

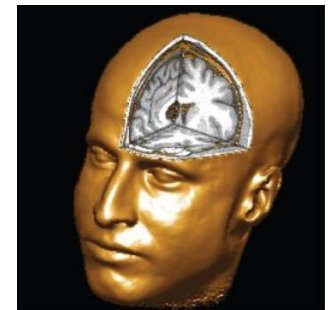
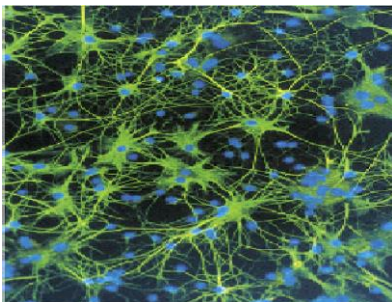


Vorlesung WS 2014/15
Kognitive Neurowissenschaft

Neuronale Mechanismen von Entscheidungen

I. Grundlegende Konzepte

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.

Überblick über die weiteren Vorlesungen

■ Teil I. Was determiniert unsere Entscheidungen?

- Wie werden Bewertungen im Gehirn repräsentiert und zu einer Entscheidung integriert?
- Wie lernen wir den Wert von Handlungen und Dingen?
- Wie interagieren multiple Bewertungssysteme?
- Warum treffen wir mitunter irrationale Entscheidungen?

■ Teil II. Welche Mechanismen liegen willentlichen Handlungen zugrunde?

- Welche neurokognitiven Mechanismen liegen der willentlichen Handlungssteuerung zugrunde?
- Werden unsere Handlungen durch unbewusste Gehirnprozesse determiniert?
- Wie werden Absichten im Gehirn repräsentiert?
- Welche Rolle spielt der präfrontale Kortex bei kognitiven Kontrollfunktionen?
- Wie werden kognitive Kontrollprozesse durch Emotionen und Stress beeinflusst?
- Wie kommt es zu Beeinträchtigungen der Selbststeuerung bei psychischen Störungen?

The image shows three translucent blue sea squirts (ascidians) growing on a rocky seabed. They have a vase-like shape with a flared top. The background is dark, and there are some other marine organisms visible, including a small orange fish on the left and some purple and green structures on the right. The text "Warum haben wir ein Gehirn?" is overlaid in the center in yellow.

Warum haben wir ein Gehirn?



Warum haben wir ein Gehirn?

Um Bewegungen zu steuern!





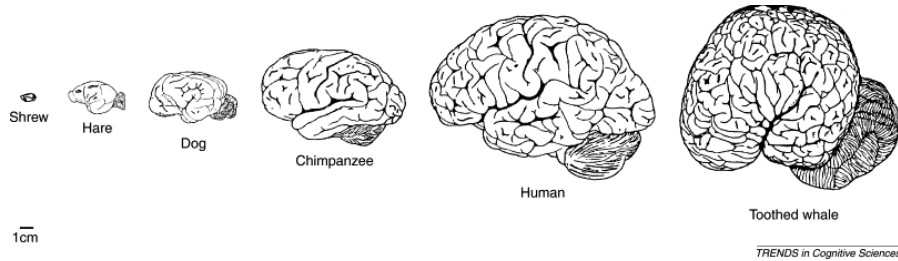
What to do next?

„Höhere“ kognitive und volitionale Funktionen sind evolutionäre Antworten auf das fundamentale Problem der adaptiven Verhaltensselektion

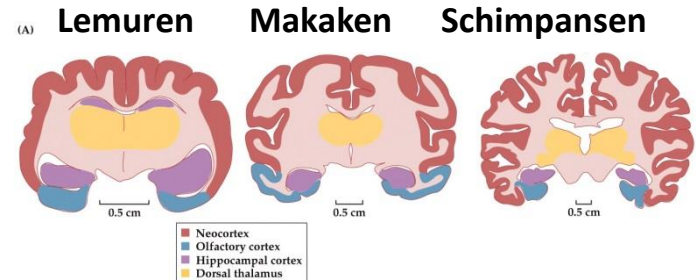


Vom Reflex zum Entscheiden

Absolute Gehirngröße

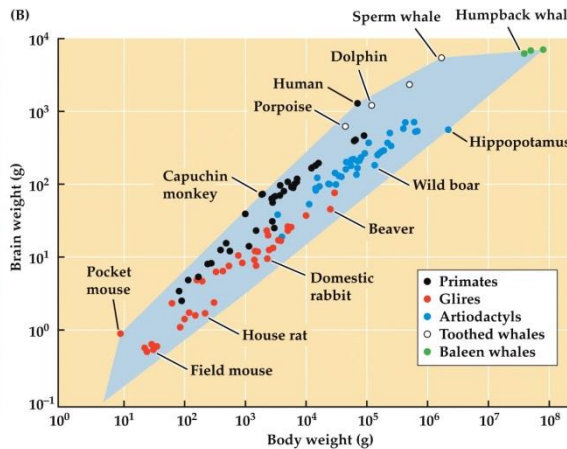
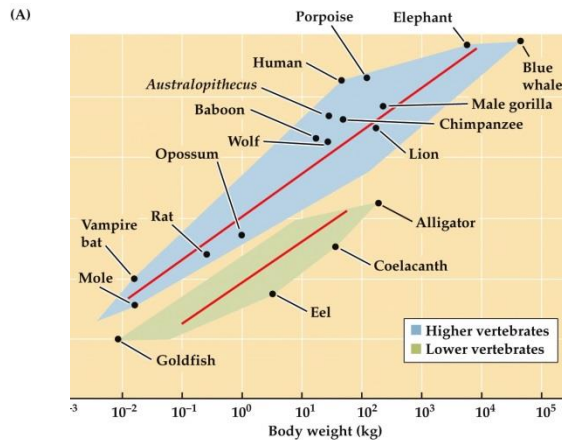


Neokortexvolumen relativ zum Gehirnvolumen



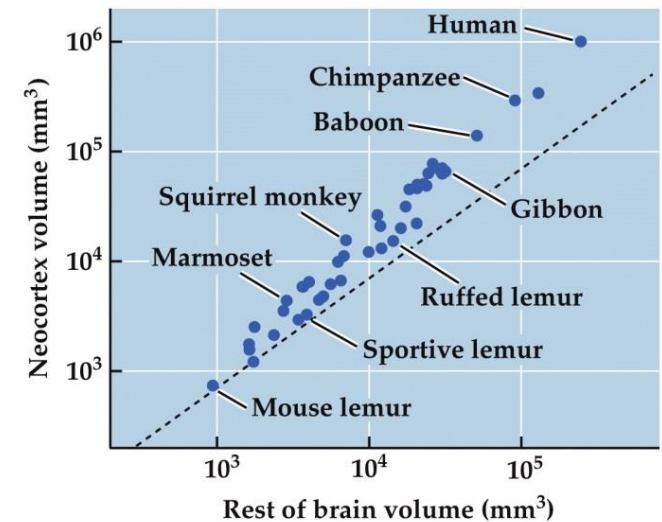
PRINCIPLES OF COGNITIVE NEUROSCIENCE 2e, Figure 15.8 (Part 1)
© 2013 Sinauer Associates, Inc.

Gehirngewicht relativ zu Körpergewicht



PRINCIPLES OF COGNITIVE NEUROSCIENCE 2e, Figure 15.7 (Part 2)
© 2013 Sinauer Associates, Inc.

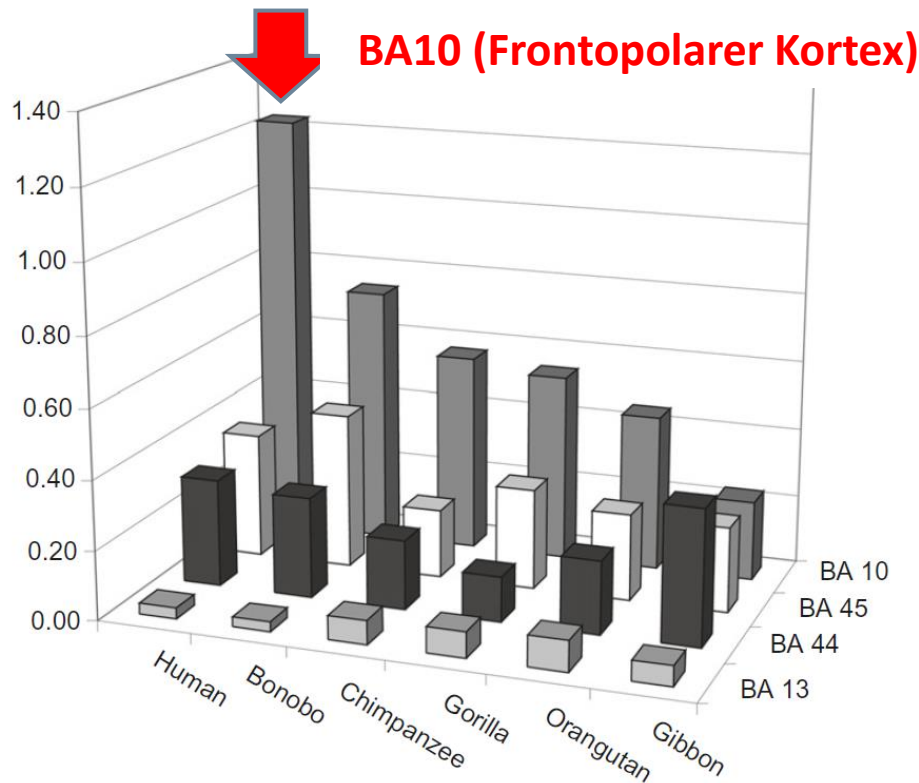
(B) Neocortex versus rest of brain



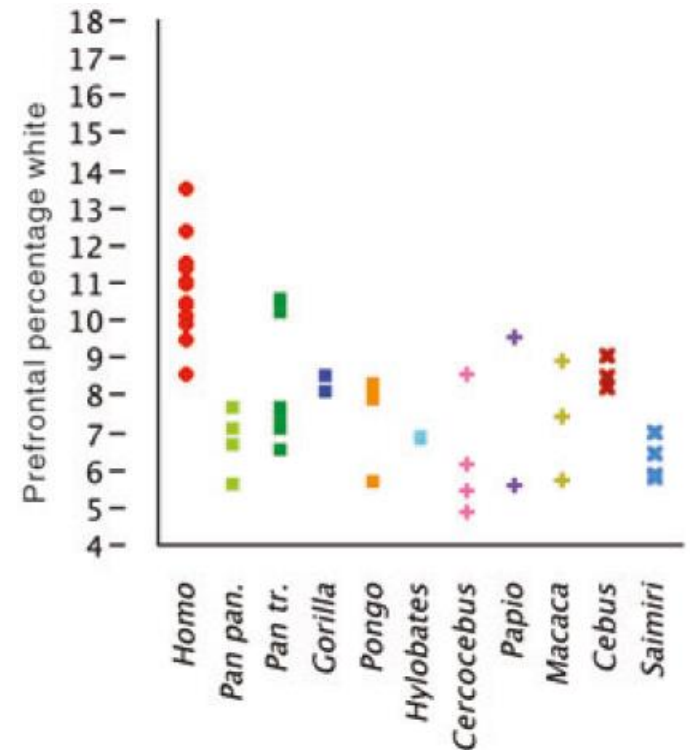
PRINCIPLES OF COGNITIVE NEUROSCIENCE 2e, Figure 15.8 (Part 2)
© 2013 Sinauer Associates, Inc.

Vom Reflex zum Entscheiden

Relative volumes (% brain size) of 4 regions of the prefrontal cortex in humans and great apes



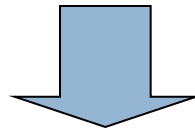
Percentage of cerebral white matter volume that is prefrontal for individuals in 11 primate species (derived from MR-scans)



Vom Reflex zur Entscheidung: Besonderheiten der menschlichen Handlungssteuerung

Zukunftsorientierte Verhaltensselektion

- ▣ Antizipation weit in der Zukunft liegender Handlungseffekte
- ▣ Planen und mentales Probehandeln
- ▣ Antizipation zukünftiger Bedürfnisse



Expansion der Flexibilität und Freiheitsgrade des Verhaltens („Selbststeuerung“)

- Flexible Anpassung an wechselnde und langfristige Ziele
- Unabhängigkeit von der unmittelbaren Reizsituation
- Inhibition von Gewohnheiten und emotionalen Impulsen zugunsten langfristiger Ziele
- Belohnungsaufschub und Selbstkontrolle

Zentrale Merkmale menschlicher willentlicher Handlungssteuerung

Flexible Umkonfigurierung von Reaktionsdispositionen



Abschirmung von Zielen gegen störende Reize



Antizipation von Handlungseffekten



Volition

- Zukunftsorientierung
- Reizunabhängigkeit
- Flexibilität
- Persistenz

Inhibition habitueller oder automatisierter Reaktionen



Selbstkontrolle und Belohnungsaufschub



Aber...

Flexibilität hat Kosten!

- Erhöhter kognitiver Aufwand bei der Handlungsselektion
- Erhöhtes Potential für Konflikte zwischen inkompatiblen Zielen oder konkurrierenden Bewertungssystemen





facebook

Facebook helps you connect and share with the people in your life.



Multiple verhaltensdeterminierende Systeme

Leidenschaften als Widersacher der Vernunft

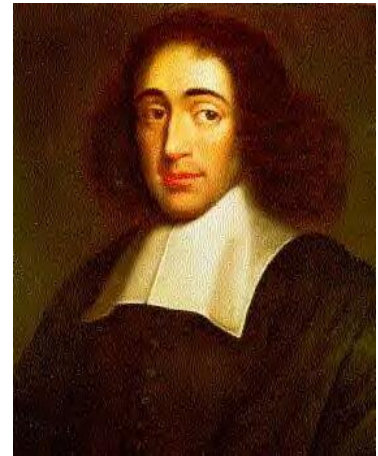


„Das Herz hat seine Gründe, welche die Vernunft nicht kennt.“

Blaise Pascal (1623 – 1662)

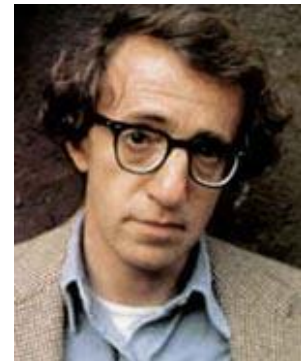
Leidenschaften als Widersacher der Vernunft

„Ein Mensch, der Sklave seiner Emotionen ist, ist nicht Herr seiner selbst, sondern... er wird oft, obwohl er einsehen mag, was besser für ihn wäre, dem nachgeben, was ihm schadet“
(Spinoza, 1677)



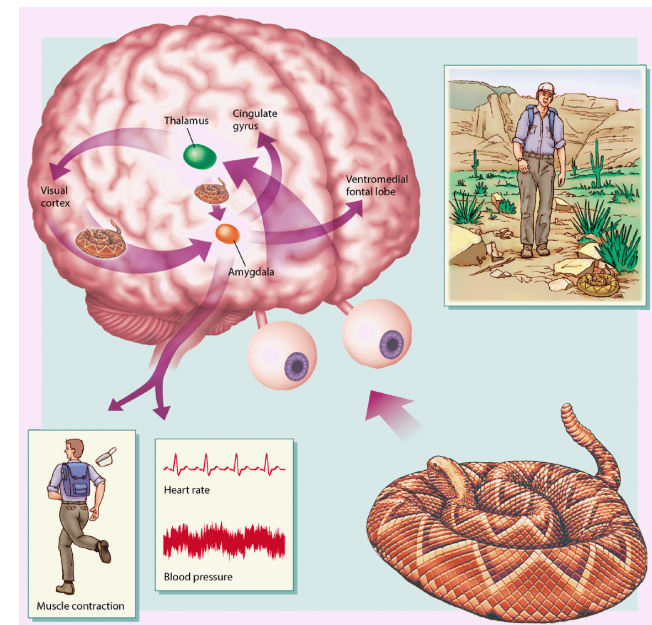
Leidenschaften als Widersacher der Vernunft

„Das Schwierige im Leben ist es, Herz und Kopf dazu zu bringen zusammenzuarbeiten - in meinem Fall verkehren sie noch nicht mal auf freundschaftlicher Basis“ (Woody Allen)



Koexistenz multipler Bewertungs- und Kontrollsysteme

- Im Zuge der Evolution „höherer“ kognitiver Funktionen wurden phylogenetisch ältere Systeme der Verhaltenssteuerung nicht ausgelöscht
- Unsere Entscheidungen und Handlungen sind das Resultat der Interaktion und Konkurrenz multipler Bewertungs- und Kontrollsysteme



Sofort:

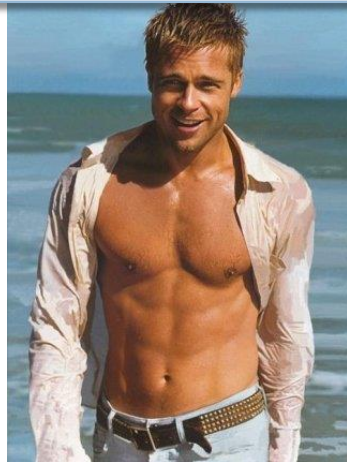


oder



Intertemporale Entscheidungskonflikte

Später...



oder



Warum tun wir nicht immer das was wir wollen?

Intertemporale Entscheidungskonflikte und irrationales Verhalten



JETZT oder SPÄTER?

Aktuelle vs. antizipierte Bedürfnisse

- „Die Fähigkeit zum Denken führt also zur Existenz einer spezifischen Form von Motivation, die auf die Vermeidung oder Herbeiführung von Umständen gerichtet ist, die einen Mangelzustand, der im Moment noch gar nicht vorhanden ist, verhindern oder beseitigen sollen“
- „Mit der Fähigkeit zum Denken wird Verhalten schwieriger. Einerseits bringt Denken die Möglichkeit, Zukunft zu antizipieren, andererseits hat es die einzelne Verhaltensweise schwerer, sich durchzusetzen“
- Man muß Antizipationsmotivationen besonders “absichern“ gegen aktuelle Bedürfnisse, damit sie überhaupt eine Chance haben

Dörner, 1987, S. 242







Attention control



Kognitive Kontrolle

Kognitive Kontrollprozesse vermitteln die Koordination und Konfiguration sensorischer, kognitiver und motorischer Systeme im Sinne übergeordneter Ziele und ermöglichen die Selektion einer an sich schwächeren Reaktion, wenn diese in Konflikt mit starken, aber aufgabenirrelevanten Reizen oder Reaktionen steht.

(Miller & Cohen, 2001)

Drei verhaltensdeterminierende Systeme: Unterschiedliche komputationale Mechanismen

Pavlovsches System

- Assoziationen zwischen prädiktiven Cues und motivational relevanten Reizen
- Auslösung angeborener emotionaler und motorischer Reaktionen

$$(SO) \xrightarrow{a}$$

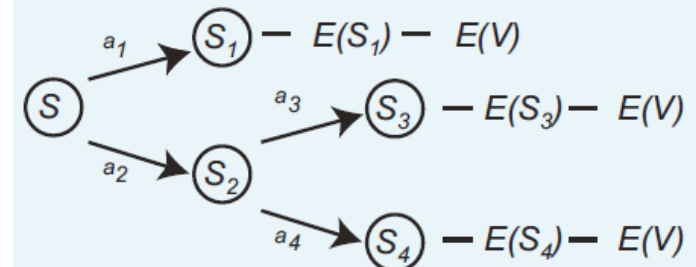
Habit-System

- Modellfreies Lernen von Handlungswerten als Folge erfahrener Belohnungskonsequenzen
- Erwerb von relativ fixen, nur langsam veränderlichen Reiz-Reaktions-Assoziationen (*Habits*)
- Selektion von Aktionen aufgrund von Handlungswerten oder S-R-Assoziationen
- Relative Insensitivität gegenüber Verstärker-Devaluation oder Kontingenzänderungen

$$S + A \longrightarrow E(V) \xrightarrow{a}$$
$$S \xrightarrow{a}$$

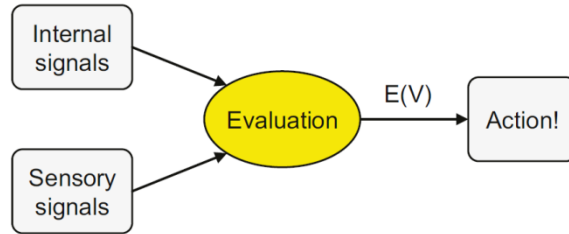
Deliberatives System

- Aufbau innerer Modelle der Relationen zwischen Situationen, Aktionen und Konsequenzen
- Handlungsselektion aufgrund einer Suche durch das innere Modell

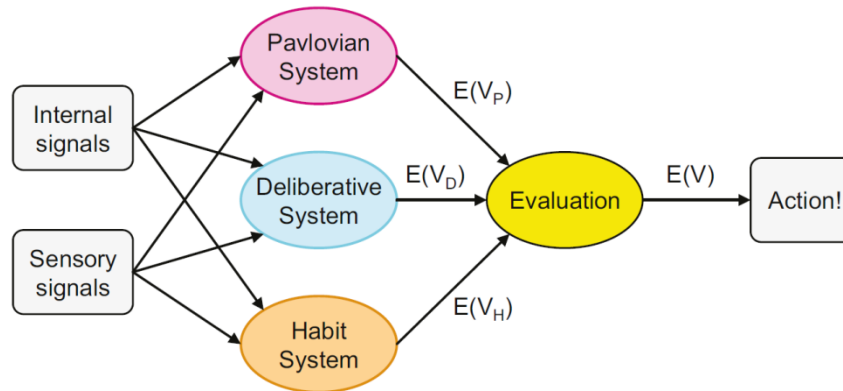


Mögliche Formen der Interaktion und Konkurrenz zwischen verhaltensdeterminierenden Systemen

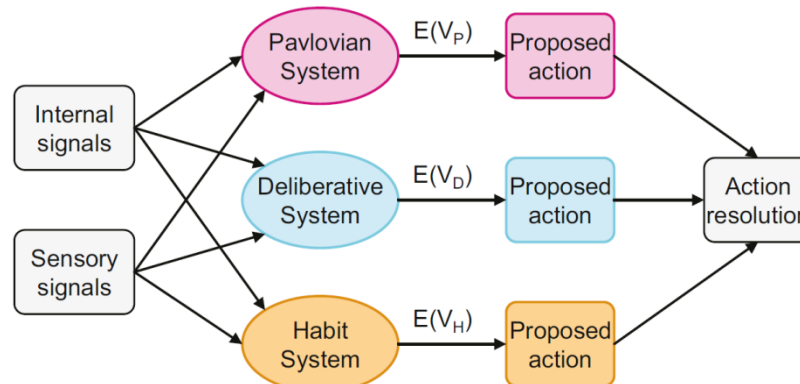
(A) a unified decision-making system



(B) multiple decision-making systems converge on a central evaluation system



(C) multiple decision-making systems compete for action-selection



Zentrale Fragen

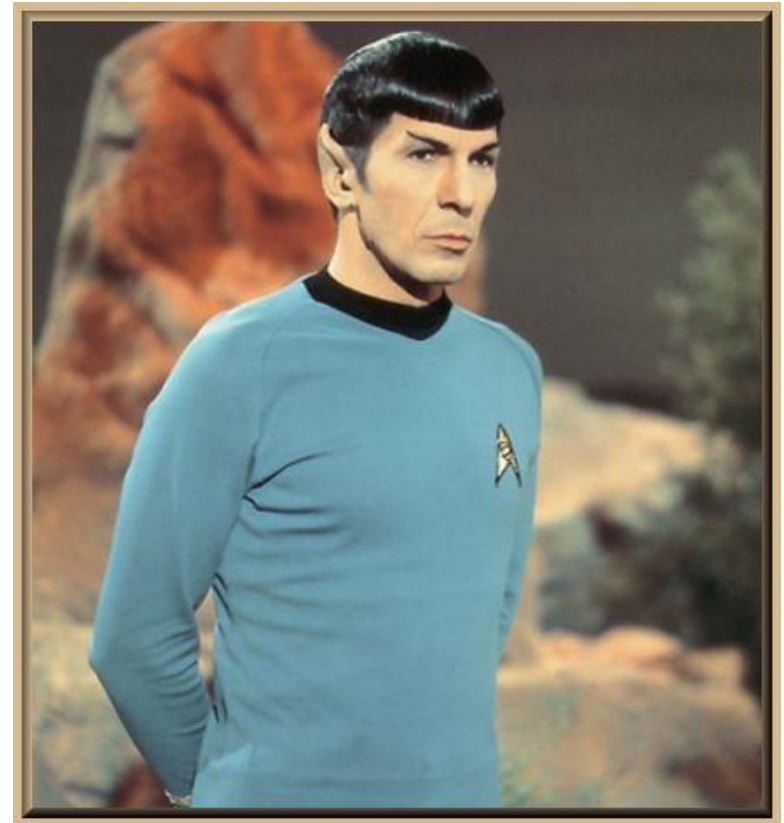
- Wie berechnet das Gehirn den Wert von Handlungen und Zielen?
- Welche neuronalen Systeme und komputationalen Mechanismen liegen unterschiedlichen Lern-, Bewertungs- und Kontrollsystemen zugrunde?
- Wie interagieren diese Systeme und wie werden Konflikte zwischen ihnen gelöst?
- Wie werden einzelne Bewertungsaspekte (Kosten, Nutzen, Risiken) zu einer Entscheidung integriert?
- Welche Mechanismen befähigen Menschen, langfristige Ziele trotz widerstreitender Gewohnheiten oder kurzfristiger Anreize zu verfolgen (Selbstkontrolle)?



Vom der Idee eines rationalen Entscheiders zur Neuroökonomie

Sind Personen rationale Entscheider?

- Rationale Abwägung der Wünschbarkeit und Erreichbarkeit alternativer Ziele
- Auswahl des Ziels mit dem größten erwarteten subjektiven Nutzen (Erwartung x Wert)
- Ausführung von Handlungen, die geeignet sind, das Ziel zu erreichen, das den maximalen subjektiven Nutzen verspricht



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



Oskar Morgenstern & John
von Neumann, ca. 1946.

*Courtesy of the Institute for Advanced
Study, Princeton*

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

Von normativen Entscheidungsmodellen zur Verhaltensökonomie

- Menschliche Entscheidungen weichen häufig von normativen (ökonomischen) Rationalitätsstandards ab
- Subjektiver Nutzen \neq objektiver Gewinn
- Subjektive Erwartungen \neq objektive Wahrscheinlichkeiten
- Intuitive Heuristiken
- Einfluss unbewusster Prozesse (intuitiver Urteile)
- Einflüsse emotionaler Impulse (Versuchungen, Ängste etc.) und automatisierter Gewohnheiten

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 \$

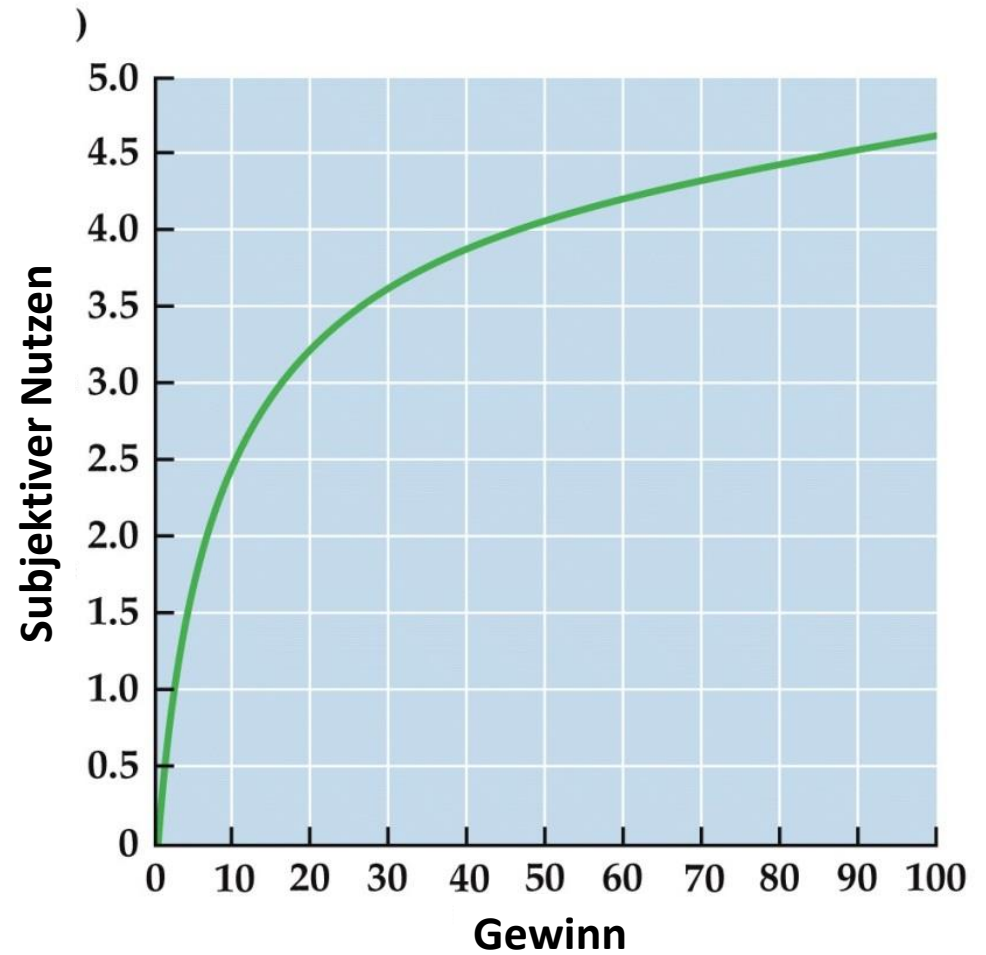


15.001 \$

Der subjektive Nutzen eines Gewinns ist abhängig vom Ausgangswert



Daniel Bernoulli (1700-1782)



Verhaltensökonomie

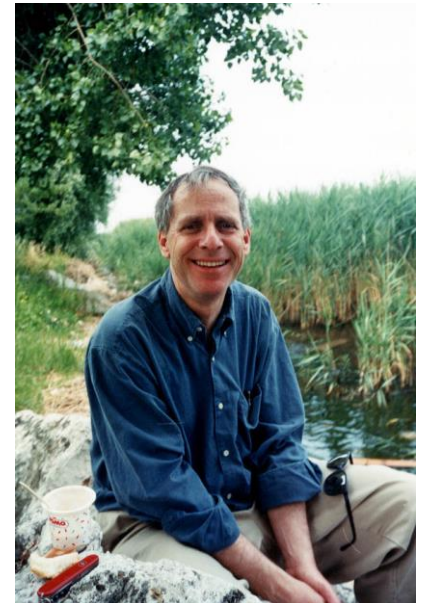
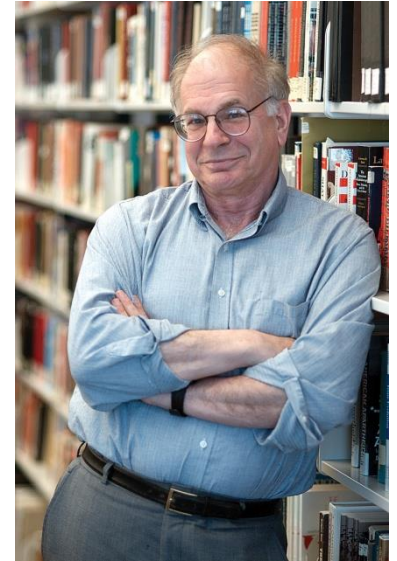
■ Daniel Kahneman

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

■ Amos Tversky

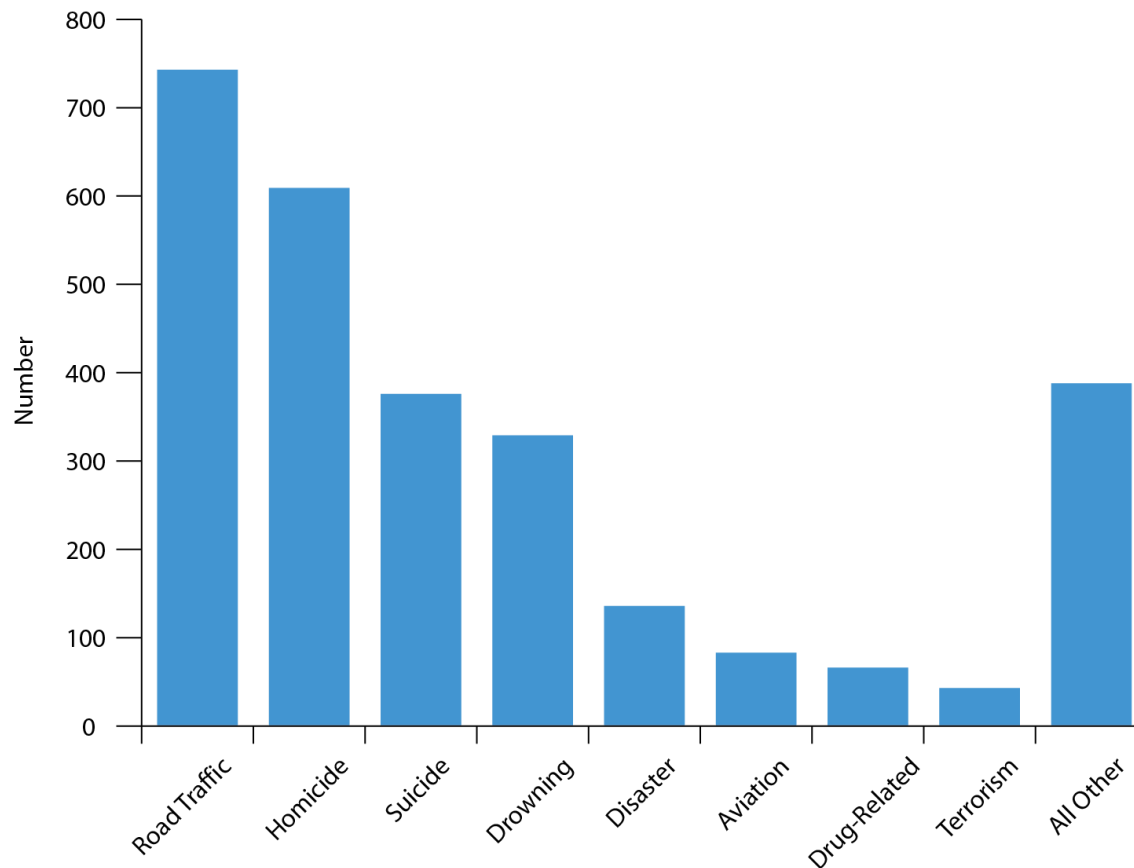
- 1996 verstorben; Prof. f. Behavioral Sciences, Stanford University

- 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





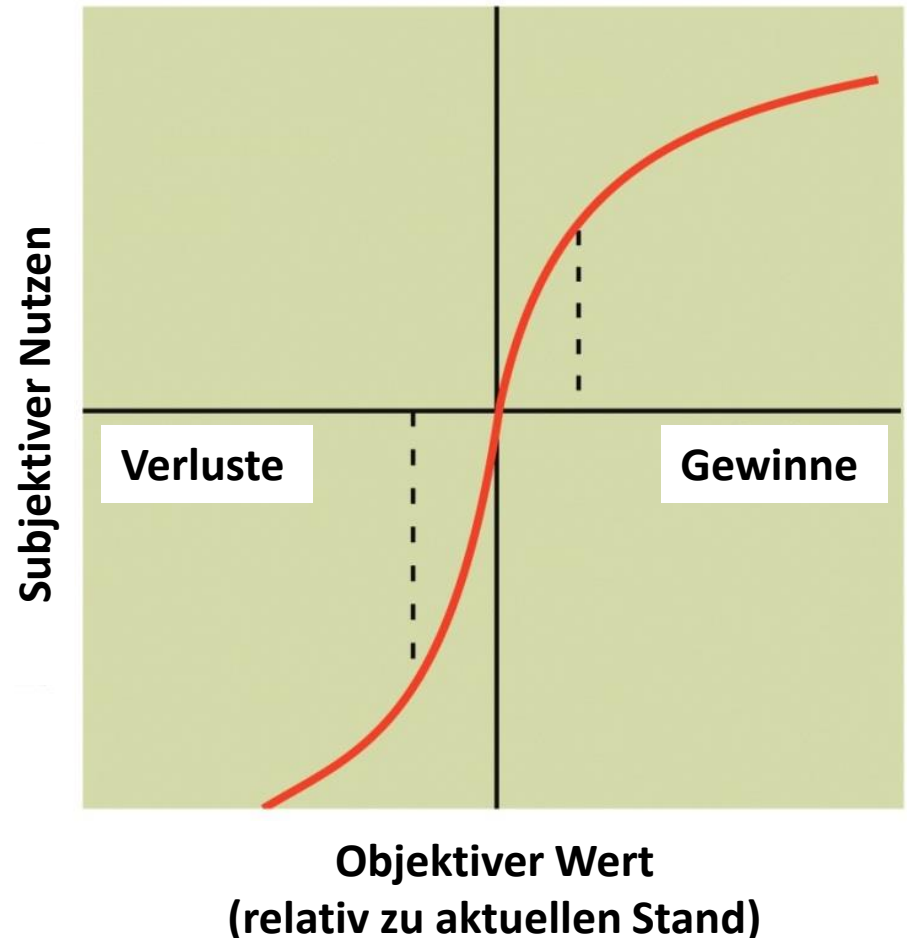
- ¹Data from US Department of State. Death of US citizens abroad by non-natural causes. Washington, DC: US Department of State; 2012. Available from: http://travel.state.gov/law/family_issues/death/death_600.html.
²Excludes deaths of US citizens fighting wars in Afghanistan or Iraq.



Verhaltensökonomie und Prospect Theorie: Referenzabhängigkeit von subjektiven Werten

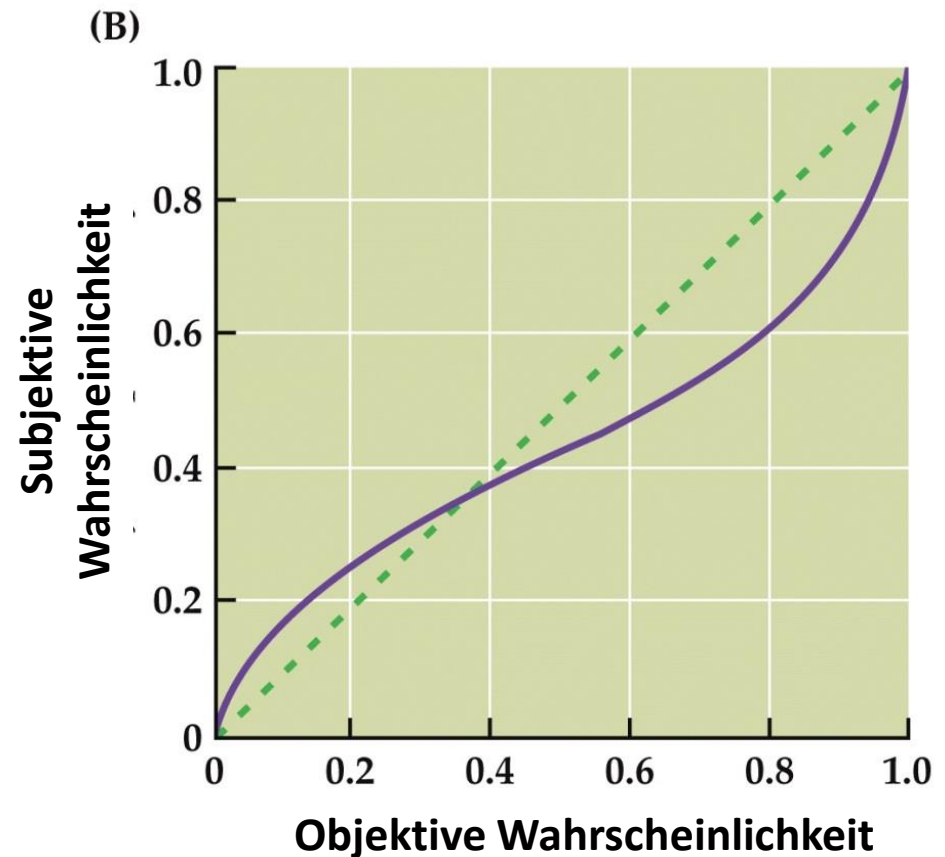
- Steigung der subjektiven Wertfunktion nimmt mit steigender Gewinnhöhe ab
- Steigung der Wertfunktion ist steiler für Verluste als für Gewinne (*Verlust-Aversion*)

(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)



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

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?

Der Prozess des Entscheidens: Ein Rahmenmodell

