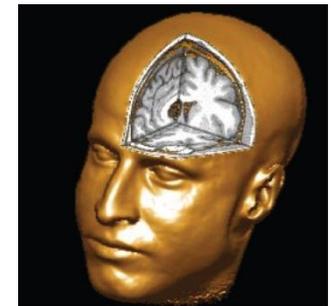
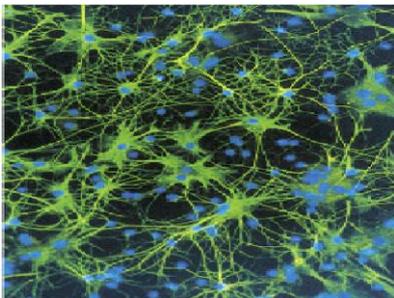




Vorlesung WS 2014/15
Kognitive Neurowissenschaft

Neuronale Mechanismen von Entscheidungen II. Repräsentation von Wertsignalen

Thomas Goschke



Literatur

■ Lehrbuchkapitel

- Purves et al. (2013). *Principles of Cognitive Neuroscience* (2nd. ed.). Sinauer Associates. Chapter 14: Decision Making.
- Rangel, A. & Clithero, J. A. (2014). The computation of stimulus values in simple choice. In Glimcher, P. W. & Fehr, E. (2014). *Neuroeconomics. Decision making and the brain* (2nd Ed.). Chapter 8. London: Academic Press.

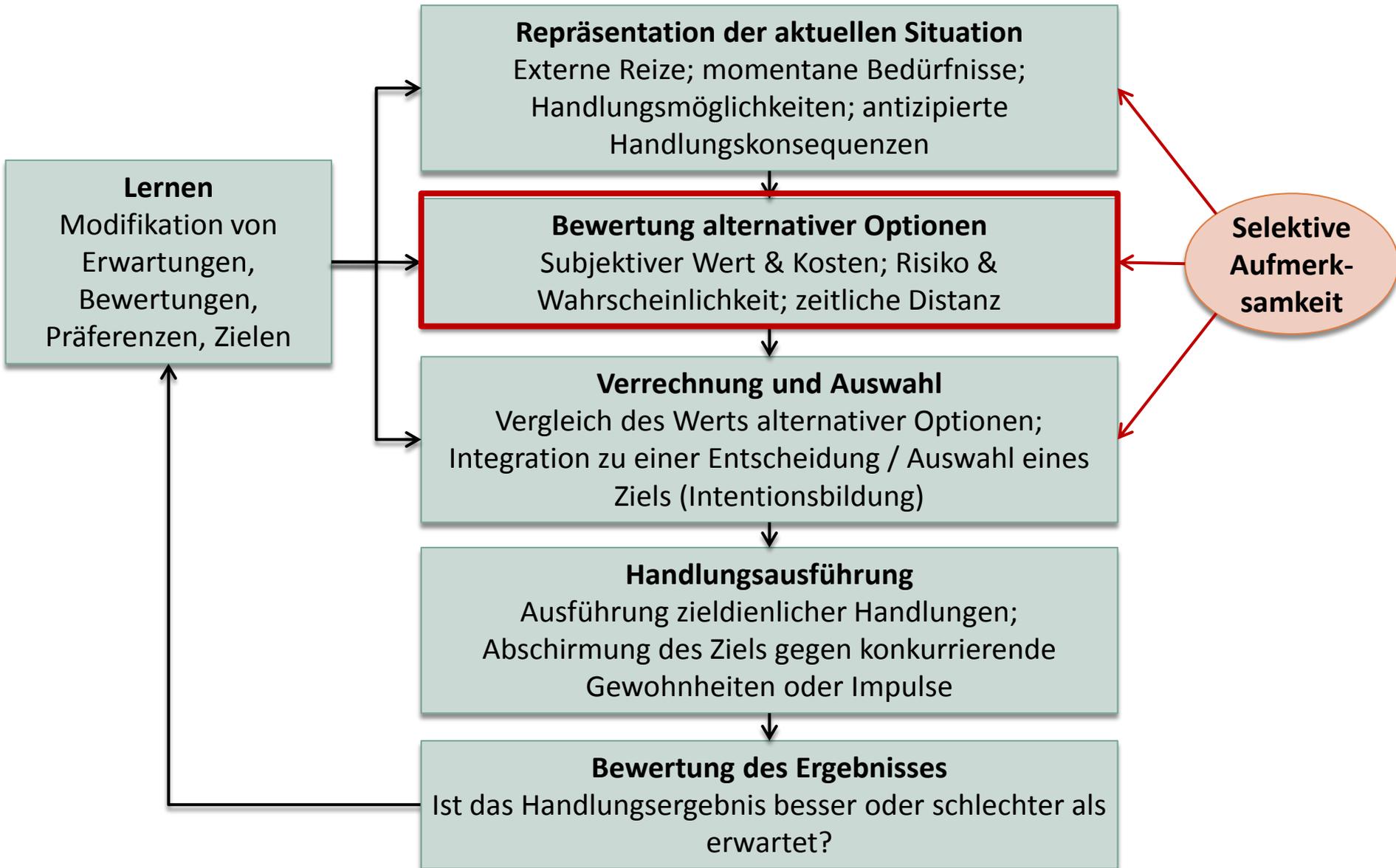
■ Übersichtsartikel

- 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.

■ Handbuch

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

Der Prozess des Entscheidens: Ein Rahmenmodell



Teilprozesse bei Entscheidungen zwischen multiplen Optionen

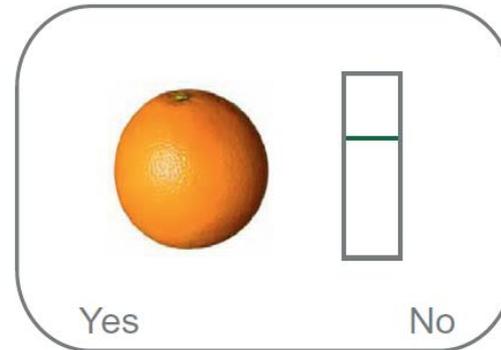
1. Vor einer Entscheidung werden Wertsignale für die verschiedenen Optionen generiert, indem Informationen über die Attraktivität der Attribute der Optionen integriert werden
2. Entscheidungen beruhen auf einem Vergleich der Wertsignale, der als Drift-Diffusions-Prozess beschrieben werden kann
3. Die Gewichtung, mit der Wertsignale in den Vergleichsprozess eingehen, wird durch Aufmerksamkeitsprozesse moduliert
4. Wenn die gewählte Option realisiert wird / konsumiert wird, wird ein Nutzensignal generiert und mit dem erwarteten Nutzen verglichen

Neuronale Kodierung 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 über die hedonistischen Effekte alternativer Optionen darstellen
- Entscheidungsverhalten wird kausal durch diese Wertsignale bestimmt

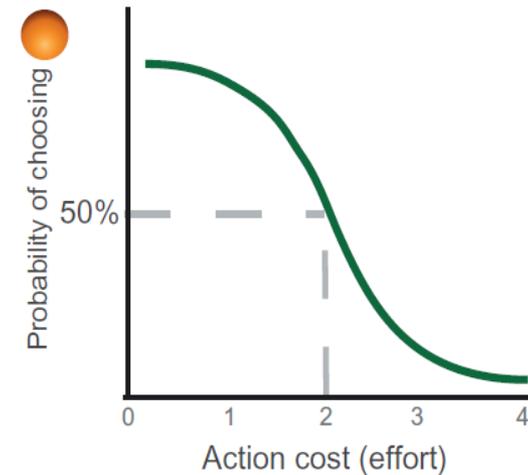
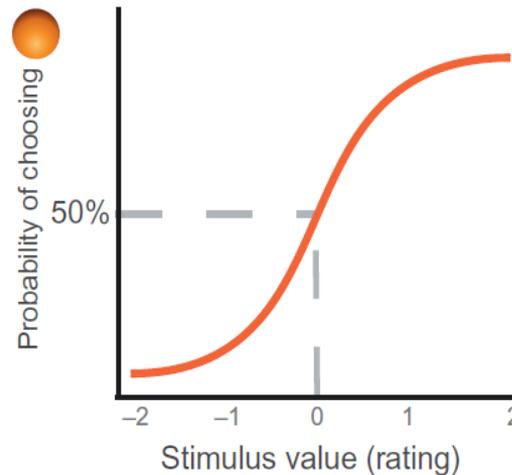
Stimuluswerte und Handlungskosten

- 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



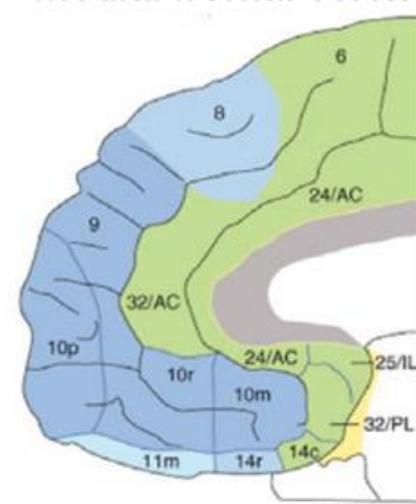
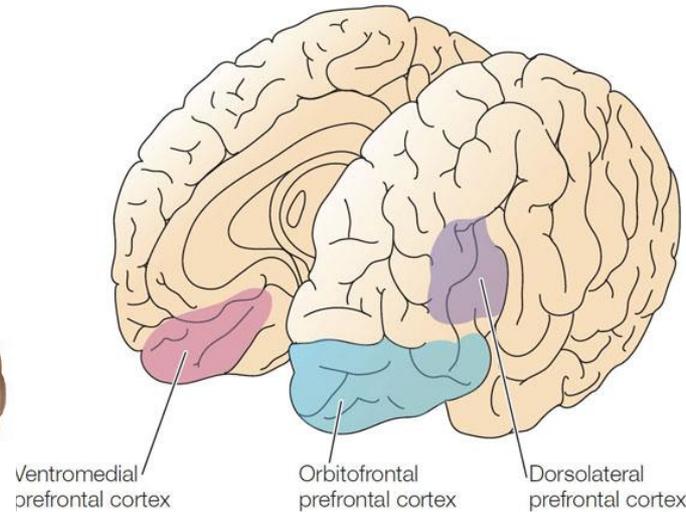
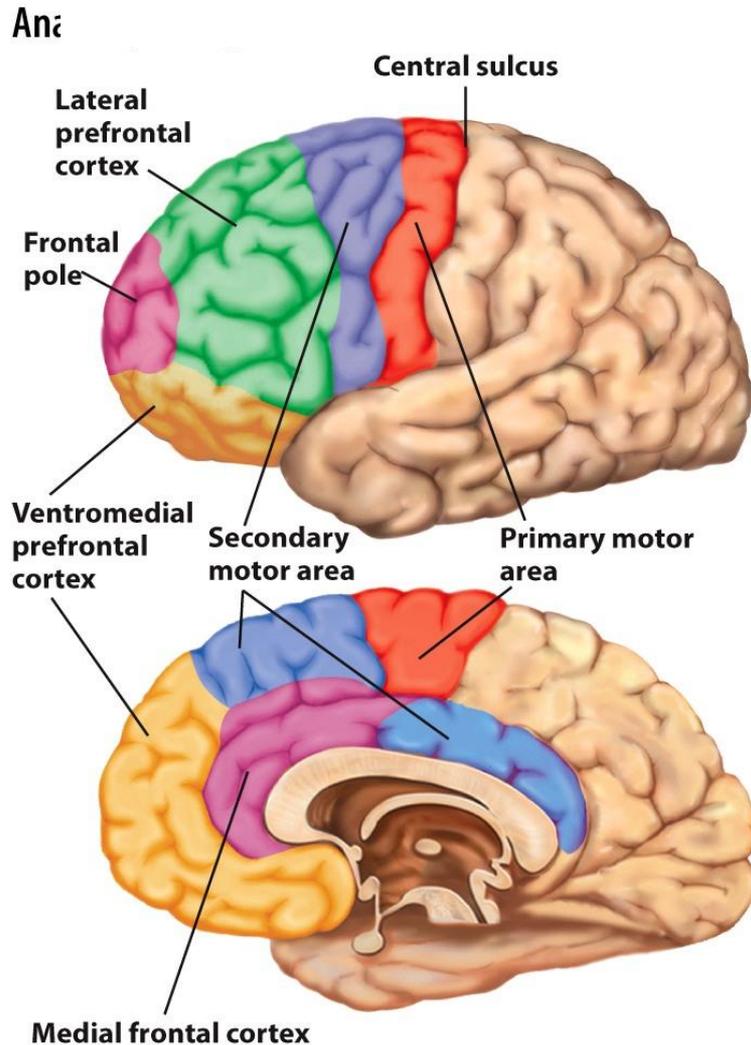
Wie kann man herausfinden, ob und wo im Gehirn Wertsignale berechnet werden?

- (1) Verhaltensdaten: Messung subjektiver Bewertungen von Reizen
 - 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 (“revealed preferences”)

- (2) Messung neuronaler Aktivität während des Entscheidungsprozesses

- (3) Statistische Tests, ob neuronale Aktivität in bestimmten Hirnregionen durch Wertsignale moduliert wird
 - Korrelationen zwischen Wertsignalen und neuronaler Aktivität in bestimmten Hirnregionen wird als Beleg dafür interpretiert, dass diese Hirnregion in die Berechnung / Repräsentation des Wertsignals involviert ist

Ventromedialer präfrontaler Kortex



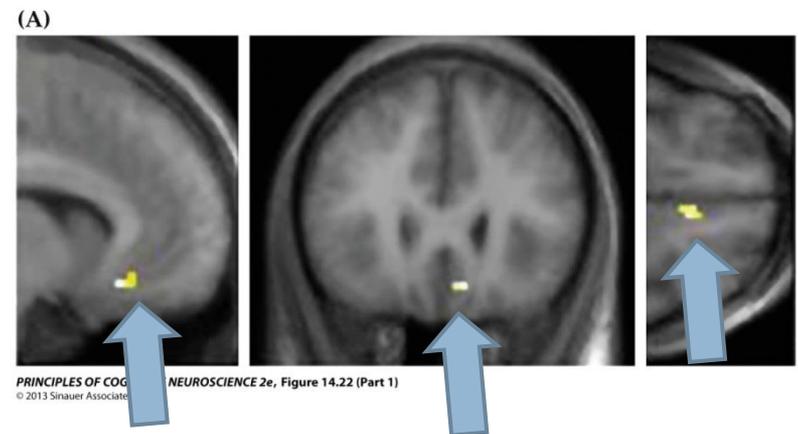
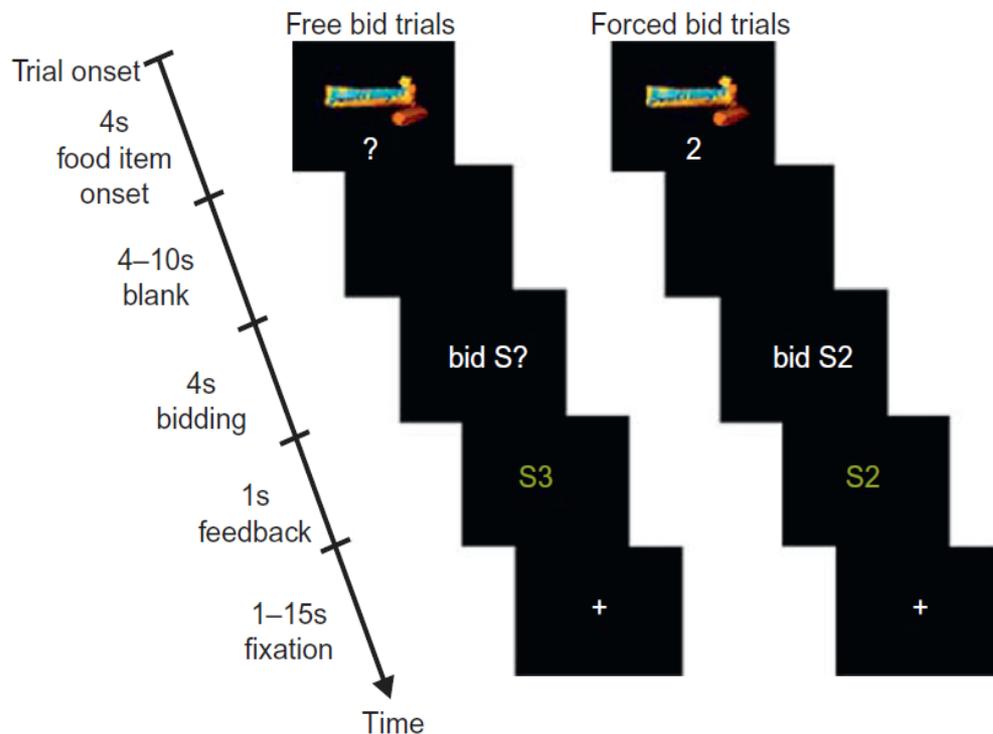
© 2011 Sinauer

- Parts of medial OFC (BA 11 & 14)
 - Part of ventral medial cortex (BA 10)
 - *not* central or lateral OFC (BA 13, 12/47)
 - reciprocally connected with areas involved in affect and cognition: hippocampus, amygdala, hypothalamus, striatum, and parts of PFC
 - weakly connected with motor areas
- good position to compute stimulus values

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)



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

- Zahlreiche Studien haben Evidenz dafür gefunden, dass der vmPFC eine zentrale Rolle bei der Kodierung des Werts unterschiedlicher Reize spielt
- Unterschiedliche werthaltige Reize
 - Geldgewinne, Nahrungsmittel, attraktive Gesichter, Spenden für Wohltätigkeitsorganisationen
- Unterschiedliche Entscheidungsparadigmen
 - binäre Wahlen; Kaufentscheidungen; Auktionen & Wetten; Präferenzratings

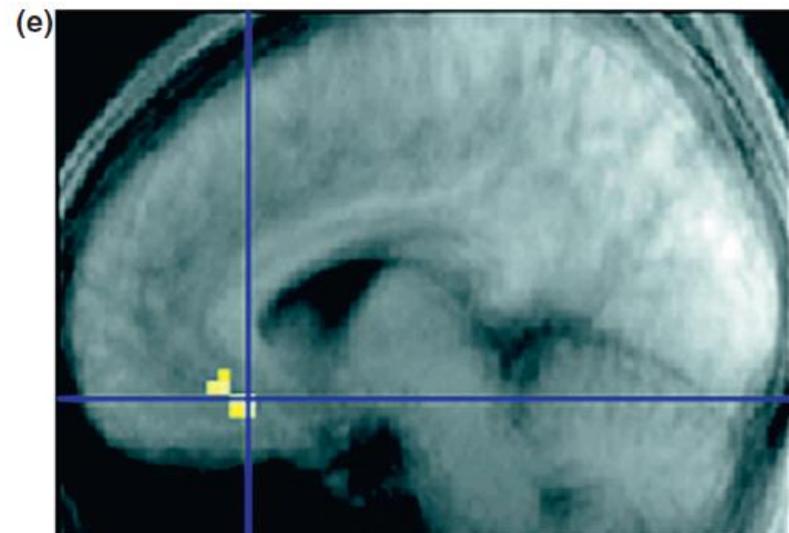
Neuronale Korrelate von Stimulus-Wert-Signalen im ventromedialen Präfrontalkortex



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 monetären und primären Verstärkern

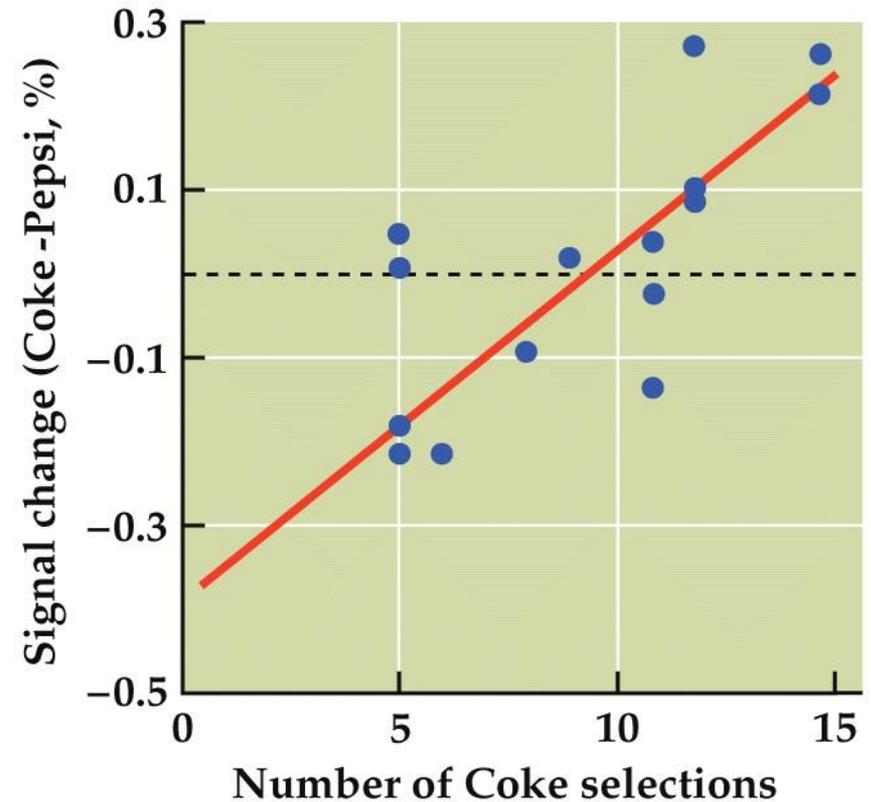
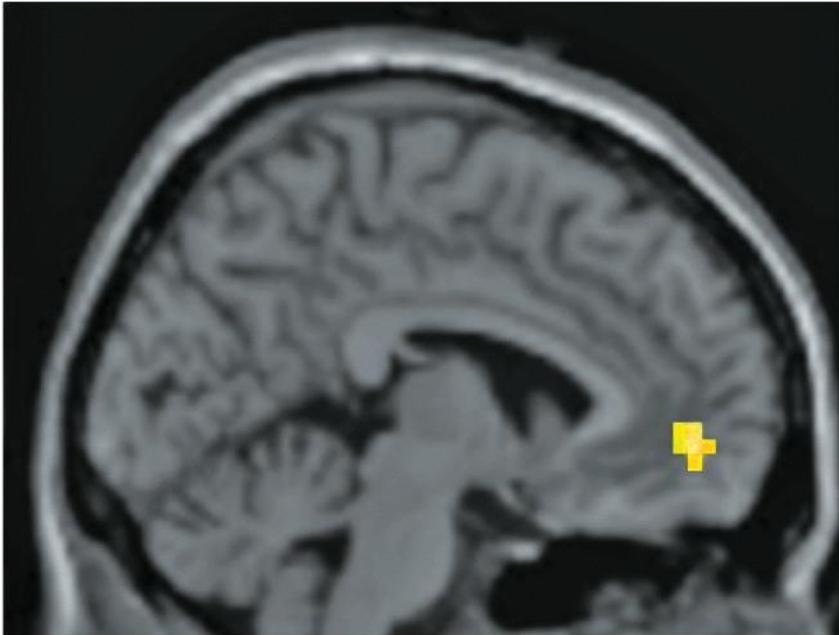
Region im vmPFC, deren Aktivierung mit dem subjektiven Wert sowohl von Geld als auch Fruchtsaft korreliert war



Current Opinion in Neurobiology

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

Aktivierung im vmPFC spiegelt subjektive Präferenzen für Coke vs. Pepsi

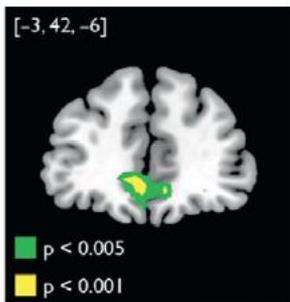


PRINCIPLES OF COGNITIVE NEUROSCIENCE 2e, Box 14C
© 2013 Sinauer Associates, Inc.

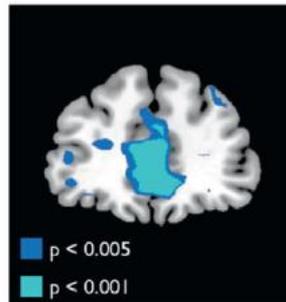
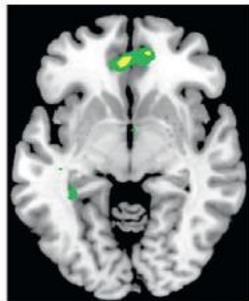
McClure et al. 2004, *Neuron*

Neuronale Wertsignale im vmPFC für unterschiedliche Arten von Belohnungen

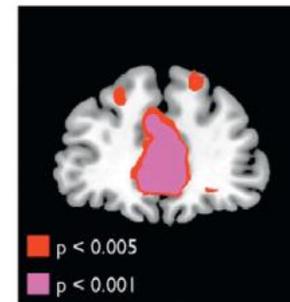
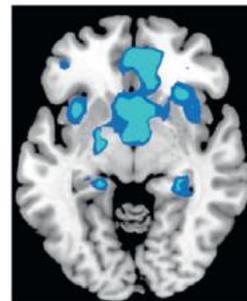
- Probanden sollten zwischen einem konstanten Referenzitem und drei Arten von Gütern wählen:
 - Geldgewinne
 - Snacks
 - Tand aus dem Caltech Bookstore
- Aktivierung im vmPFC korrelierte mit den Stimulus-Werten unabhängig von der Art der Objekte



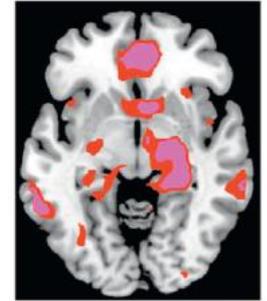
Money



Snacks



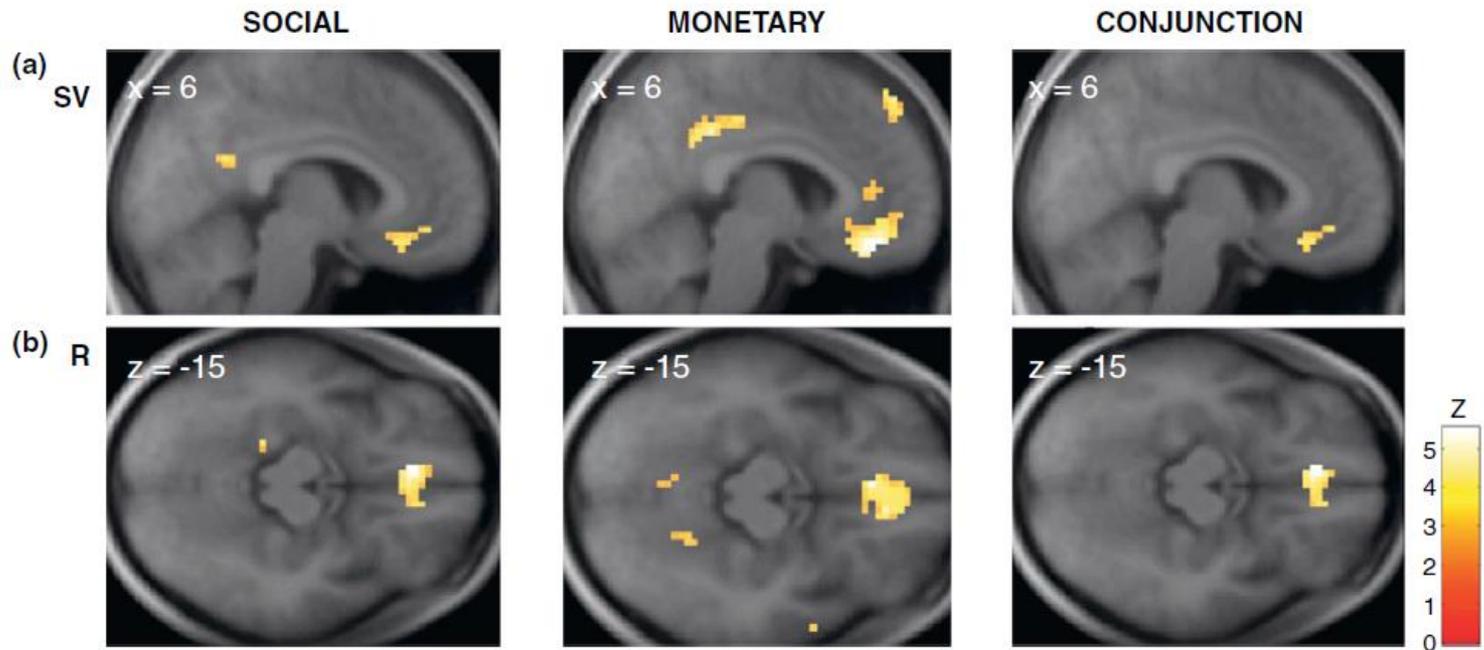
Trinkets



Aktivierung im ventromedialen Präfrontalkortex in Reaktion auf soziale und monetäre Werte

Bilder lächelnder
vs. ärgerlicher
Gesichtern

Geldgewinne vs.
Verluste

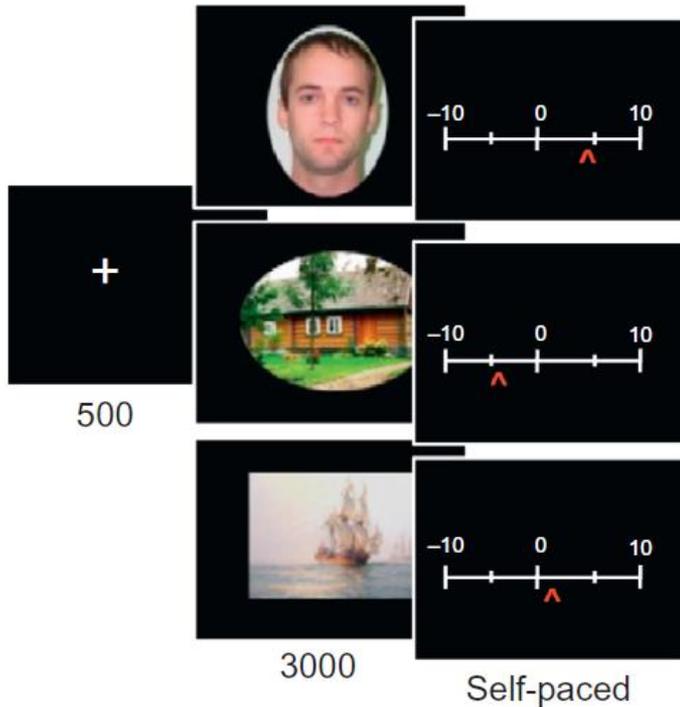


Current Opinion in Neurobiology

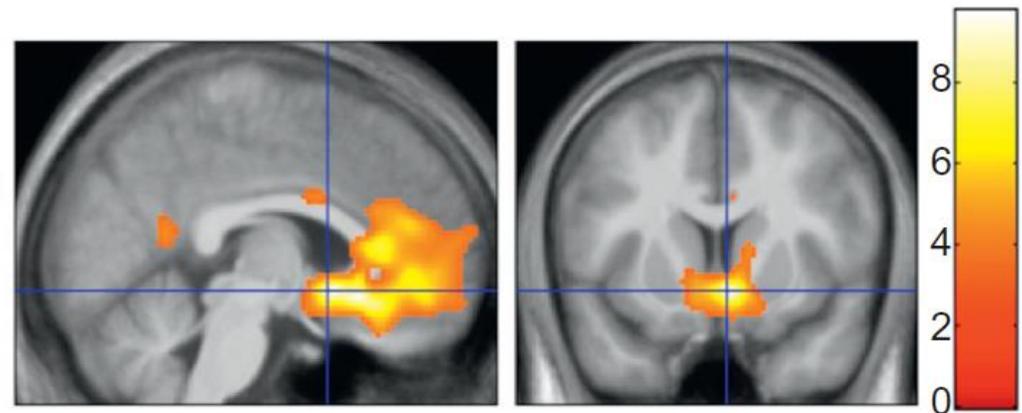
Wertsignale im vmPFC bei der passiven Darbietung von Bildern

Lebreton et al. (2009)

Probanden schätzten die Attraktivität von Gesichtern, Häusern und Gemälden ein



Die subjektive Attraktivität der Reize korrelierte mit Aktivierung im vmPFC und ventralen Striatum



Wertsignale im vmPFC sagen die Bereitschaft vorher, für soziale Verstärker zu zahlen

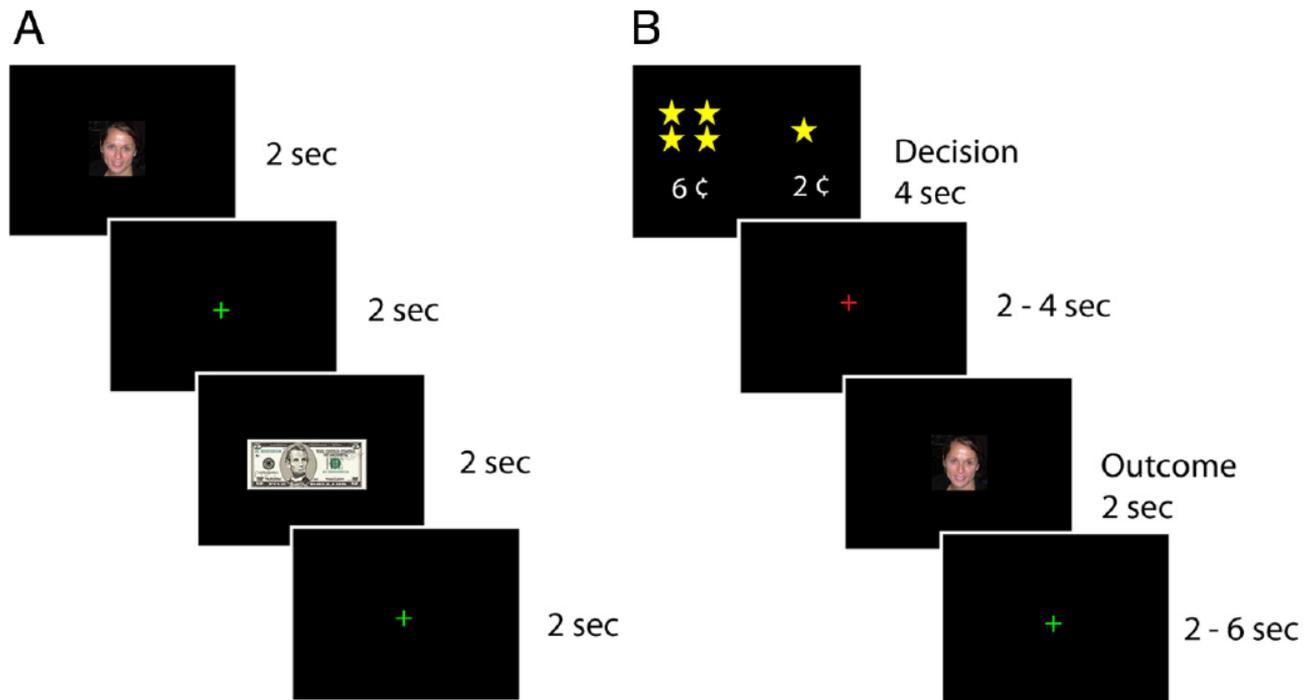
Smith et al (2010). J. Neurosc.

Phase 1:

Probanden sahen passiv Gesichter oder erhielten Geldgewinne

Phase 2:

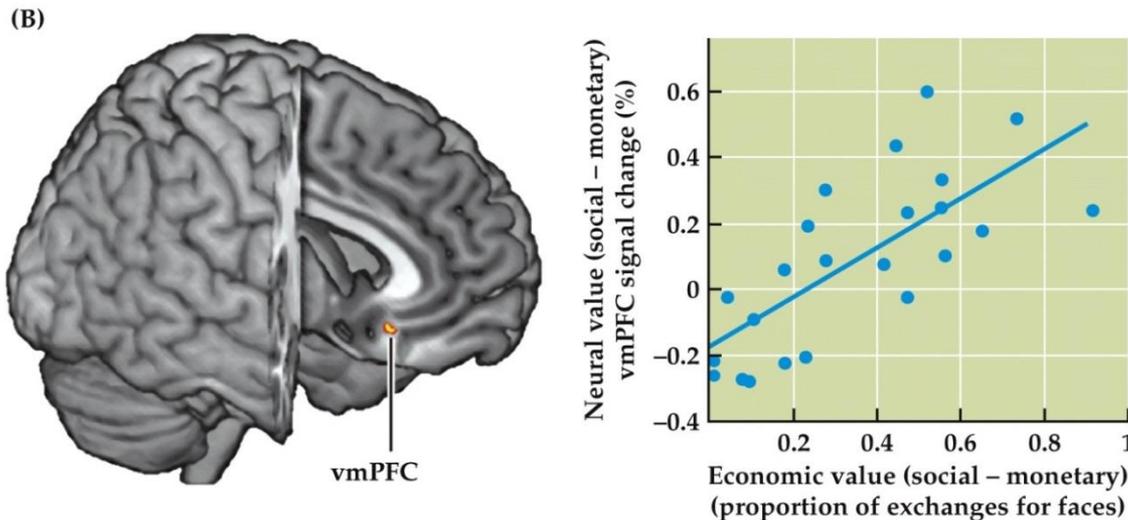
Probanden mussten sich entscheiden, wie viel Geld sie bezahlen wollten, um ein Gesicht anzusehen, wobei sie wählen konnten, ob sich mehr Geld für ein attraktives Gesicht oder weniger Geld für ein weniger attraktives Gesicht ausgeben wollten



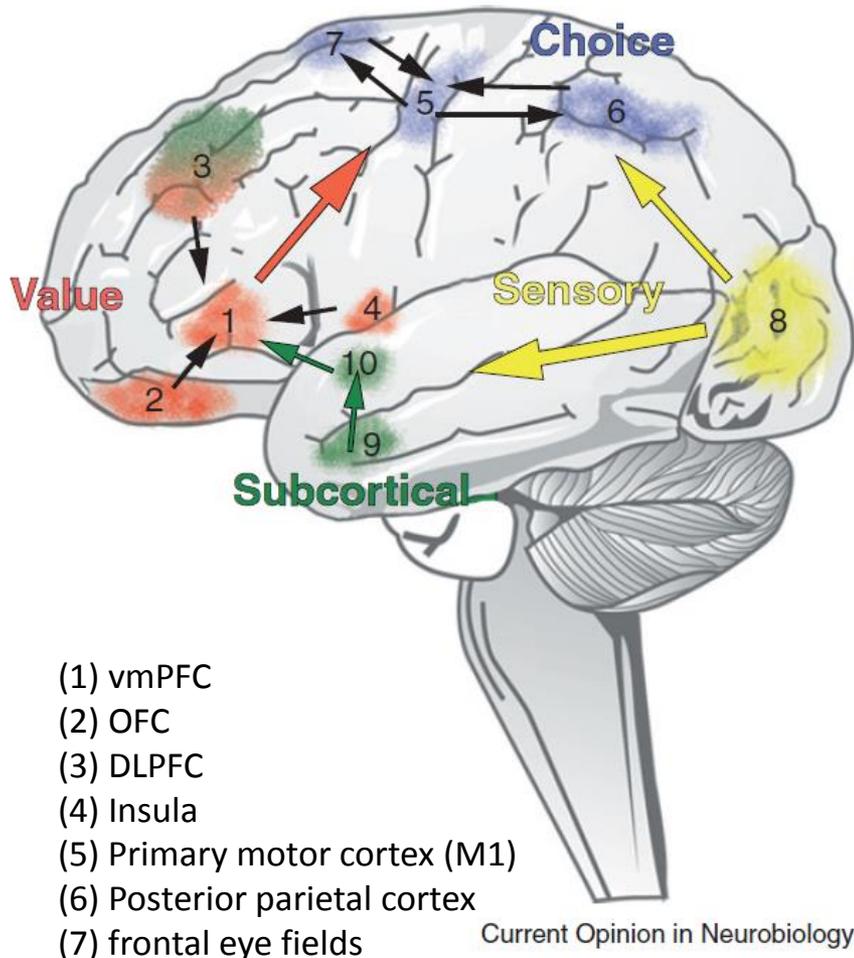
Wertsignale im vmPFC sagen die Bereitschaft vorher, für soziale Verstärker zu zahlen

Smith et al (2010). J. Neurosc.

- Relative vmPFC Aktivierung auf Gesichter und Geldgewinne (Phase 1) sagte die spätere Bereitschaft vorher, in Phase 2 Geld gegen attraktive Gesichter zu tauschen
 - Probanden mit der größten Aktivierung für soziale relativ zu monetären Belohnungen waren eher bereit, Geld gegen attraktiven Gesichter zu tauschen
 - Probanden mit der geringsten Aktivierung für sozial relativ zu monetären Belohnungen waren selten bereit, Geld gegen attraktive Gesichter zu tauschen



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.

- Information aus kortikalen und subkortikalen Regionen konvergiert in einem Wertsignal im vmPFC, welches das Wahlverhalten bestimmt
- Wertsignale werden moduliert durch interne Zustände (Arousal, Sättigung, Bedürfnisse, Emotionen, Aufmerksamkeitsfokus etc.)

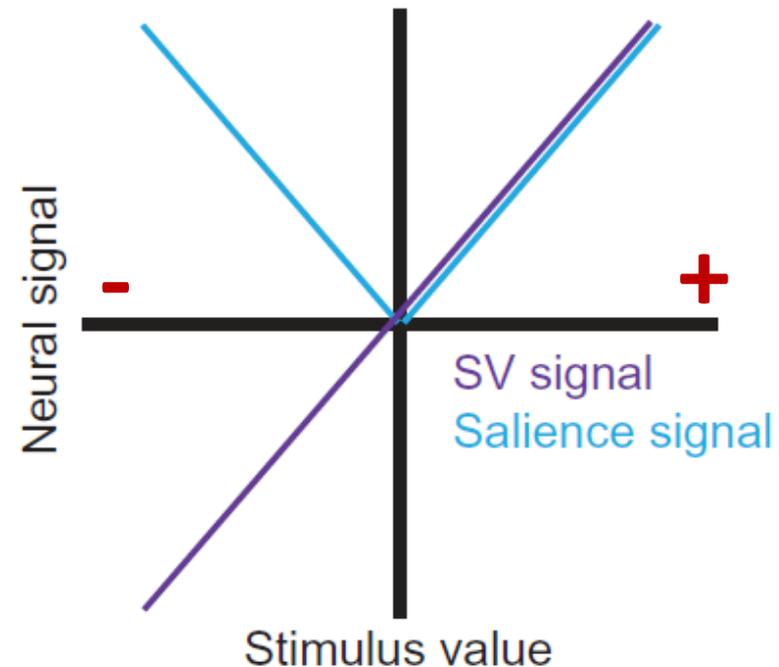
Levy & Glimcher (2012). Curr. Op. Neurobiol.

Mögliche Konfundierungen

Mögliche Konfundierungen: Salienz

- Der subjektive Wert von Reizen ist häufig mit anderen Reizmerkmalen konfundiert
 - Arousal
 - Aufmerksamkeit
 - motivationale Relevanz
 - Salienz (Auffälligkeit; Bedeutsamkeit)
- Wert und Salienz können in Experimenten, in denen nur zwischen positiven Belohnungen entschieden werden soll, nicht separiert werden
- Erfordert Design mit appetitiven und aversiven Reizen

(B) Stimulus value and stimulus salience



Separierung von Wert- und Salienzsignalen

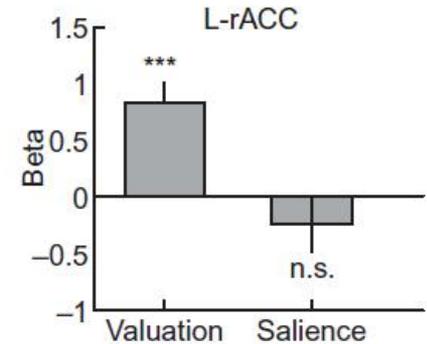
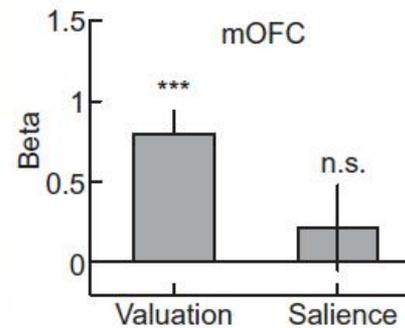
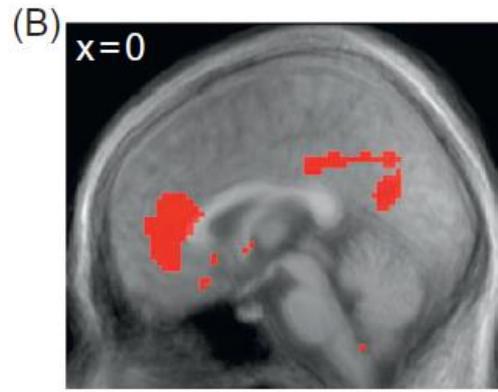
(Litt et al., 2011)

- Probanden sollten für attraktive und aversive Nahrung entscheiden, 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-förmigen Zusammenhang zeigen: hoch für attraktive & aversive Items; niedrig für neutrale Items

Separierung von Wert- und Saliensignalen

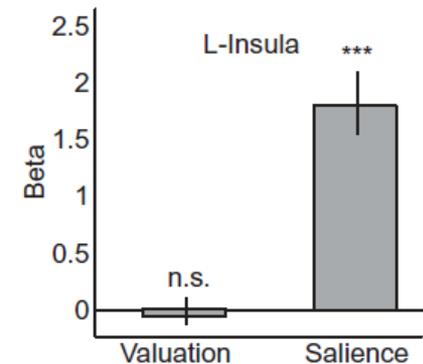
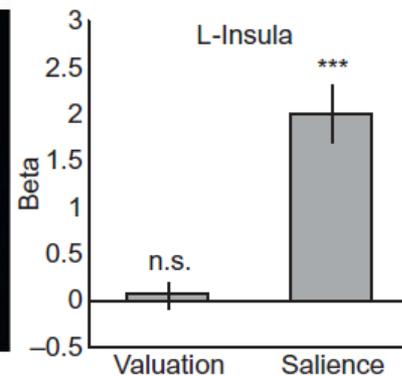
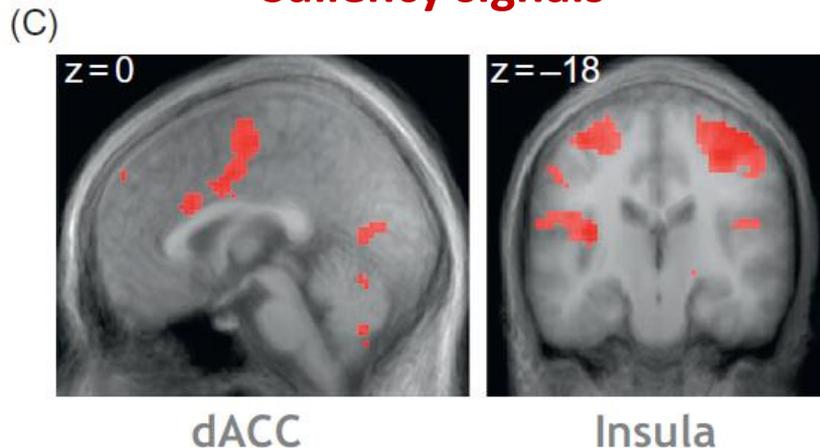
(Litt et al., 2011)

Value signals



mOFC, rACC, PCC

Saliency signals

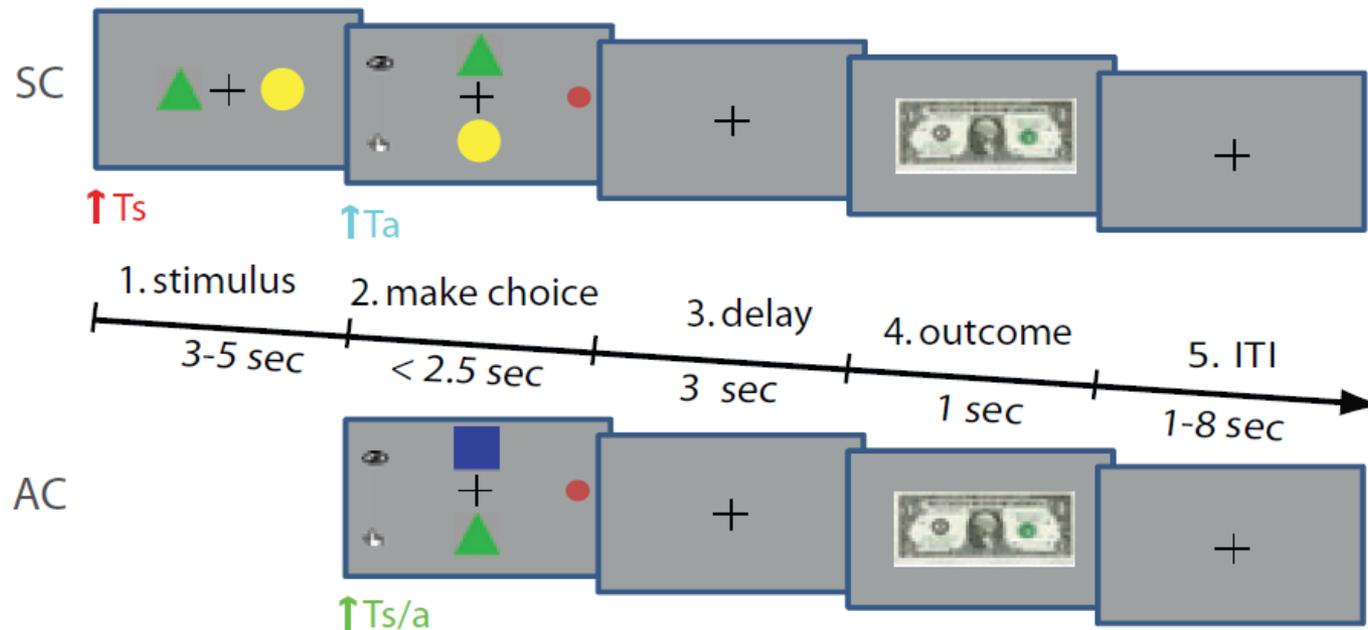


Mögliche Konfundierungen: Separierung von Reizwerten und Handlungskosten

- Neuronale Aktivität, die Kombination von Reizwerten und Handlungskosten kodiert, kann fälschlich als reines Reizwertsignal interpretiert werden
- z.B. neuronale Aktivität, die die Differenz von Reizwert minus Handlungskosten kodiert

Mögliche Konfundierungen: Separierung von Reizwerten und Handlungskosten

Wunderlich et al. (2010)

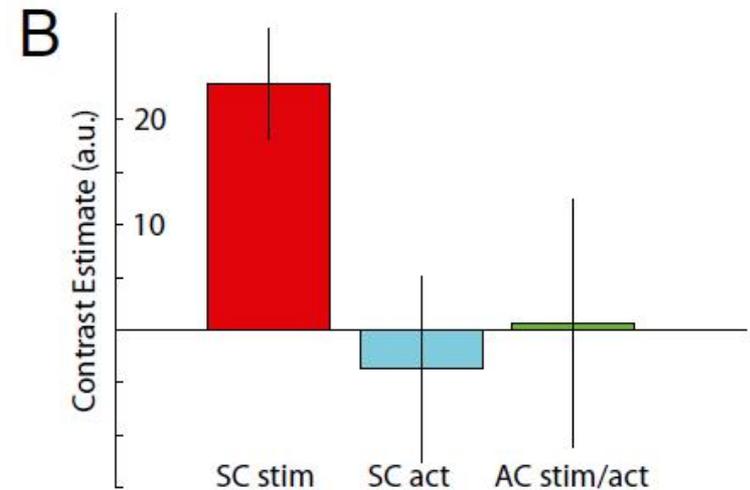
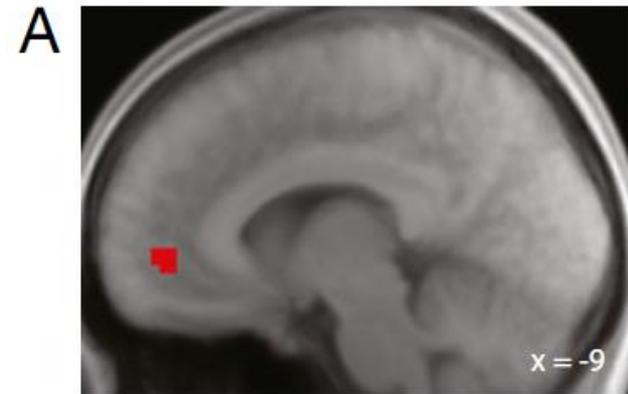


- Probanden sollten sich zwischen zwei Reizen entscheiden, die zu einem Gewinn oder keinem Gewinn führen konnten
- Stimulus-Bedingung (SC): Probanden erfuhren erst nach der Entscheidung, welche Handlung (Blickbewegung oder Tastendruck) erforderlich waren, um die gewählte Option zu erhalten
- Handlungsbedingung (AC): Probanden sahen sofort die Reiz-Handlungs-Assoziationen

Separierung von Reizwerten und Handlungskosten

Wunderlich et al. (2010)

- Aktivierung im vmPFC war signifikant mit dem mittleren Wert der beiden Reize in SC-Durchgängen korreliert (also bevor die Probanden die Handlungskosten einschätzen konnten)
- Die Aktivierung in dieser Region korrelierte nur mit dem Wert der gewählten Reize in SC-Durchgängen, nicht aber in AC-Durchgängen und nicht zum Zeitpunkt der Darbietung der Reiz-Handlungs-Assoziation in SC-Durchgängen



Wunderlich et al. (2010). Economic choices can be made using only stimulus values. PNAS.

Weitere mögliche Konfundierungen: Reaktionszeitunterschiede

- Unterschiede in Reaktionszeiten müssen berücksichtigt werden, wenn man neuronale Reaktionen auf Reizwerte untersuchen möchte

(C) Specification of stimulus value computation time

