
- Entscheidungswerte sind Signale, die während des Entscheidungsprozesses berechnet werden und Vorhersagen über die hedonistischen Effekte alternativer Optionen darstellen
- Entscheidungsverhalten wird kausal durch diese Wertsignale bestimmt

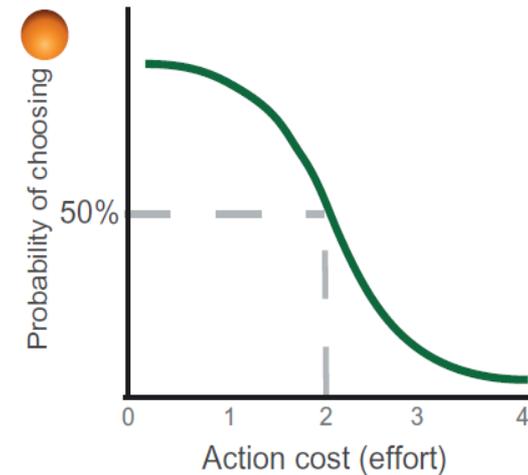
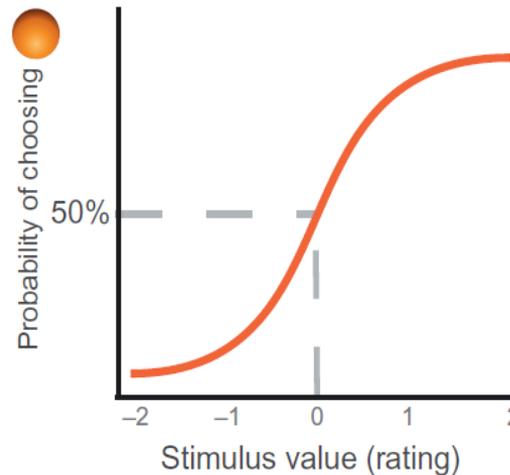
Stimulus values and action costs

- Einfache Ja/Nein Entscheidung:
 - Proband kann bestimmte Anstrengung aufwenden, um ein Gut zu erhalten



Common psychometric choice curve

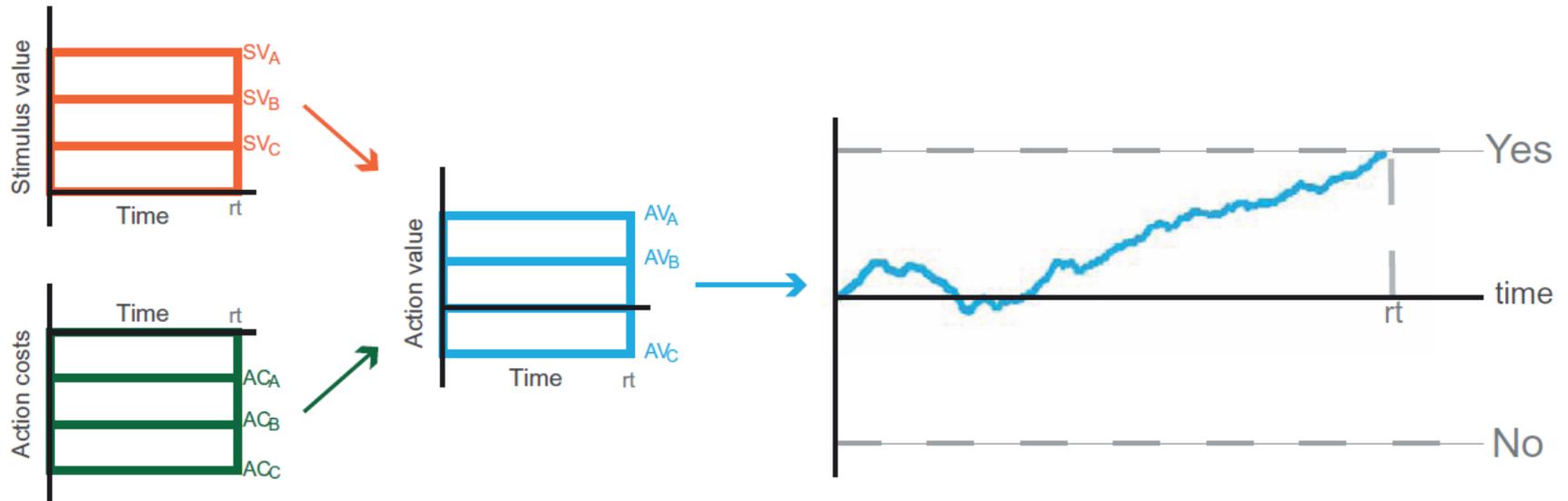
- Psychometrische (logistische) Wahlfunktionen:
 - Wahrscheinlichkeit einer JA-Entscheidung steigt mit dem Reiz-Wert und sinkt mit den Handlungskosten



Einfaches Modell der Integration von Werten und Kosten beim Entscheiden

Integration der Reizwerte und Handlungskosten zu Handlungswerten

Stochastischer "Drift"-Prozess, der Informationen integriert, bis eine Entscheidungsschwelle überschritten wird



Wie kann man herausfinden, ob, wie und wo das Gehirn Wertsignale berechnet?

- (1) Erhebe Verhaltensdaten um subjektive Bewertungen von Reizen zu messen
 - Ratings (“Wie sehr würden Sie es wünschen, diesen Gut zu erhalten?”)
 - Gebote (“Wie viel wären Sie bereit zu zahlen, um das Gut zu erhalten”?)
 - Faktisches Wahlverhalten

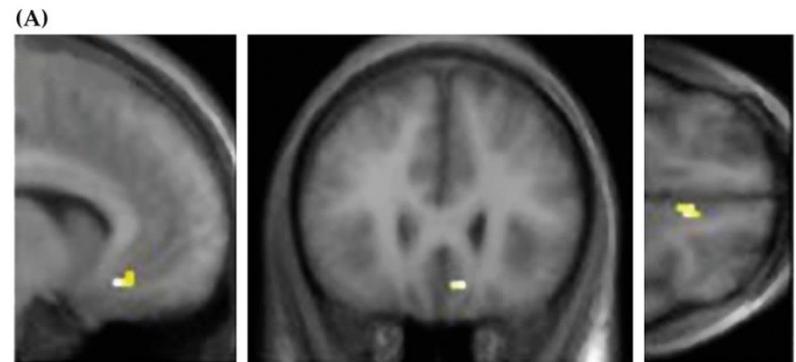
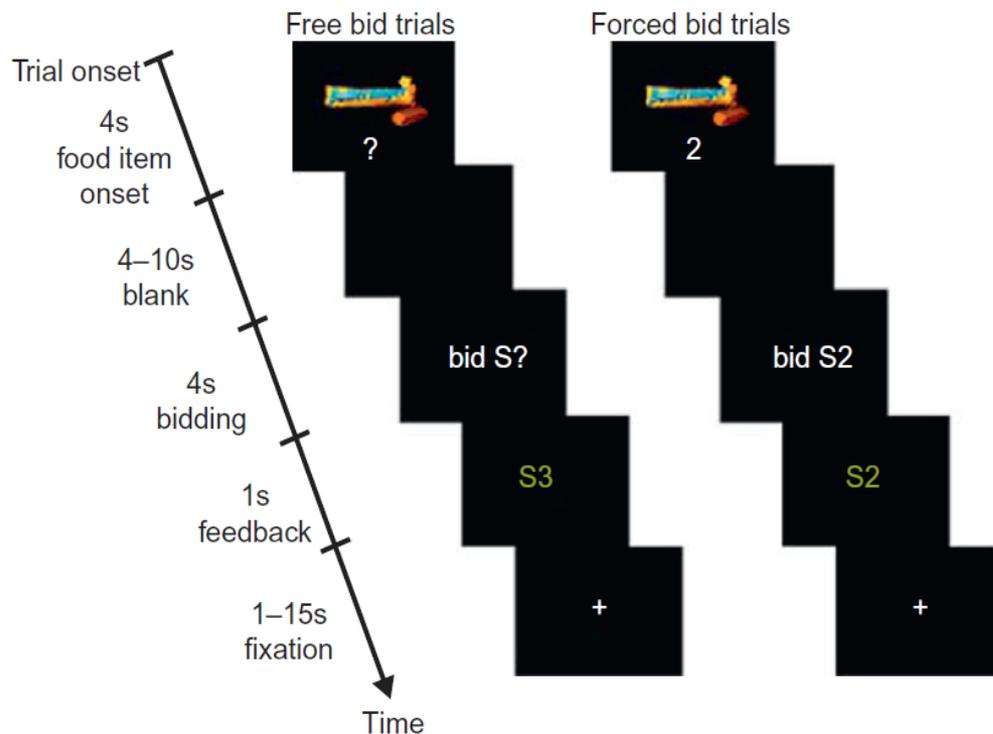
- (2) Messe neuronale Aktivität während des Entscheidungsprozesses

- (3) Verwende statistische Methoden um zu testen, ob neuronale Aktivität in bestimmten Hirnregionen durch die Wertsignale moduliert wird
 - Ist neuronale Aktivität signifikant mit bestimmten Wertsignalen korreliert, wird dies als Beleg dafür interpretiert, dass neuronale Prozesse in dieser Hirnregion in die Berechnung / Repräsentation des Wertsignals involviert sind

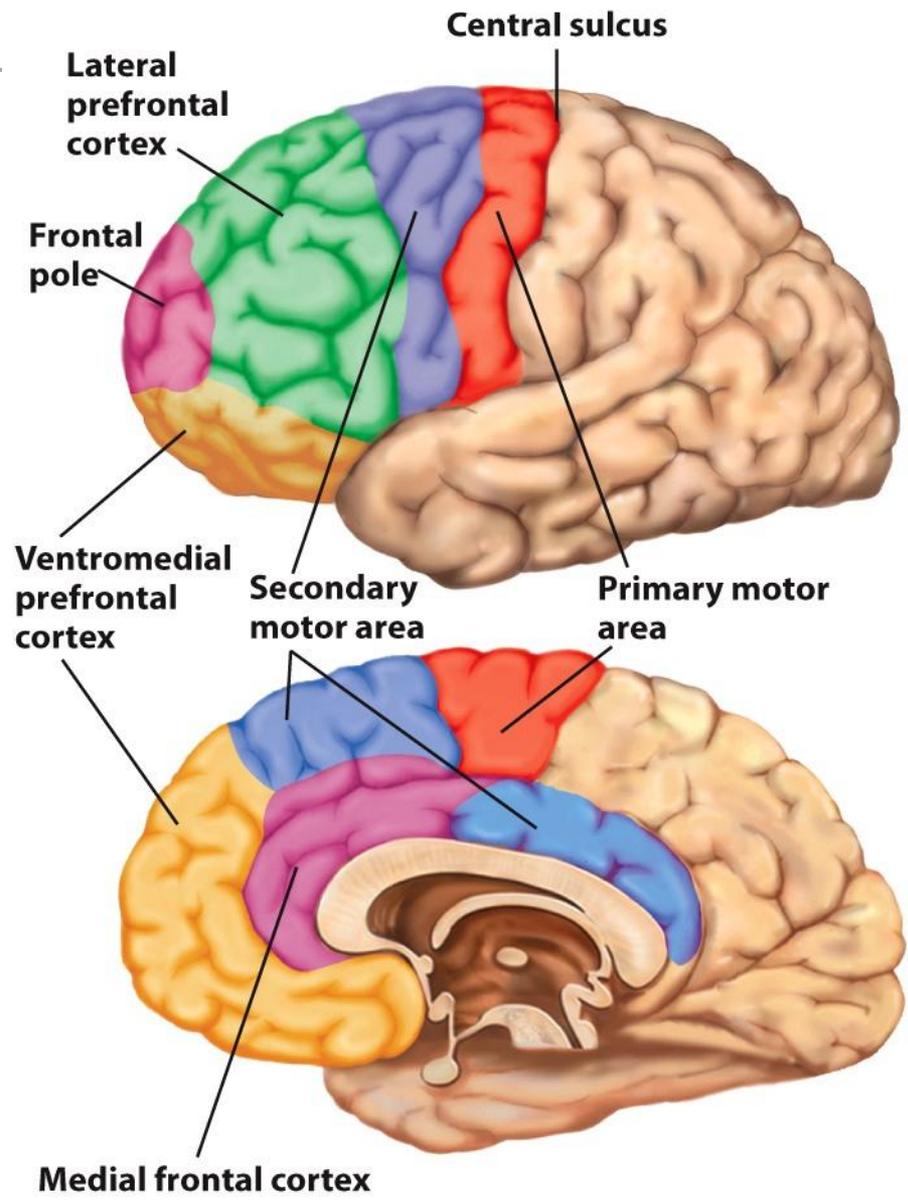
An fMRI study of willingness-to-pay

Plassmann, O'Doherty, & Rangel (2007). *J. Neuroscience*.

- Hungrige Probanden konnten bestimmten Geldbetrag setzen, um Süßigkeiten/Snacks zu kaufen, die sie nach dem Experiment essen konnten
- Der subjektive Wert (= Bereitschaft zu zahlen) korrelierte mit Aktivierung im ventromedialen Präfrontalkortex (vmPFC)



PRINCIPLES OF COGNITIVE NEUROSCIENCE 2e, Figure 14.22 (Part 1)
© 2013 Sinauer Associates, Inc.



Gibt es im Gehirn eine „gemeinsame Währung“ für unterschiedliche Arten von Werten?

- Zahlreiche Replikationen mit unterschiedlichen
 - Entscheidungsoptionen (Lotterien, Nahrungsmittel, Spenden für Wohltätigkeitsorganisationen),
 - Entscheidungsparadigmen (binäre Wahlen; Kaufentscheidungen; Auktionen & Wetten; Präferenzratings)

- Weitere Studien: vmPFC enkodiert Entscheidungs-Wert-Signale für appetitive als auch aversive Items (Litt, Plassmann, Shiv, & Rangel, 2010; Plassmann, O’Doherty, & Rangel, 2010; Tom, Fox, Trepel, & Poldrack, 2007)

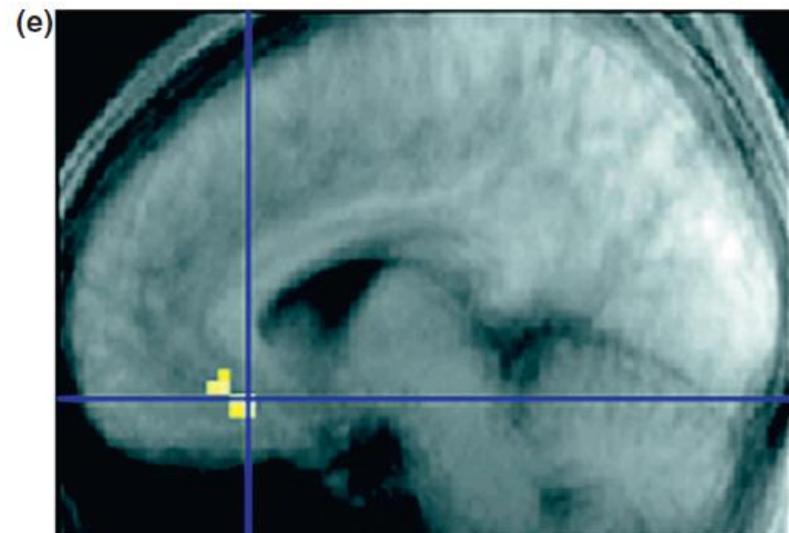
Neuronale Korrelate von Stimulus-Wert-Signalen im ventromedialen Präfrontalkortex



Aktivierungen im vmPFC in fMRT-Studien, in denen sich Probanden zwischen unterschiedlichen Optionen (Konsumprodukte, Nahrungsmittel, Geldgewinne, Spenden) entscheiden sollten

Aktivität im vmPFC korreliert mit dem erwarteten Wert von Geld und Fruchtsaft

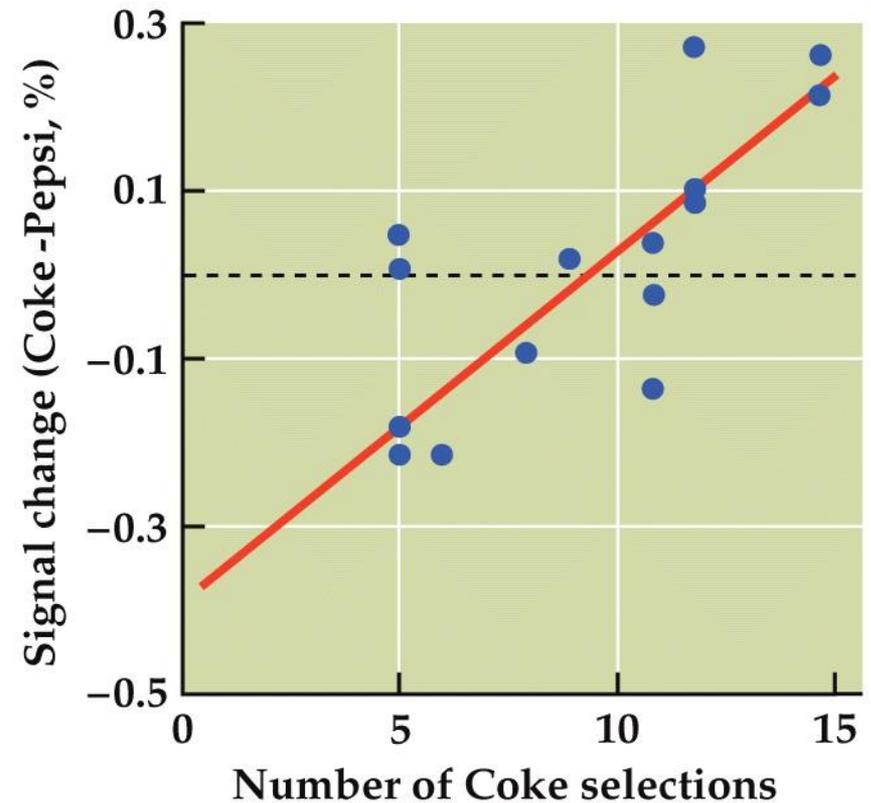
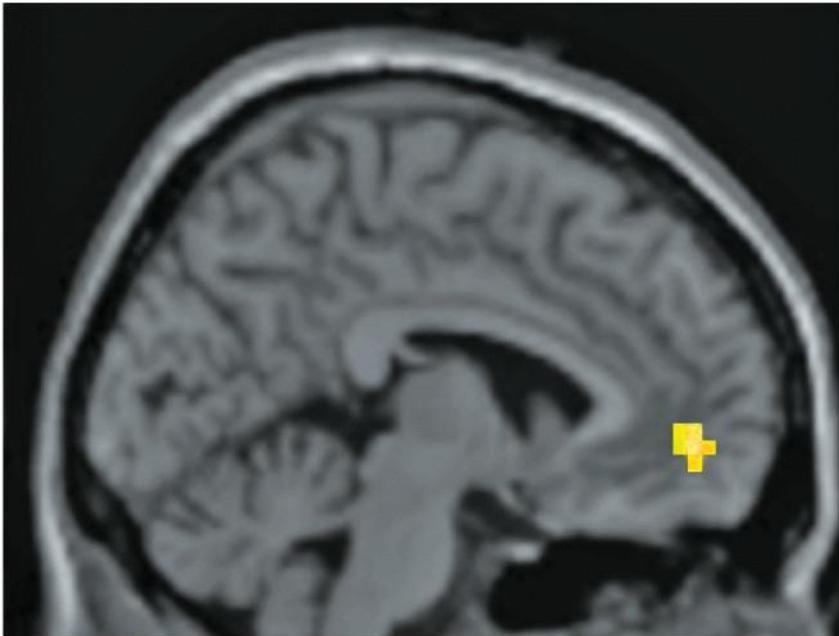
Region im vmPFC/OFC, die überlappende Aktivierung für erwarteten Wert von Geld und Saft zeigte



Current Opinion in Neurobiology

Kim et al. (2011). *Cereb Cortex*, 21, 769-776.

Aktivierung im vmPFC spiegelt subjektive Präferenzen für Coke vs. Pepsi

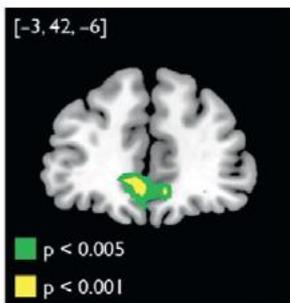


PRINCIPLES OF COGNITIVE NEUROSCIENCE 2e, Box 14C
© 2013 Sinauer Associates, Inc.

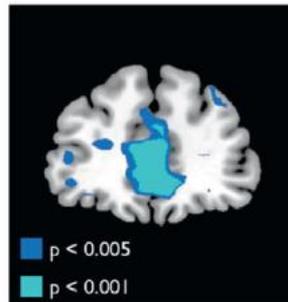
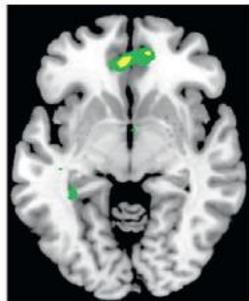
McClure et al. 2004, *Neuron*

Stimulus value signals across different reward modalities

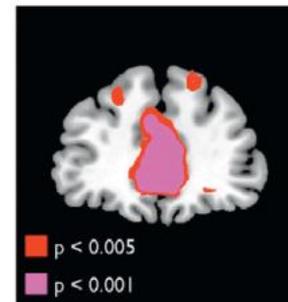
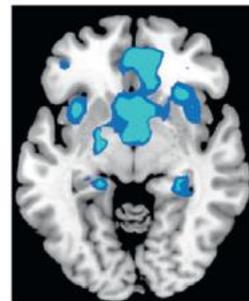
- Probanden sollten zwischen einem konstanten Referenz-Item und drei Arten von Gütern wählen:
 - Schmucksachen aus dem Caltech Bookstore
 - Nahrungsmittel
 - Geldgewinne
- Aktivierung in der gleichen vmPFC Region korrelierte mit den Stimulus-Werten unabhängig von der Art der Objekte



Money



Snacks

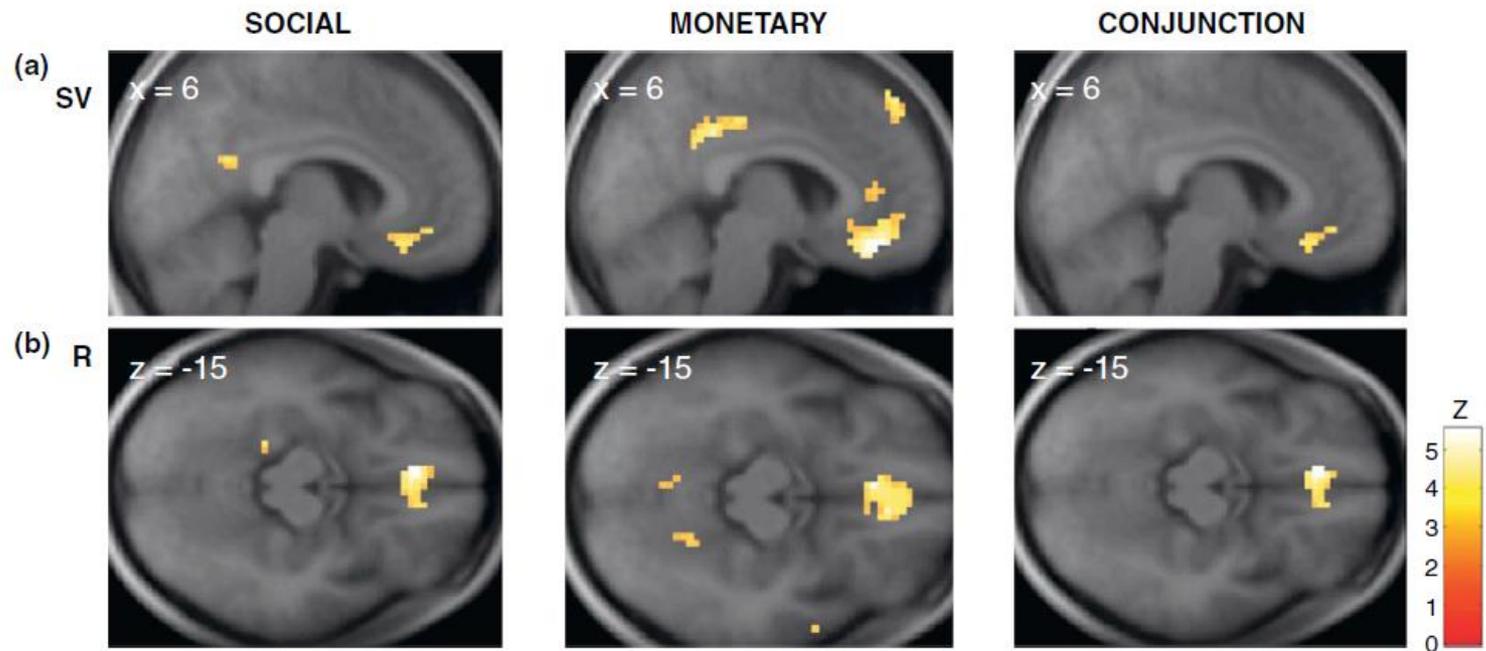


Trinkets

Aktivierung im ventromedialen Präfrontalkortex in Reaktion auf soziale und monetäre Werte

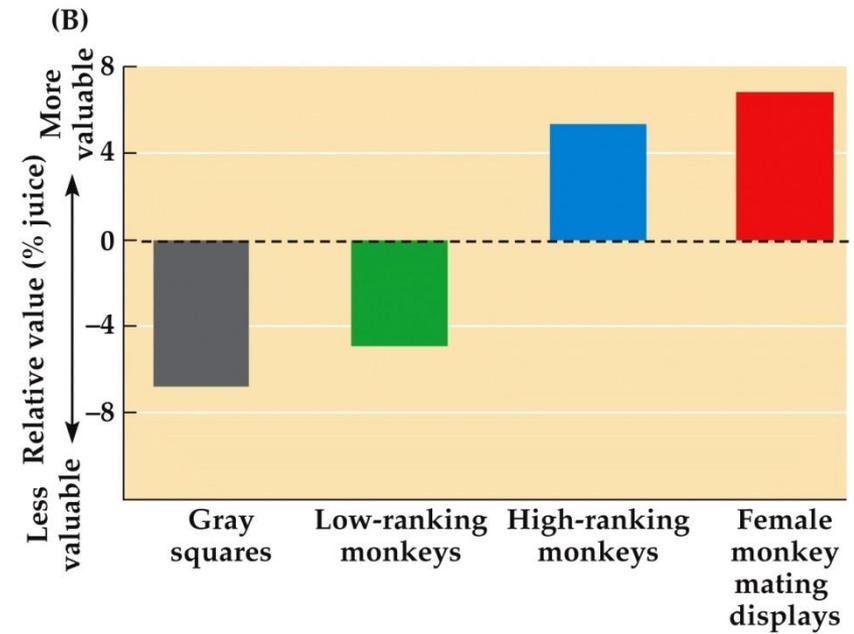
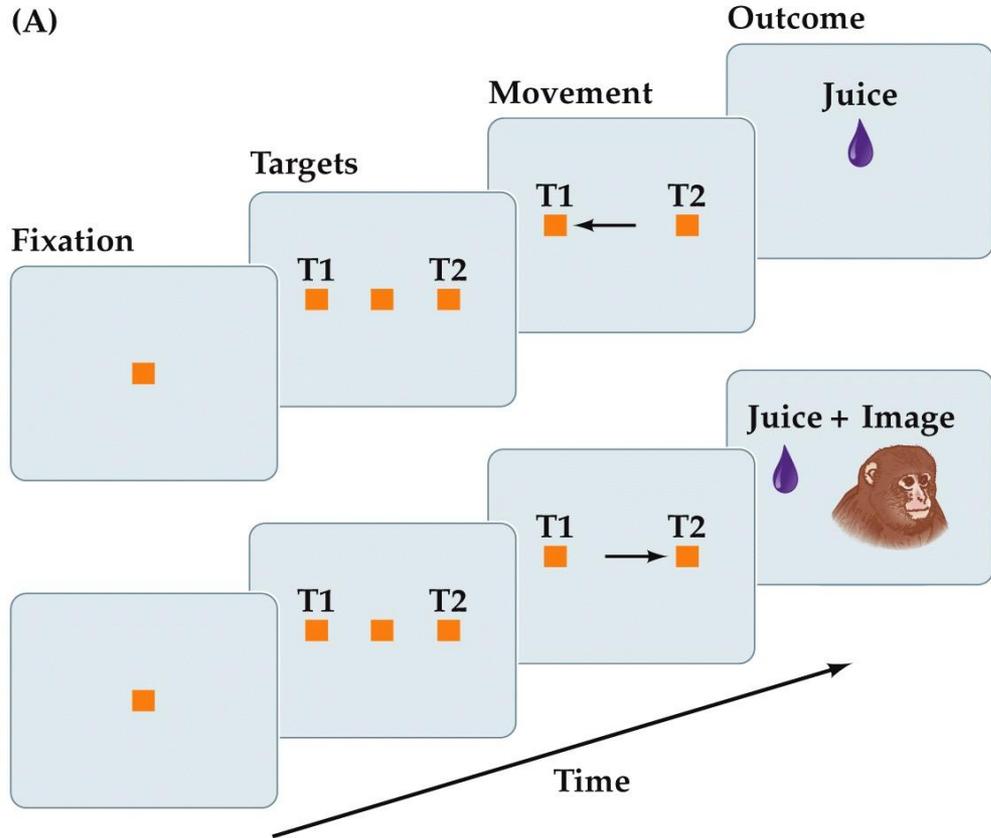
Bilder lächelnder vs. ärgerlicher Gesichtern

Geldgewinne vs. Verluste



Current Opinion in Neurobiology

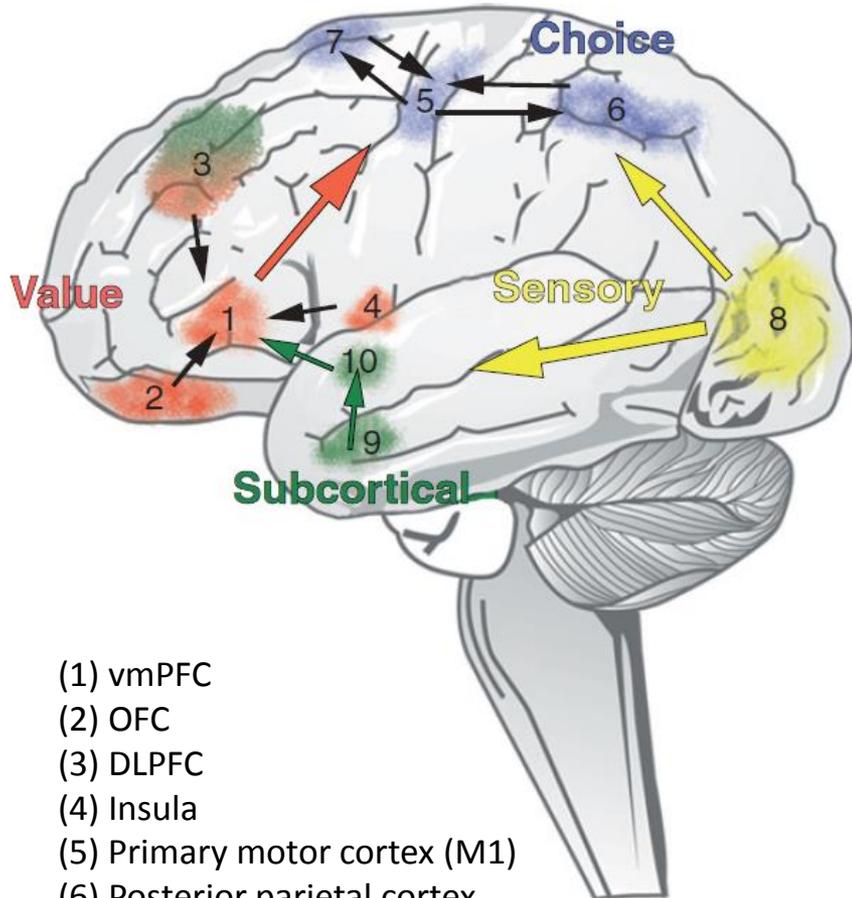
Trading social rewards for juice in a pay-per-view task



PRINCIPLES OF COGNITIVE NEUROSCIENCE 2e, Figure 14.14 (Part 2)
© 2013 Sinauer Associates, Inc.

PRINCIPLES OF COGNITIVE NEUROSCIENCE 2e, Figure 14.14 (Part 1)
© 2013 Sinauer Associates, Inc.

Hypothese eines einheitlichen Wertsignals



- (1) vmPFC
- (2) OFC
- (3) DLPFC
- (4) Insula
- (5) Primary motor cortex (M1)
- (6) Posterior parietal cortex
- (7) frontal eye fields
- (8) Visual cortex
- (9) Amygdala
- (10) Striatum.

Current Opinion in Neurobiology

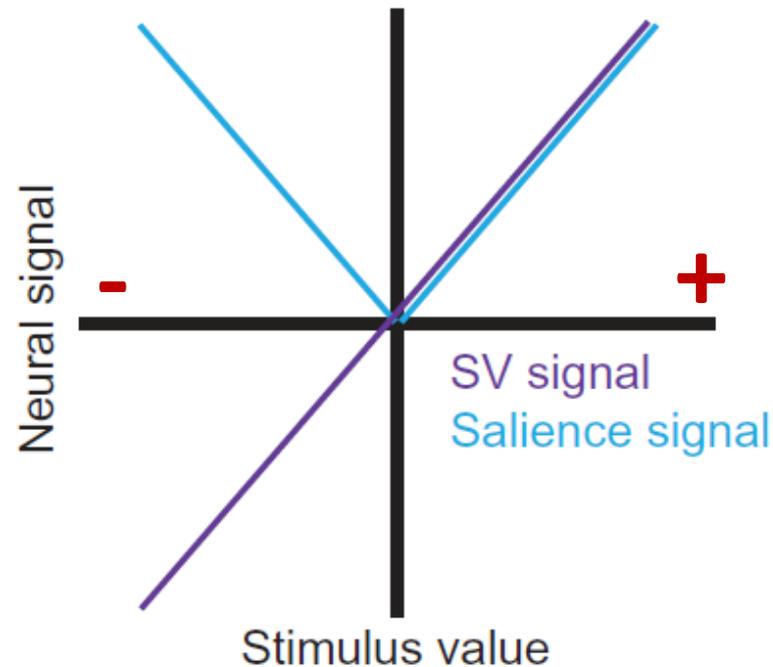
- Information aus kortikalen und subkortikalen Regionen konvergiert in einem einheitlichen Wertsignal, das das Wahlverhalten bestimmt
- Dieses Wertsignal wird moduliert durch interne Zustände (Arousal, Sättigung, Bedürfnisse, Hormonlevel, etc.) und emotionale Faktoren

Levy & Glimcher (2012). Curr. Op. Neurobiol.

Mögliche Konfundierungen

- Reiz-Werte können mit Salienz-Signalen konfundiert sein
- Kann in Experimenten, in denen nur zwischen positiven Belohnungen entschieden werden soll, nicht separiert werden

(B) Stimulus value and stimulus salience

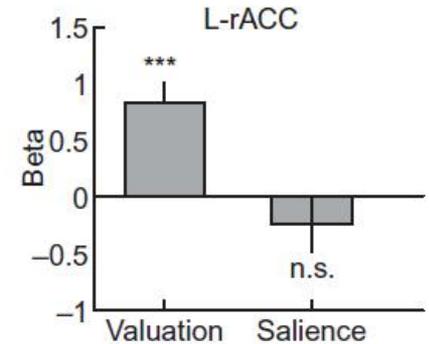
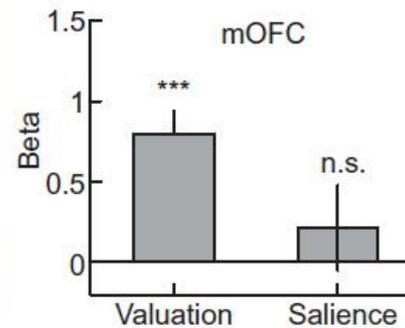
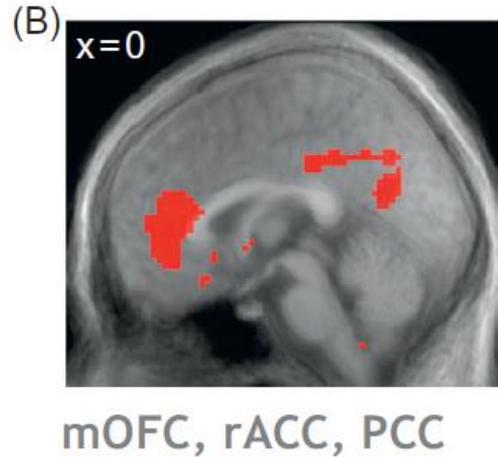


Separierung von Wert- und Salienzsignalen

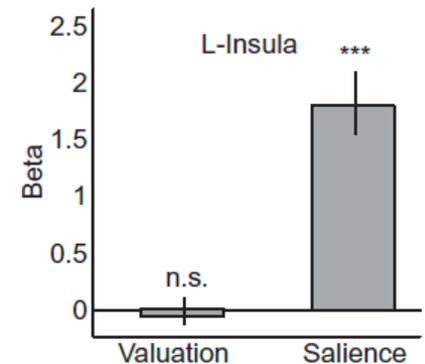
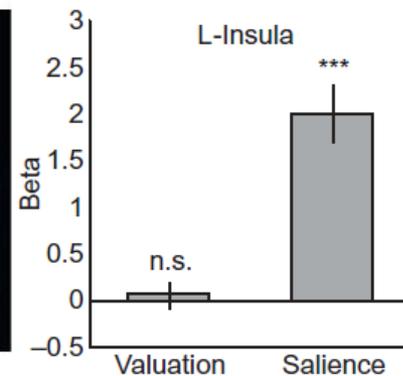
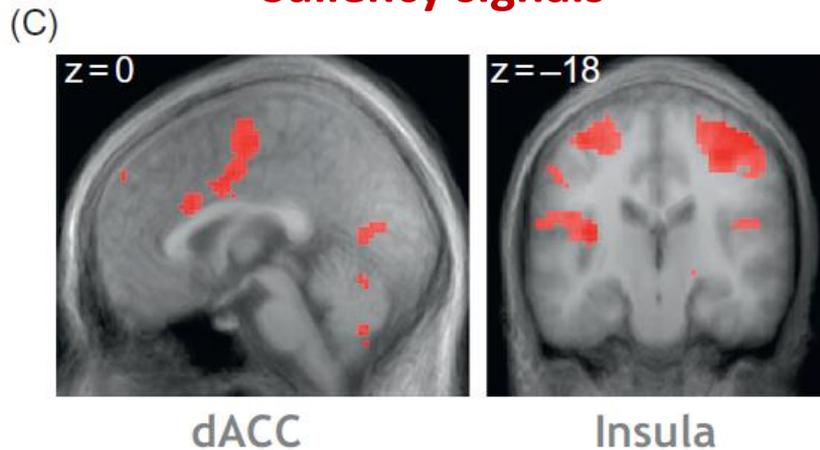
- Probanden sollten für attraktive und aversive Nahrung angeben, ob sie diese am Ende des Experiments essen wollten (eine zufällig ausgewählte Entscheidung wurde am Ende umgesetzt)
 - Wertsignale sollten monoton mit Attraktivität der Items steigen
 - Salienzsignale sollten U-förmige Funktion zeigen (hoch für attraktive & aversive Items; niedrig für neutrale Items)

Separierung von Wert- und Salienzsignalen

Value signals



Saliency signals



Wie werden Werte verschiedener Optionen zu einer Entscheidung integriert?

