

Zucker und Zukunft

Leib und Seele

M. Spitzer, Ulm

Wie jeder weiß, braucht das Gehirn Zucker zur Energieversorgung. Es kann kein Fett verwerten und ist auf die Verbrennung von Zucker angewiesen. Daher kommt es bei unzureichender Zuckerversorgung des Gehirns zu Fehlfunktionen oder Ausfallerscheinungen. Das weiß jeder, der schon einmal an einer akuten Unterzuckerung gelitten hat. Die psychischen Auswirkungen einer niedrigen Zuckerkonzentration im Blut sind Konzentrationsstörungen, Nervosität, Störungen der Bewegungskoordination, der räumlichen und zeitlichen Orientierung, der Sprache, der Emotionen (bis hin zur Albernheit) sowie der Kontrollverlust über Willkürbewegungen und andere Körperfunktionen bis zur Beeinträchtigung des Bewusstseins. Bei diesen Störungen handelt es sich zu einem wesentlichen Teil um Funktionsstörungen des Frontalhirns.

Man muss gar nicht lange oder tief darüber nachdenken, um sich darüber klar zu werden, dass die Zukunft sehr viel mit dem Frontalhirn zu tun hat: Streng genommen existiert sie eigentlich nur dort! Von fraglichen Fällen wie manchen Primaten, Walen oder Elefanten einmal abgesehen, scheint es zu den Privilegien unserer Art zu gehören, uns selbst gedanklich in eine andere Zeit und an einen anderen Ort versetzen zu können. Wenn wir dies tun, benutzen wir bereits gespeicherte Inhalte, kombinieren sie jedoch neu. Entsprechend sind bei der Planung der nächsten Geburtstagsfeier fast die gleichen Gehirnareale aktiv wie bei den Erinnerungen an die letzte Geburtstagsfeier (6, 9).

Man muss gar nicht lange oder tief darüber nachdenken, um sich darüber klar zu werden, dass die Zukunft sehr viel mit dem Frontalhirn zu tun hat.

Hinzu kommt allerdings eine stärkere Aktivierung des Frontalhirns, also eines beim Menschen besonders ausgeprägten Bereichs der Gehirnrinde, der für Planung, Steuerung, Kontrolle, Inhibition zuständig ist und der zugleich den Sitz des Arbeitsgedächtnisses darstellt. Dieses hält irgendein künftiges Ereignis online und sorgt dafür, dass meine Planung dieses Ereignisses (z. B. mein 80. Geburtstag) beständig aufrechterhalten wird und den Zugriff zu gespeicherten Inhalten (Erinnerungen an Familie, Freunde und Bekannte, die ich gerne einladen würde) gezielt vom Frontalhirn erledigt wird.

Der Gedanke, dass unsere (Gedanken an die) Zukunft irgendwie mit Kalorien und Zucker in Verbindung stehen, liegt also nahe, und nicht zuletzt weiß jeder, der schon einmal hungrig im Supermarkt eingekauft hat, dass der Einkaufswagen wesentlich voller war, als wenn er nach einer Mahlzeit mit gefülltem Magen den Lebensmittel-selbstbedienungsladen besuchte. Dies ist aus evolutionärer Sicht durchaus von Vorteil, denn das Gehirn berücksichtigt bei Entscheidungsfindungsprozessen während der Nahrungssuche den Stand der jeweils vorhandenen Reserve. Tiere tun dies auch, wie man aus der experimentellen Verhaltensforschung weiß. Schon vor mehr als 20 Jahren wurde mit der „risk-sensitive foraging theory“¹ sogar ein theoretisches Gerüst entwickelt, mit dem sich eine ganze Reihe unterschiedlichster Daten zur Nahrungssuche bei unterschiedlicher Energie-

reserve interpretieren lassen: Ist die Energiereserve gering (nagt man am Hungertuch), geht es dem Organismus um das Hier-und-Jetzt, das heißt, es gilt vor allem, sich nicht lange um die Zukunft zu kümmern, sondern Sofortmaßnahmen zu ergreifen, welche die Energiebilanz verbessern. Ist die gegenwärtige Energiebilanz demgegenüber gut (bestehen große Fettpolster), kann der Blick weiter in die Zukunft gewendet werden, um zu einem späteren Zeitpunkt und vielleicht an einem anderen Ort eine noch größere Beute zu erlangen. Aus evolutionärer Sicht ist es also sinnvoll, dass der Organismus seine jeweiligen Ad-hoc-Entscheidungen von seinem eigenen Zustand abhängig macht.

Ganz praktisch kann man davon ausgehen, dass ein nicht mehr voll funktionsfähiges Frontalhirn die Zukunft nicht mehr in der Stärke und Differenziertheit repräsentieren kann, wie dies bei guter Energieversorgung der Fall ist. Hierfür spricht auch der 2007 publizierte Befund, dass die Fähigkeit zur willentlichen Selbstkontrolle von der Blutzuckerkonzentration abhängig ist (3). Zur Repräsentation der Gegenwart, die ja permanent um mich herum ist, brauche ich hingegen deutlich weniger kognitive Ressourcen als zur Repräsentation der Zukunft. Daraus folgt, dass der Stellenwert der Zukunft bei Entscheidungsprozessen mit abnehmender Blutzuckerkonzentration gegenüber dem Stellenwert der Gegenwart abnehmen sollte.

Aus evolutionärer Sicht ist es also sinnvoll, dass der Organismus seine jeweiligen Ad-hoc-Entscheidungen von seinem eigenen Zustand abhängig macht.

Wie überprüft man eine solche Hypothese? – Ganz einfach: Man fragt die Leute! Die entsprechende experimentelle Prozedur ist mittlerweile recht gut etabliert, geht es doch um die nicht nur in der Ökonomie,

Nervenheilkunde 2010; 29: ■■■

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Dr. Manfred Spitzer
Universitätsklinikum Ulm, Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie III, Leimgrubenweg 12, 89075 Ulm

¹ Schwer zu übersetzen, vielleicht am ehesten mit: Risiko-sensible Theorie der tierischen Nahrungssuche.

sondern auch in der Philosophie, Medizin und Umweltdebatte viel diskutierte Frage nach der Diskontierung der Zukunft (1, 4, 5, 10, 12). Damit ist gemeint, dass Menschen dazu neigen, das Jetzt wichtiger zu nehmen als das Später. 100 Euro jetzt sind mir wichtiger als 100 Euro in einem Jahr, weil mir vielleicht jetzt das Wasser bis zum Halse steht oder ganz einfach weil ich in einem Jahr 113 Euro bezahlen müsste, wenn ich mein Girokonto heute mit 100 Euro belaste. Auch bei Tieren findet man Verhaltensweisen, die darauf zurückzuführen sind, dass für sie die Zukunft weniger zählt als die Gegenwart (13). Vor dem Hintergrund des Gedankens der Evolution führt die begrenzte Reproduktionszeit eines Individuums bzw. seine mit der Zeit natürlicherweise und zwangsläufig knapper werdenden Ressourcen unweigerlich zur Diskontierung der Zukunft, das heißt, zu einer geringeren Bewertung des gleichen Sachverhalts später im Vergleich zu jetzt.

Um im Rahmen einer experimentellen Untersuchung der Frage nachzugehen, inwiefern sich Variationen des Blutzuckerspiegels in einem physiologischen Bereich auf menschliche Entscheidungsprozesse im Hinblick auf den Vergleich von Gegenwart und Zukunft auswirken, wurde von Wang und Dvorak (11) an 65 Studenten (41 Frauen) im Durchschnittsalter von etwa 23 Jahren ein Experiment zur Diskon-

terierung der Zukunft durchgeführt. Durch Vergleiche der subjektiven Bevorzugung zweier Geldbeträge lässt sich für jede Versuchsperson ermitteln, um wie viel weniger für sie speziell die Zukunft „weniger wert ist“ als die Gegenwart: „Hätten Sie lieber 120 Euro morgen oder 150 Euro in 31 Tagen?“ – Insgesamt wurden jeder Versuchsperson 14 Fragen wie diese gestellt, wobei die Geldbeträge zwischen 90 Dollar und 570 Dollar variierten und die zeitlichen Verzögerungen zwischen vier und 939 Tagen. Um den Fragen einen gewissen Realitätsgehalt zu geben, wurde den Probanden vor dem Experiment gesagt, dass man am Ende per Losverfahren mit etwas Glück eine der von ihnen jeweils getroffenen Entscheidungen ermitteln werde, die dann tatsächlich gilt und zur Auszahlung eines entsprechend datierten Schecks führt.

Zur Variation des Blutzuckerspiegels erhielten die Probanden entweder ein zuckerhaltiges Getränk (Sprite) oder ein Diätgetränk gleichen Geschmacks mit künstlichem Süßstoff (Sprite Zero). Zuvor hatten sie die ersten sieben Fragen zur Diskontierung der Zukunft (Was ist Ihnen lieber, X Euro jetzt oder X + N Euro in der Zukunft) beantwortet. Danach mussten die Versuchspersonen angeben, wie gut das Getränk ihnen geschmeckt hatte und zudem einige Fragebögen ausfüllen. Zur Validierung der experimentellen Prozedur wurde

vor Beginn des Experiments der Blutzuckerspiegel gemessen. Zehn Minuten nach der Einnahme des Getränkes wurde erneut die Blutglukose bestimmt und es wurde der zweite Teil des Tests zur Diskontierung der Zukunft durchgeführt.

Aus den Antworten der Probanden lässt sich eine hyperbolische Funktion berechnen, deren Verlauf anzeigt, um wie viel Prozent mehr ein bestimmter Betrag weniger wert ist in Abhängigkeit davon, wie weit die Auszahlung dieses Betrages in der Zukunft liegt. Der Verlauf unterscheidet sich sehr deutlich (► Abb. 1): Wenn mein Gehirn gerade genügend Zucker zur Verfügung hat, sind mir 100 Euro jetzt genauso viel wert wie 85 Euro in zwei Monaten. Bei geringerer Zuckerkonzentration hingegen haben die 100 Euro in zwei Monaten für mich nur einen Wert von etwa 62 Euro! Wie sehr ich für mein jetziges Entscheiden die Zukunft berücksichtige, hängt also in starkem Maße von der Blutzuckerkonzentration ab. Weitere Analysen zeigten keinen Effekt von Geschlecht, dem Körpergewicht bzw. Ernährungszustand der Person (Body-Mass-Index), dem Alter oder auch der geschmacklichen Beurteilung des Getränks.

In ► Abbildung 2 sind die Blutglukosekonzentrationen in beiden Gruppen vor der Einnahme des Limonadengetränks und 10 Minuten danach dargestellt. Sowohl die Zunahme des Blutglukosewertes in der Zuckergruppe als auch die entsprechende Abnahme der Entwertung der Zukunft erwiesen sich als signifikant.

Interessanterweise kam es in der Kontrollgruppe zu einer Zunahme der Entwertung der Zukunft, obwohl es hier nur zu einer ganz geringen Abnahme der Blutglukosekonzentration kam. Dies passt zu einer Art Alarmreaktion, die durch süße Getränke, die jedoch keinen Zucker enthalten und damit kalorisch unbedeutend sind, im Körper ausgelöst wird: Es ist als würde der Konsum von kalorienloser süßer Nahrung im Körper zum Aufleuchten einer roten Lampe führen, die eine Energiekrise meldet, obgleich doch alles getan wurde (Süßes gegessen), diese zu vermeiden. Indirekte Hinweise dazu liefern tierexperimentelle Befunde: Ratten, die süße, aber kalorienfreie Nahrung zu sich nehmen, fressen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit normaler Nahrung mehr und reduzieren ihren

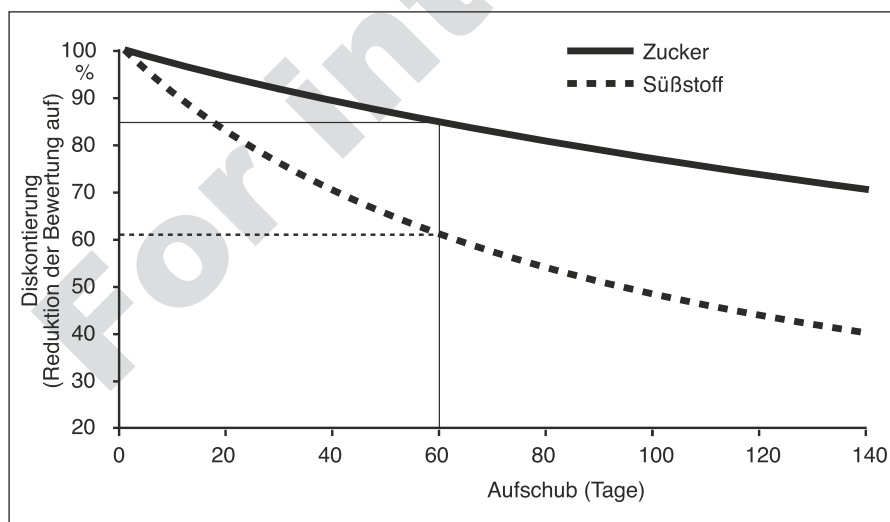


Abb. 1 Diskontierungsfunktion der Zukunft in Abhängigkeit physiologischer Variationen der Blutglukosekonzentration, die durch ein zuckerhaltiges oder süßstoffhaltiges Limonadengetränk hervorgerufen wurden (nach 11, Fig. 3).

Energieverbrauch stärker (8)². Auch beim Menschen gibt es Hinweise darauf, dass der Konsum künstlich gesüßter Nahrungsmittel langfristig zu einer Gewichtszunahme und nicht – wie die Werbung verspricht – zu einer Gewichtsabnahme führt. Eine Studie an 78 694 Frauen im Alter von 50 bis 69 Jahren zeigte eine signifikante Zunahme bei Verwendung von Saccharin als künstlichen Süßstoff (7).

Wie sehr ich für mein jetziges Entscheiden die Zukunft berücksichtige, hängt also in starkem Maße von der Blutzuckerkonzentration ab.

Die Autoren merken kritisch an, dass ihr Experiment den Beitrag verschiedener Theorien (Evolution, Frontalhirnfunktion, energieabhängiges Nahrungssucheverhalten) zur Erklärung des Phänomens nicht aufklären kann (2). Dies ist vielleicht aber auch gar nicht notwendig, denn die Evolutionstheorie liefert ultimative Erklärungen (ultimate causes), wohingegen die Neurowissenschaft sich mit Mechanismen (proximate causes) beschäftigt. Die Frage also, ob die stärkere Diskontierung der Zukunft bei geringerem Blutglukosespiegel einen evolutionären Anpassungsmechanismus darstellt oder aber ein subklinisches Frontalhirndefizit, erweist sich damit als falsch gestellt. Das eine ist der Mechanismus, das andere der große evolutionäre Zusammenhang.

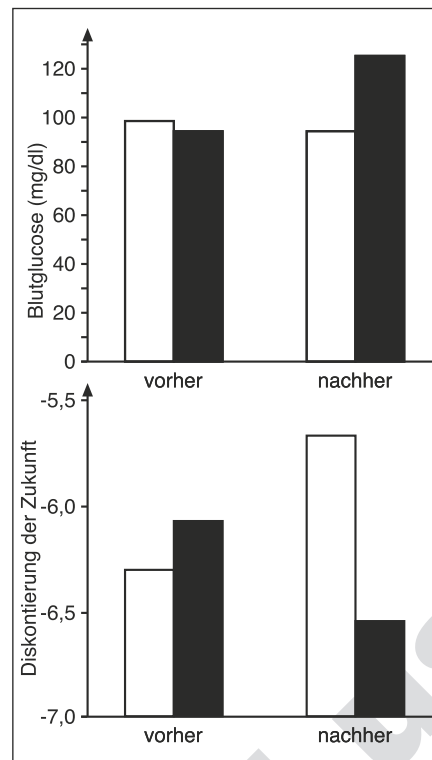


Abb. 2 Blutglukosekonzentrationen (oben) und Diskontierung der Zukunft (unten) in der Süßstoff-Gruppe (weiße Säulen) und der Zuckergruppe (schwarze Säulen; nach 11, Fig. 1). Nach dem Konsum der zuckerhaltigen Limonade stieg der Blutzuckerspiegel signifikant an. Die Diskontierung der Zukunft nahm hierdurch signifikant ab.

Für den einfachen Mann auf der Straße (oder den Nervenarzt in der Praxis) machen Experimente wie diese jedoch plausibel, wie eng Leib und Seele zusammenhängen und warum beispielsweise Politiker sich immer wieder zu Arbeitssessen treffen: Vielleicht ist dann eher gewährleistet, dass sie sich wirklich mit der Zukunft ihrer Länder (und nicht nur mit kurzfristigen Schnäppchen im Hier und Jetzt) beschäftigen. Ich für meinen Teil werde in der Zukunft besser auf die Bereitstellung von Keksen zum Kaffee bei wichtigen Besprechungen achten und auf Vorträgen an Schulen

noch dringlicher darauf hinweisen, dass die Schüler nur dann ordentlich unterrichtet werden können, wenn sie nicht müde und nicht hungrig sind. „Für das Leben lernen“ kann nur der, der seine Zukunft (also sein Leben in der Zukunft) auch mental repräsentieren kann. Hierfür – und natürlich auch für Latein, Mathematik oder Deutsch – braucht unser Leib genügend Zucker im Blut.

Literatur

1. Brennan G. Discounting the future, yet again. *Politics, Philosophy & Economics* 2007; 6: 259–284.
2. Frederick S, Loewenstein G, O'Donoghue T. Time discounting and time preference: A critical review. *Journal of Economic Literature* 2002; 40: 351–401.
3. Gailliot MT et al. Self-control relies on glucose as a limited energy source: Willpower is more than a metaphor. *Journal of Personality and Social Psychology* 2007; 92: 325–336.
4. Goklany IM. Discounting the future. *Regulation* 2009; 3: 36–40.
5. Hardisty DJ, Weber EU. Discounting future green: Money versus the environment. *Journal of Experimental Psychology: General* 2009; 138: 329–340.
6. Hassabis D, Kumaran D, Vann SD, Maguire EA. Patients with hippocampal amnesia cannot imagine new experiences. *PNAS* 2007; 104: 1726–1731.
7. Stellman SD, Garfinkel L. Artificial sweetener use and one-year weight change among women. *Preventive Medicine* 1986; 15: 195–202.
8. Swithers SE, Davidson TL. A role for sweet taste: caloric predictive relations in energy regulation by rats. *Behavioral Neuroscience* 2008; 122: 161–173.
9. Szpunar KK, Watson JM, McDermott KB. Neural substrates of envisioning the future. *PNAS* 2007; 104: 642–647.
10. Torgerson D, Raftery J. Discounting. *British Medical Journal* 1999; 319: 914–915.
11. Wang XT, Dvorak RD. Sweet future: fluctuating blood glucose levels affect future discounting. *Psychological Science* 2010; 20: 1–6.
12. Weisbach DA, Sunstein CR. Climate change and discounting the future: A guide for the perplexed. Harvard Law School Program on Risk Regulation 2008. Research paper No. 08–12; Harvard Law School Public Law & Legal Theory Research paper No. 08–20; Reg-Markets Center Working paper No. 08–19 (<http://ssrn.com/abstract=1223448>).
13. Wilson M, Daly M. Do pretty women inspire men to discount the future? *Proc R Soc Lond B* 2004; (Suppl.) 271: S177–S179.

² Ich halte diese Befunde für so wichtig, dass ich sie im Original zitieren möchte: „We found that reducing the correlation between sweet taste and the caloric content of foods using artificial sweeteners in rats resulted in increased caloric intake, increased body weight, and increased adiposity, as well as diminished caloric compensation and blunted thermic responses to sweet-tasting diets. These results suggest that consumption of products containing artificial sweeteners may lead to increased body weight and obesity by interfering with fundamental homeostatic, physiological processes“ (8).