



Flow

Vom Erleben über die Neurobiologie zur Triebfeder von Kultur

Zusammenfassung: Mit dem Wort „Flow“ wird seit Mitte der 1970er-Jahre eine positiv konnotierte Form des Erlebens körperlicher oder geistiger Arbeit bezeichnet, das sich einstellt, wenn die Arbeit nicht zu einfach und nicht zu schwierig und man ganz bei der Sache (und nicht bei sich selbst) ist. Experimentelle Studien zum Flow-Erleben mittels funktioneller Bildgebung aus der Ulmer Psychiatrie um die Arbeitsgruppe von Georg Grön und Martin Ulrich konnten über die Jahre hinweg zeigen, dass das Flow-Erleben mit einem ganz bestimmten Muster zentralnervöser Aktivierungen und Deaktivierungen einhergeht: Aktiviert sind sensorische Verarbeitung sowie das linke Putamen und der linke inferiore frontale Kortex, wohingegen der mediale präfrontale Kortex (MPFC) beidseits und der Mandelkern deaktiviert sind. Wenn also die Arbeit zum Können „passt“, dann „verliert“ man sich selbst in der Arbeit (deaktiviertes selbstreflektierendes Denken im MPFC), ist angeregt (mittels EDA gemessenes vermehrtes Arousal) und ist zugleich angstfrei (deaktivierte Amygdala). Durch Stimulation (tDCS) des MPFC ließ sich zudem Flow bei Menschen, die diesen Zustand trotz entsprechender Rahmenbedingungen (noch) nicht erreicht haben, fördern. Diese Ergebnisse haben Konsequenzen für eine klarere Einordnung der Symptome (Grübelneigung) und Therapie (Ergotherapie) der Depression und erweitern unser Verständnis von kognitiver Kontrolle, der Rolle von Fehlern beim Lernen, der kulturellen Produktion und Transmission von Wissen sowie der Bedeutung des Informationsbegriffs beim Verständnis von „Leben“.

Ist eine Tätigkeit einfach, dann wird es einem schnell langweilig – und das nervt. Ist eine Tätigkeit hingegen schwer, erleben wir Misserfolg und fühlen uns gestresst.

Auch das nervt. Dazwischen gibt es ein Fenster, wo die Arbeit nicht zu langweilig ist aber auch nicht zu schwer. Sind wir während unseres Tuns in diesem Fenster, dann wird der Zustand als angenehm erlebt. Man sagt auch: Wir sind im Flow.

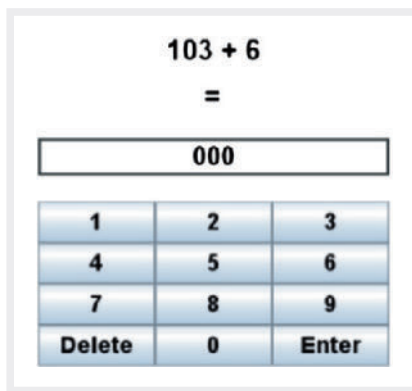
Man bezeichnet mit Flow allgemein das Gefühl des völligen Aufgehens in einer Tätigkeit, die wir um ihrer selbst willen tun. Wir sind den Anforderungen gewachsen und können uns voll auf sie konzentrieren. Die Aktivität hat klare Ziele, sie vermittelt uns, dass wir es können, wir haben das Gefühl der Kontrolle über unser Tun und fühlen uns gut. Zugleich verschwinden unsere Ängste und Sorgen um uns selbst, und unser Gefühl für Zeitabläufe ist vermindert. Es geht beim Flow um mehr als nur um Spaß oder den berühmten „Kick“. Befinden sich Menschen im Zustand Flow, dann sind sie in ihrer Tätigkeit gleichsam versunken bzw. gehen in ihr auf.

Flow wird sehr positiv erlebt und stellt damit einen Anreiz dar, bei dem, was man momentan tut, zu bleiben, gerade weil es Freude macht (und nicht etwa, weil man Geld bekommt oder gelobt wird). In der Motivationspsychologie spielt Flow daher eine große Rolle, und es wundert nicht, dass man heute versucht, die Erkenntnisse zum Flow für eine Verbesserung der Arbeitsleistung von Menschen zu nutzen [13]. Flow kann sich bei den verschiedensten Tätigkeiten einstellen, solange sie die Möglichkeit bieten, dass Anforderungen und Fähigkeiten/Fertigkeiten hierfür in einem balancierten Verhältnis stehen: Schachspielen, Skifahren, Klettern, aber auch Singen oder Musizieren, Hand- und Gartenarbeit oder Zeichnen und Malen. Wer passioniert häkelt oder an seinem Motorrad herum-schraubt, der ist ganz bei der Sache. Das ist gleichbedeutend damit, dass man im Flow ganz bei der Sache ist und gerade nicht bei sich und über die eigenen Ängste, Sorgen und Nöte grübelt.

Der ungarisch-italienischstämmige US-Psychologe Mihály Csikszentmihalyi (sprich: „Tschiek-sent-mi-hai“) beschrieb diesen Zustand der „glücklichen Selbstvergessenheit“ ausführlich und nannte ihn Flow. Zuvor sprachen schon der Reformpädagoge Kurt Hahn von „schöpferischer Leidenschaft“, auch die Ärztin und Pädagogin Maria Montessori bezog sich auf solche Erlebnisse in ihrer Diskussion der Rolle von Aufmerksamkeit, Interesse und Motivation beim Lernen.

Was genau ist Flow? Wie kommt es dazu, dass er sich einstellt? Und vor allem: Was passiert beim Flow-Erleben im Gehirn?

Eine Reihe von Studien aus unserem Hause konnte in den vergangenen 5 Jahren wesentliche Beiträge zur Aufklärung des neuronalen Geschehens beim subjektiven Erleben von Flow leisten [36–39]. In einer ersten Studie [38] an 27 rechtshändigen männlichen Studenten waren die Teilnehmer im MRT dazu aufgefordert, Additionsaufgaben verschiedener Schwierigkeit jeweils innerhalb von 18 Sekunden auszuführen (► **Abb. 1**). Diese wurden so gestaltet, dass bei sehr einfachen Aufgaben (z. B.: $103 + 6 =$) sich Langeweile einstellte oder bei schwierigen Aufgaben (z. B.: $26 + 24 + 33 + 60 + 71 + 9 =$) es zu Fehlern bei den Teilnehmern kam. Der besondere Charme des Experiments war die dritte Bedingung F (Flow). Jeder Teilnehmer startete dabei mit einem Schwierigkeitsgrad, der individuell für ihn (nach vorab durchgeführten Tests) machbar war und der sich dem (über die Dauer des Experiments durch Training zunehmenden oder durch Ermüdung abnehmenden) Können des Teilnehmers kontinuierlich anpasste. Wurden 2 Aufgaben des Schwierigkeitsgrades 5 (z. B.: $23 + 45 + 59 + 3 =$) nacheinander gelöst, so wechselte das Programm auto-



► **Abb. 1** Was von den Probanden am Bildschirm im MRT gesehen wurde. Ihre Lösungen der Kopfrechenaufgaben konnten die Probanden mittels eines Trackballs eingeben, dessen Anwendung im Scanner sie zuvor schon eingeübt hatten. Auch die Antworten auf die Fragen wurden mittels Trackball eingeegeben (aus Daten nach [38]).

matisch zu einem etwas schwierigeren Aufgabentyp, in diesem Fall also zu Schwierigkeitsgrad 6 (z. B.: $73 + 46 + 54 + 17 =$). Nach 2 falsch gelösten Aufgaben wurde umgekehrt der Schwierigkeitsgrad entsprechend gesenkt, also beispielsweise von Grad 7 (z. B. $26 + 24 + 33 + 60 + 8 =$) nach Grad 6 (z. B. $89 + 38 + 65 + 15 =$).¹

Die Bedingungen Langeweile, Flow und Überlastung wurden in Blöcken (so nennt man die Zeiträume, in denen jeweils Aufgaben der gleichen Experimentalbedingung bearbeitet werden) in einer ausbalancierten Reihenfolge bearbeitet. Ein Block dauerte jeweils 3 Minuten. Pro Bedingung wurden 3 Blöcke in 2 festgelegten unterschiedlichen Reihenfolgen abgearbeitet. Nach jedem Block hatten die Probanden 8 Fragen (► **Tab. 1**) auf einer Skala von 1 („ich stimme gar nicht zu“) bis 7 („ich stimme völlig zu“) zu beantworten und die erlebte Länge der vergangenen Zeit von 0 („sehr kurz“) bis 100 einzuschätzen. Das Ganze geschah im MRT, wobei die Änderung der Durchblutung (Perfusion) mittels continuous arterial spin labeling (CASL) gemessen wurde.

1 Auch die Overload-Bedingung war adaptiv. Jeder Teilnehmer startete mit einem Schwierigkeitsgrad, der um 3 Stufen höher lag als die Startbedingung der Flow-Bedingung. Wurden dann 3 von 5 Aufgaben gelöst, stieg der Schwierigkeitsgrad um eine Stufe; wurden 4 von 5 nicht gelöst, fiel er um eine Stufe, allerdings nie unter die Startschwierigkeit.

► **Tab. 1** Liste der von den Probanden nach jedem Block im MRT abzuarbeitenden Fragen. Die Antworten wurden von den Probanden mit dem Trackball eingegeben [38]. 1, 3 und 6 sind die Items, die sich als zur Abgrenzung von Flow gegenüber Langeweile und Überlastung bedeutsam erwiesen und daher in den weiteren Studien ebenfalls und ausschließlich verwendet wurden.

Item Nr.	Frage	Langeweile	Flow	Überlastung
1	„Ich möchte gerne noch einmal Additionsaufgaben in der Art bearbeiten, wie ich es in dieser Phase getan habe“	4,27	5,23	3,78
2	„Ich war stark in die Aufgaben involviert.“	3,95	5,86	6,21
3	„Es hat mir sehr viel Spaß gemacht, mich mit den Aufgaben zu befassen.“	4,00	4,99	3,85
4	„Die Aufgaben haben mich gelangweilt.“	4,78	1,95	1,70
5	„Ich hatte die erforderliche Fähigkeit, um die Aufgaben erfolgreich zu lösen.“	6,86	5,41	4,28
6	„Das Anforderungsniveau der Aufgaben hat meiner Fähigkeit sehr gut entsprochen.“	4,17	4,89	3,73
7	„Während der Bearbeitung der Mathematikaufgaben waren alle Gedanken an andere Dinge, die mich momentan persönlich beschäftigen, wie ausgelöscht.“	4,31	6,16	6,26
8	„Während der Bearbeitung der Mathematikaufgaben war mein Bewusstsein vollkommen auf die Lösung der Aufgaben gerichtet.“	4,44	6,21	6,20
Zeit	Wie wurde sie subjektiv erlebt (0: „sehr kurz“; 100: „sehr lang“)	45,54	30,67	30,89

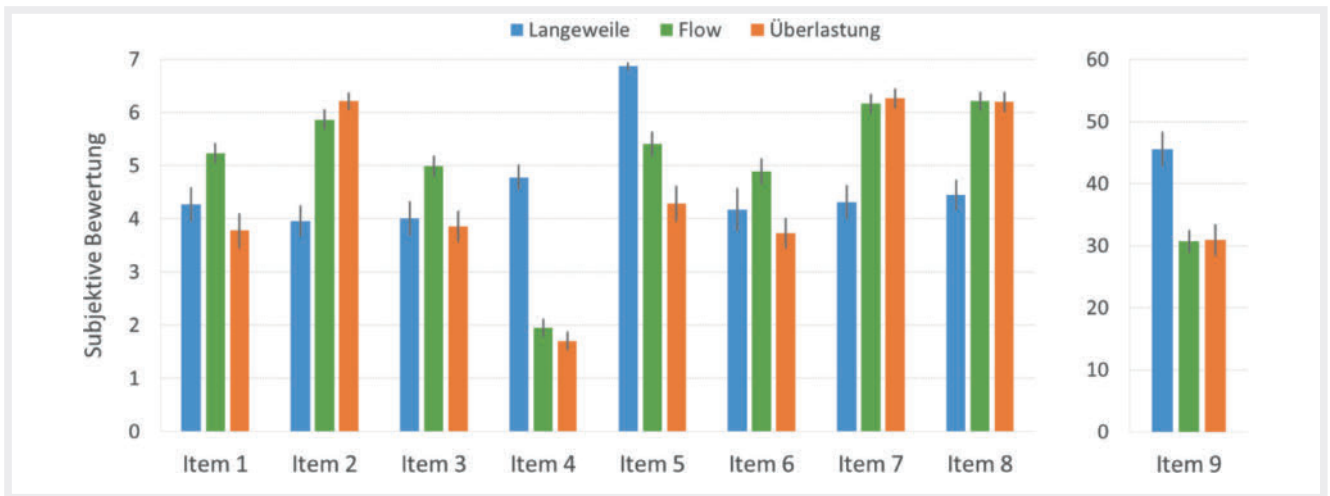
Die Antworten auf die Fragen wurden jeweils über die 3 Bedingungen (Langeweile, Flow, Überlastung) gemittelt. Da die Items 1 („Ich möchte gerne noch einmal Additionsaufgaben in der Art bearbeiten, wie ich es in dieser Phase getan habe“), 3 („Es hat mir sehr viel Spaß gemacht, mich mit den Aufgaben zu befassen“) und 6 („Das Anforderungsniveau der Aufgaben hat meiner Fähigkeit sehr gut entsprochen“) am ehesten die Bedingung Flow abbildeten, wurde erwartet, dass die Antworten auf diese Items nach der Bedingung „Flow“ am höchsten ausfallen und bei den anderen beiden Bedingungen „Langeweile“ und „Überlastung“ eher weniger zuträfen. Genau dies war tatsächlich auch der Fall, wie ► **Tab. 1** und ► **Abb. 2** zeigen.

Mit diesen Daten aus den Befragungen nach jedem einzelnen der 3 Blöcke für jede der 3 Bedingungen ließ sich ein Flow-Index für jeden einzelnen Studienteilnehmer berechnen: Verdoppelt man die Länge der grünen Säulen und zieht davon die rote und die blaue Säule ab (2-facher Befragungswert unter Bedingung F minus den Werten für die Bedingungen L und Ü; dies ist das Gleiche wie Bedingung F minus Mittelwert

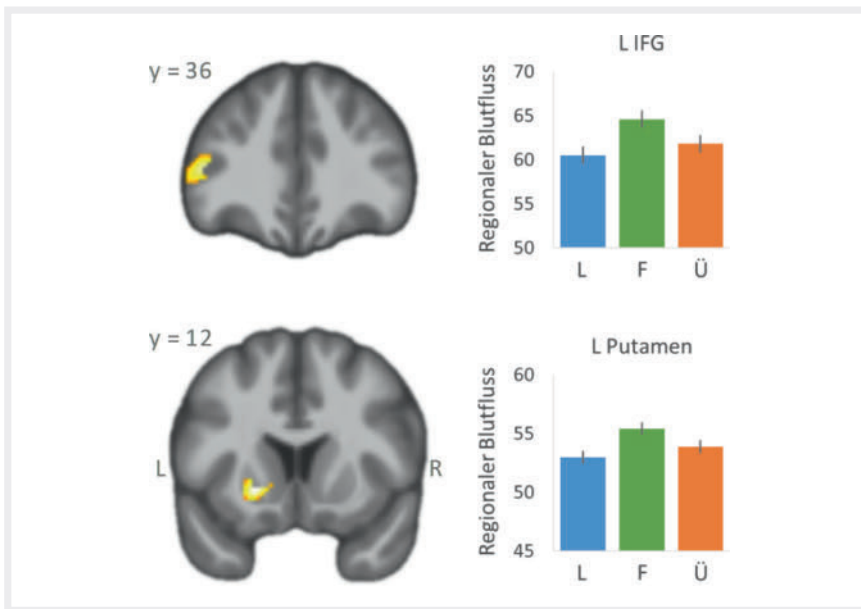
aus L und Ü), so ergibt sich der Unterschied „zwischen Flow und Nicht-Flow und damit das Ausmaß des Flow-Erlebens bei jedem einzelnen Teilnehmer.

Die Analyse der Verhaltensdaten ergab, dass die 3 Bedingungen, unter denen das Kopfrechnen stattfand, einen deutlichen Einfluss auf die Rechenleistung – gemessen als Prozentsatz der richtig gelösten Aufgaben – hatte: In der leichten Bedingung Langeweile wurden 98,4% der Aufgaben korrekt gelöst, in der mittelschweren Bedingung Flow 63,2% und in der schweren Bedingung Überlastung nur 31,0%. Die paarweisen Unterschiede waren sämtlich hoch signifikant ($p < 0,001$). Die Analyse der Gehirndurchblutung wurde so durchgeführt, dass man nach Bereichen suchte, die selektiv in der Flow-Bedingung (im Vergleich jeweils zu den anderen Bedingungen) entweder besonders aktiv oder besonders inaktiv waren. In ► **Abb. 3** sind 2 der durch Flow aktivierten Bereiche dargestellt:

- Das Putamen (ein Teil des Striatums), dessen Aktivität bis ins ventrale Striatum hinein reichte, und
- der untere frontale Gyrus.



► **Abb. 2** Beantwortungsmuster der Items 1 bis 8 und der Frage zur subjektiv erlebten Zeit. Wie man sieht, war die Bedingung „Langeweile“ tatsächlich langweilig (Item 4) und führte auch dazu, dass einem die Zeit lang wurde (Item 9). „Involviert“ (Item 2), „absorbiert“ (Item 7) und „fokussiert“ (Item 8) war man sowohl unter der Bedingung „Flow“ als auch unter der Bedingung „Überlastung“, aber ein gutes Gefühl (Items 1 und 3) und das Erleben, dass Anforderung und Fähigkeit genau passen (Item 6), hatte man nur unter der Bedingung „Flow“ (nach Daten aus [38]).



► **Abb. 3** Höhere Durchblutung (ml/100 g Gewebe/Minute) in der Flow-Bedingung im Bereich des linken inferioren frontalen Gyri (L IFG) und des linken Putamens. Rechts ist der Blutfluss im jeweiligen Gebiet unter den 3 Bedingungen L (Langeweile), F (Flow) und Ü (Überlastung) dargestellt (nach Daten aus [38]).

mit deren Gehirnaktivierung direkt in Verbindung bringen (► **Abb. 5**): Ein größerer Flow-Index korrelierte deutlich und signifikant ($r = 0,62$; $p < 0,001$) mit einer verstärkten Aktivierung des linken anterioren inferioren Gyri frontalis (IFG) und mit einer verminderten Aktivierung der linken Amygdala ($r = -0,50$; $p = 0,004$), jeweils im Vergleich zum Mittelwert der Bedingungen Langeweile und Überlastung. Im linken Putamen fand sich keine positive Korrelation; im präfrontalen Kortex fand sich ein Trend zu einer Deaktivierung (negative Korrelation: $r = -0,36$; $p < 0,031$)².

Betrachtet man die Ergebnisse insgesamt, so sind erstens die Aktivierungen ebenso interessant wie die Deaktivierungen. Zweitens ist das, was man nicht findet, fast so interessant, wie das, was man findet.

Aktiviert sind beim Flow während der Durchführung einer Aufgabe, die in der Summenbildung gesehener Zahlen, d. h. in der Verarbeitung (Kopfrechnen) visuell dargebote-

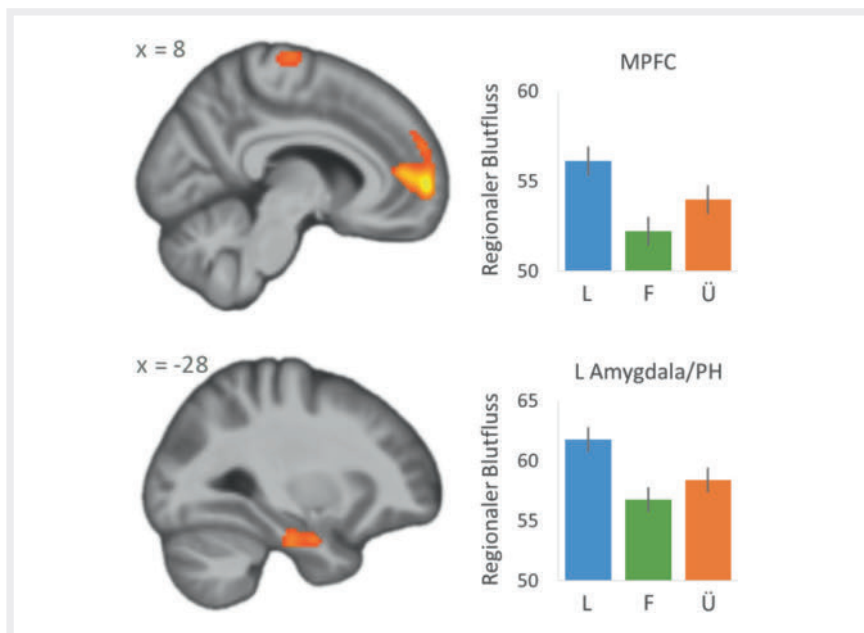
Weitere aktivierte Bereiche fanden sich im superioren und inferioren Parietallappen sowie in Bereichen des Okzipitalhirns (Cuneus sowie im Gyrus lingualis), also dem Bereich des Gehirns, der mit dem Sehen beschäftigt ist. Sämtliche Aktivierungen waren nur linksseitig lokalisiert.

Selektive Deaktivierungen unter der Bedingung Flow im Vergleich zu den anderen beiden Bedingungen fanden sich in einer gan-

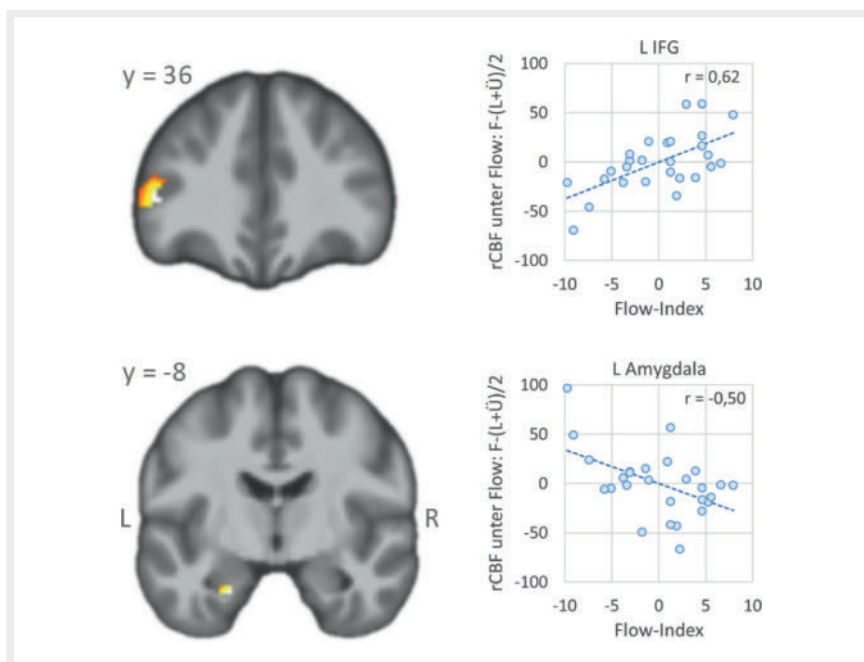
zen Reihe von Gehirnarealen: Im medialen präfrontalen Kortex beidseits, in der linken Amygdala, in den Hippocampus und Parahippocampus hineinreichend (► **Abb. 4**), beidseits im Gyrus angularis, dem rechten supramarginalen Gyri, im rechten supplementär-motorischen Kortex sowie im rechten präzentralen Gyri.

Mit Hilfe des Flow-Index ließ sich das subjektive Erleben der einzelnen Teilnehmer

2 Die angegebenen Korrelationen und p-Werte beziehen sich auf die Spitzenwerte der jeweils in den Clustern vorhandenen Voxel. Nimmt man stattdessen das (konservative) Maß des Durchschnitts im gesamten Cluster, ergeben sich etwas geringere Werte, die im linken IFG ($r = 0,47$; $p = 0,007$) und im linken Mandelkern ($r = 0,40$; $p = 0,018$) signifikant blieben, im Fall der frontalen Deaktivierung ($r = 0,29$; $p = 0,069$) jedoch nur noch einen Trend lieferten.



► **Abb. 4** Relative Deaktivierungen im linken und rechten anterioren Gyrus cinguli und angrenzenden ventralen und dorsalen Anteilen des rechten medialen superioren Gyrus frontalis (medialer präfrontaler Kortex, MPFC; oben) sowie im Bereich der linken Amygdala, die nach hinten bis in den Hippocampus und Parahippocampus hineinreichte (L Amygdala/PH; unten). In den Balkendiagrammen rechts erkennt man deutlich die geringere Durchblutung (ml/100 g Gewebe/Minute) der links orange-gelb dargestellten Areale in der Flow-Bedingung (nach Daten aus [38]).



► **Abb. 5** Zusammenhang zwischen dem Flow-Index und dem neuronalen Aktivierungsunterschied, berechnet wie der Flow-Index, aber nicht aus den Erlebnisdaten aus den 3 Bedingungen, sondern aus den Aktivierungen unter den 3 Bedingungen: jeweils Bedingung F (Flow) minus dem Mittelwert aus den Bedingungen L (Langeweile) und Ü (Überlastung). Die Aktivität des linken inferioren frontalen Gyrus (-44, 36, 6) steigt mit dem Flow-Erleben (im Vergleich zu Bedingungen L und Ü), die des linken Mandelkerns (-22, -8, -28) sinkt. Alle Werte sind mittelwertzentriert (nach Daten aus [38]).

ner Zahlen besteht, sowohl visuelle Areale als auch Areale, die nach vorliegenden tierexperimentellen Befunden mit zielgerichtetem Handeln (Putamen) zu tun haben. Hori und Mitarbeiter [14] hatten bereits im Jahr 2009 eine Studie an 3 Primaten publiziert, bei denen während einer Go-NoGo-Aufgabe mit kleiner und großer Belohnung von über 300 Neuronen im Putamen abgeleitet worden war. Von den 159 aufgrund ihres Antwortverhaltens auswertbaren Neuronen konnte gezeigt werden, dass einige unter ihnen den Wert der Belohnung, andere den Ort des Stimulus und wieder andere die Zielrichtung der Handlung (Aktion) kodierten. All diese Information (was ist wo und hat welchen Wert) müssen beim Handeln berücksichtigt und damit zusammengeführt (d. h. „verrechnet“) werden, wobei dem Putamen offenbar eine wesentliche Rolle zukommt. Eine erst kürzlich erschienene Studie an Affen [19] fand entsprechend, dass Neuronen im Putamen Input von motorischen und visuellen Afferenzen bekommen und vor allem langfristig gespeicherte Belohnungsaspekte des visuellen Input kodieren – eine Teilmenge dieser Stimuli kann man schlicht als „Werte von Zahlen“ beschreiben.³ Der inferiore frontale Gyrus wurde bereits in anderen Studien als beim Kopfrechnen beteiligt gefunden, seine Aktivität nahm bei Aufgabenschwierigkeit zu, aber auch beim subjektiven Erleben des Gefühls von Kontrolle. Gerade dieser letztgenannte Aspekt zeigt sich in den Daten (► **Abb. 5**) deutlich.

Nicht gefunden wurde in der Studie das ventrale Striatum bzw. der Nucleus accumbens. Dies ist bedeutsam, denn in der Literatur wird Flow vielfach mit „Vergnügen“, positivem Affekt bzw. Belohnung in Verbindung gebracht. Dieser Befund „passt“ zu einem kleinen bislang unerwähnten Detail der Studie: Allen Probanden wurden nach dem Kopfrechnen im MR-Scanner die folgenden Fragen gestellt:

- „Wie angenehm finden Sie Kopfrechnen?“
- „Wie angenehm finden Sie Lesen?“

3 Die Autoren machen dies recht deutlich: „These neurons discriminate many objects, first by their visual features and later by their reward values as well. Importantly, the value discrimination was based on long-term memory, but not on short-term memory“ [19].

- „Um wie viel angenehmer finden Sie Lesen als Kopfrechnen?“ [38],

wobei die Antworten auf einer visuellen Analogskala (von „gar nicht“ bis „sehr“ bzw. – bei Frage 3 – von „viel weniger als Kopfrechnen“ bis „viel mehr als Kopfrechnen“) gegeben wurden. Interessanterweise korrelierten die Antworten auf diese Fragen nicht mit dem Erleben von Flow, woraus die Autoren mit Recht folgern, dass sich Flow unabhängig davon einstellt, ob eine Person eine Aufgabe besonders gerne oder besonders gut macht. Beim Flow geht es damit weniger um extrinsische Motivation (wie beim Essen oder beim Sex; beides ist von dopaminergem Aktivierung begleitet), sondern um das Erleben des Bewältigens einer ziemlich schwierigen (aber nicht zu schwierigen) Aufgabe.⁴

Die Autoren führen dies wie folgt aus: „Obwohl das Erleben von Flow oft als belohnend bezeichnet wird, kann es aus dieser Sicht eher nicht auf die Aktivität des menschlichen Belohnungssystems zurückgeführt werden. Stattdessen könnte der angenehme Aspekt dieses bestimmten Erlebens eher durch die Erwartung einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit im Kontext einer anstrengenden Aufgabe von hoher Schwierigkeit vermittelt sein“⁵ [38].

Die Verminderungen der Aktivität unter Flow im medialen präfrontalen Kortex, dem Gyrus angularis, dem Gyrus supramarginalis, und dem parahippocampalen Kortex passen zu deren Zugehörigkeit zum

Default-mode-Netzwerk, also denjenigen Gehirnstrukturen, die beim Nichtstun aktiv sind. Im Flow ist man schließlich höchst aktiv! Beim Nichtstun beschäftigt sich das Gehirn mit sich selbst, was dem subjektiven Erleben von selbst-referenziellen Gedanken entspricht. Solche Gedanken sind auch bei gesunden Personen in der Regel aversiv, d. h. von negativen Emotionen begleitet, wie eine ganze Reihe psychologischer Studien gezeigt hat [17, 28, 30, 40]. Hierzu passt, dass man wiederum aus einer Reihe von Studien weiß, dass der mediale präfrontale Kortex bei Grübelneigung und Depression besonders aktiv ist [4, 20, 24]. Die Autoren halten diesen Aspekt des Flow-Erlebens für besonders wesentlich: „Aus den Ergebnissen früherer Arbeiten schließen wir, dass die von uns gefundene Abnahme der Aktivität des MPFC eine der Haupteigenschaften des Flow-Erlebens im Sinne einer Verminderung selbst-referenzeller Informationsverarbeitung verbunden mit einer möglichen Verminderung negativer Affekte darstellt, die zum Gefühl beiträgt, dass das Flow-Erleben an sich Freude bereitet“ [38].⁶ Dass der Mandelkern, der eher mit Arousal infolgedes des (Nach-) Erlebens negativer Emotionen in Verbindung gebracht wird, während des Flow-Erlebens geringer aktiviert ist, passt durchaus zu dieser Interpretation.

Zwei Jahre nach dieser Studie erschien aus der gleichen Arbeitsgruppe eine weitere Arbeit zum Flow-Erleben, mit der die gewonnenen Erkenntnisse gesichert und erweitert werden konnten. Das Design der mit 23 männlichen Probanden (mittleres Alter: 24 Jahre) durchgeführten Studie war nahezu identisch mit dem der ersten Studie: Die gleichen Aufgaben und gleichen Bedingungen (Langeweile, Flow, Überlastung) wurden verwendet. Auch die Vortests zur Eingewöhnung in die Aufgabe und Ermittlung der individuellen Leistungsfähigkeit wurden durchgeführt. Gemessen wurden die Auswirkungen von Flow jedoch mittels funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT)

und dem dabei ausgenutzten BOLD-Effekt. Da der Sauerstoffgehalt des Blutes auf Änderungen der neuronalen Gehirnaktivität innerhalb von Sekunden reagiert, werden mit dieser Methode auch zeitliche Zusammenhänge zwischen der Aktivität einzelner Gehirnstrukturen erfassbar. Umgekehrt ergab sich dadurch jedoch zunächst das Problem, ob es überhaupt möglich ist, innerhalb von Sekunden in den Zustand Flow zu geraten.

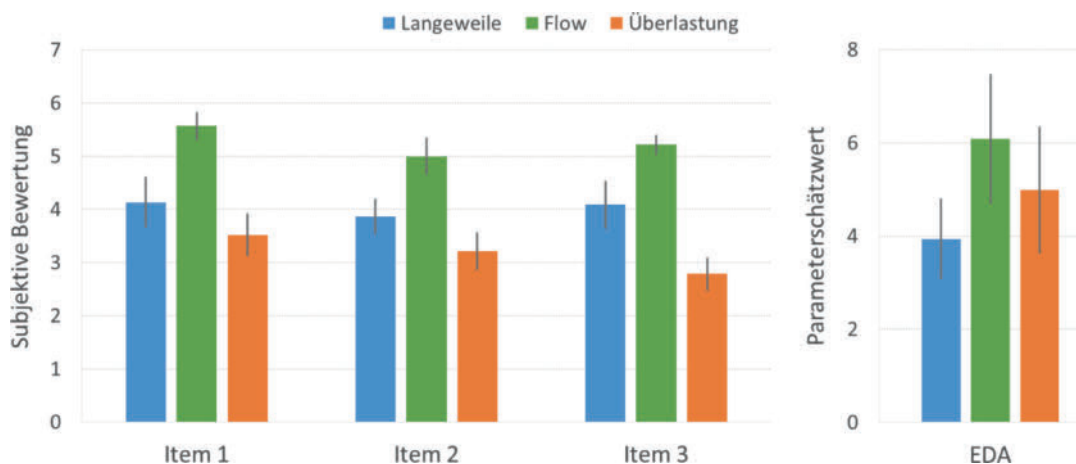
In vielen mittels BOLD durchgeführten fMRT-Studien beträgt die Dauer eines Blocks 30 Sekunden, weswegen auch in dieser Studie diese Blockdauer gewählt wurde. Dies erforderte einige Änderungen am Design: Statt der 3 Blöcke (zu jeweils 3 Minuten) pro Bedingung wurden 9 Blöcke (zu jeweils 30 Sekunden) pro Bedingung in 2 Reihenfolgen (pseudorandomisiert) dargeboten. Das Abfragen zum subjektiven Erleben unter den 3 Bedingungen erfolgte nicht nach jedem Block, sondern nach dem gesamten Experiment außerhalb des Scanners. Man sagte hierzu den Probanden, dass es 3 Bedingungen gab – eine leichte, mittelschwere und schwere – und stellte dann die 3 Fragen aus ► **Tab. 1** (Items 1, 3 und 6), die sich in der ersten Studie als geeignet erwiesen hatten, Flow von Langeweile und Überlastung zu unterscheiden. Auch wurden die bereits genannten 3 Fragen zum Rechnen im Vergleich zum Lesen gestellt. Zudem wurde eine deutsche Version des Swedish Flow Proneness Questionnaire (SFPQ; [35]) zur Messung der individuell unterschiedlichen Neigung, in den Flow-Zustand zu geraten, eingesetzt.

Ein weiteres zusätzliches methodisches Detail der Studie bestand in der Messung der elektrodermalen Aktivität (EDA) während der Erledigung der Aufgaben im MRT. Hierzu wurden Elektroden am linken Zeige- und Mittelfinger platziert und mittels einer MRT-kompatiblen Apparatur die Hautleitfähigkeit kontinuierlich gemessen, aus deren zeitlichem Verlauf man Rückschlüsse auf das Aktivierungsniveau („arousal“) einer Person ziehen kann. Die Auswertung der Verhaltensdaten erfolgte entsprechend der ersten Studie. Wie in der ersten Studie wirkten sich die Bedingungen deutlich auf die Leistungen im Kopfrechnen aus: In der leichten Bedingung Langeweile wurden 96,2% der Aufgaben korrekt

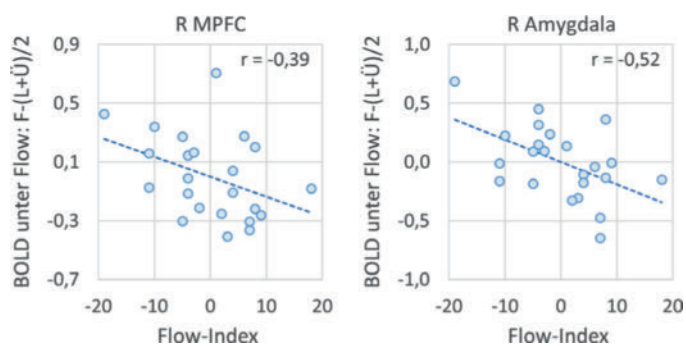
4 Mit den Worten der Autoren: „Notably, the experience of flow did not depend on the number of calculations processed and was not reliably correlated with individual levels of mathematical preferences. [...] experiencing flow may be more dependent on the nigrostriatal than the mesolimbic dopamine system. This also supports the notion that flow proneness is not specifically related to those parts of the dopaminergic system that process extrinsic rewards“ [38].

5 „From that perspective, flow experiences, although often described as rewarding, cannot be reduced to the mere activity of the human dopaminergic reward system. Instead, the pleasant aspect of this peculiar experience may be mediated by the expectation of a rather high outcome probability in the context of an effortful task of high difficulty.“

6 „Given these previous results we therefore conclude that the present flow-associated decrease in MPFC activity represents one of the main features of flow experiences, that is, a reduction in self-referential processing together with a putative reduction of negative affectivity that may contribute to the feeling that flow activity per se is enjoying.“



► **Abb. 6** Links: Die Beantwortungsmuster der Fragen 1 („Ich möchte gerne noch einmal Additionsaufgaben in der Art bearbeiten, wie ich es in dieser Phase getan habe“), 2 („Es hat mir sehr viel Spaß gemacht, mich mit den Aufgaben zu befassen. Ich war begeistert“) und 3 („Das Anforderungsniveau der Aufgaben hat meiner Fähigkeit sehr gut entsprochen“) zeigen jeweils einzeln und in ihrer Summe signifikant ($p < 0,005$), dass die Antworten beim „mittleren Schwierigkeitsgrad“ – entsprechend der Bedingung „Flow“ – am höchsten ausfielen. Rechts ist die Änderung der Hautleitfähigkeit im Vergleich zur Ruhebedingung während der 3 Experimentalbedingungen (berechnet im statistischen Modell) dargestellt (nach Daten aus [36]).



► **Abb. 7** Je höher der Flow-Index, desto stärker die relative Deaktivierung (BOLD-Signal) im Bereich des rechten und linken medialen präfrontalen Kortex (MPFC) und der rechten Amygdala im Vergleich zu den anderen beiden Bedingungen. Alle Daten sind mittelwertzentriert und beziehen sich auf die Spitzenwerte der jeweils in den Clustern vorhandenen Voxel. Koordinaten: MPFC: [12, 52, -4], Amygdala: [32, 0, -20] (nach Daten aus [36]).

gelöst, in der mittelschweren Bedingung Flow 56% und in der schweren Bedingung Überlastung nur 3,8%. Die paarweisen Unterschiede waren sämtlich hoch signifikant ($p < 0,001$). Die Antworten auf die 3 Fragen (aus ► **Tab. 1**, Items 1, 3 und 6) zum Erleben der 3 Bedingungen Langeweile, Flow und Überlastung ergab das gleiche Muster wie in der ersten Studie (► **Abb. 6**), was ebenso wie die Verhaltensdaten zum Kopfrechnen zeigt, dass die experimentelle Manipulation – d. h. die individuelle Einstellung der Aufgabenschwierigkeit – funktioniert hat. Ebenfalls wie in der ersten Studie kor-

relierte weder die Vorliebe der Teilnehmer für Kopfrechnen noch deren Rechenleistung mit dem Flow-Erleben. Der Fragebogen zur Neigung zum Flow hatte kaum eine Beziehung zum tatsächlichen Flow-Erleben im Experiment.

Die Analyse der elektrodermalen Aktivität zeigte, dass diese unter der Flow-Bedingung am höchsten war ($p < 0,001$ im Vergleich zu den anderen Bedingungen). Dies erscheint zunächst kontraintuitiv, da eine im Flow ausgeübte Tätigkeit ja leicht von der Hand geht und Flow geradezu als das

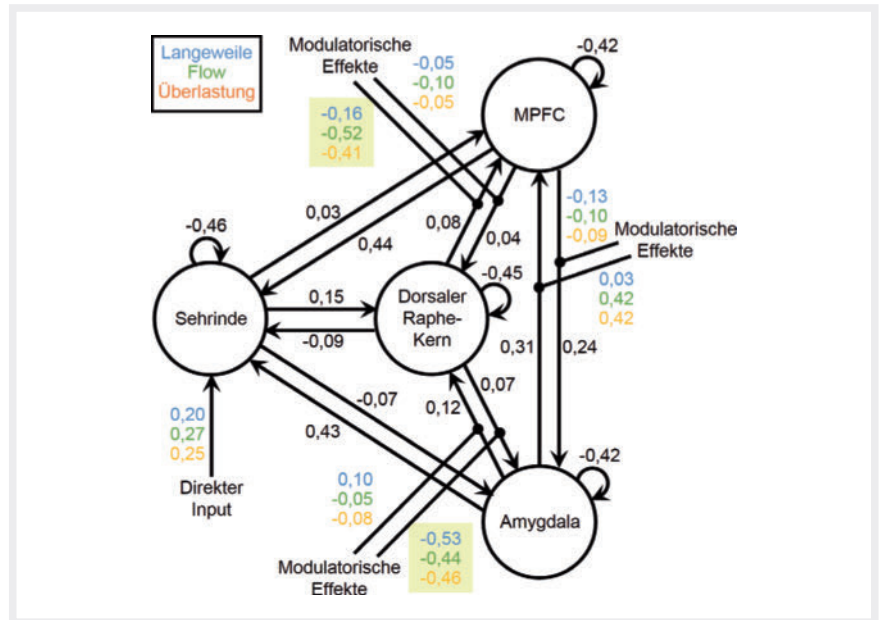
Gegenteil von Stress erlebt wird, der ebenfalls mit einer erhöhten Aktivierung einhergeht. Der Befund ist daher besonders bedeutsam für ein genaueres Verständnis des Flow-Zustands, zumal er das gleiche publizierte Ergebnis einer anderen Studie replizierte [23]. Zusammen mit der Tatsache, dass die Amygdala im Flow deaktiviert ist, ergibt sich als besonderes Charakteristikum von Flow eine Zunahme von sympathischer Aktivierung (Schweißdrüsen) bei gleichzeitiger Abnahme negativer emotionaler Aktivierung (Mandelkern).

Die Analyse der fMRT-Daten replizierte und erweiterte das in der ersten Studie bereits gefundene Ergebnis der beim Flow gesteigerten Aktivierung in lateralen frontalen und posterioren parietalen Arealen sowie im Thalamus, den Basalganglien und dem Mittelhirn. Deaktiviert waren wiederum der MPFC und der Mandelkern. Wieder zeigte sich also: Im Flow waren die Leute erfolgreich und bei der Aufgabe (Mathematik in frontalen und parietalen Arealen) nicht gelangweilt oder überfordert und daher auch nicht bei sich selbst (deaktivierter MPFC), und sie hatten keinen negativen Affekt (deaktivierte Amygdala). Dies zeigte sich auch bei der Betrachtung des Zusammenhangs von Flow-Index und Deaktivierung im MPFC und rechtem Mandelkern (► **Abb. 7**). Deaktivierungen während Flow zeigten sich vor

allem im Default-Netzwerk, d. h. neben dem MPFC auch im posterioren zingulären Kortex (PCC), dem lateralen temporoparietalen Kortex und dem medialen temporalen Kortex (mittlere Insel beidseits). Insbesondere der Effekt im PCC war bereits in der ersten Studie vorhanden, hatte jedoch nicht die zuvor definierte Clustergröße erreicht. Die Beteiligung dieser Gehirnstruktur an negativen selbst-referenziellen Gedanken und ihre Deaktivierung beim Erleben von konzentrierter Aufmerksamkeit sind bekannt.

Insgesamt ist die Übereinstimmung der Ergebnisse beider Studien bemerkenswert, bedenkt man die Unterschiede im Design und in der Methodik. Dass die zweite Studie mehr Areale (insbesondere beidseits lokalisiert) lieferte, lässt sich unschwer damit erklären, dass das BOLD-Signal der fMRT ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis als das mittels CASL gemessene Durchblutungssignal aufweist. Die Frage allerdings, ob in beiden Studien wirklich das Gleiche gemessen wurde und ob dies dem Erleben von Flow im Alltag entspricht, bleibt letztlich ungeklärt. Die Messungen jedenfalls sprechen dafür, dass Flow auch in kurzen Zeiträumen von 30 Sekunden auftreten kann, was dann sowohl subjektiv erlebt und objektiv als Gehirnaktivierung und -deaktivierung gemessen werden kann. „Dennoch, die Frage, ob die Intensität der [experimentell erzeugten] Erlebnisse von Flow der Intensität von Flow-Erlebnissen in Alltagssituationen entspricht, kann anhand der vorliegenden Daten nicht beantwortet werden. [...] Daher sollten unsere Ergebnisse im Sinne einer eher abstrakten Annäherung an das Flow-Erleben gesehen werden, ein Preis, den man bezahlen muss, wenn man ein komplexes Konstrukt [wie Flow] unter die starre experimentelle Kontrolle einer Laborumgebung bringen will“, stellen die Autoren hierzu mit Recht fest [36].⁷

7 „However, whether the intensity of present experiences of flow corresponds to intensities experienced in everyday situations cannot be answered with present data. [...] Insofar, our results here should be understood as a more abstract approximation to the experience of flow, a price to pay when a complex construct is to be brought under rigorous experimental control in a laboratory setting.“

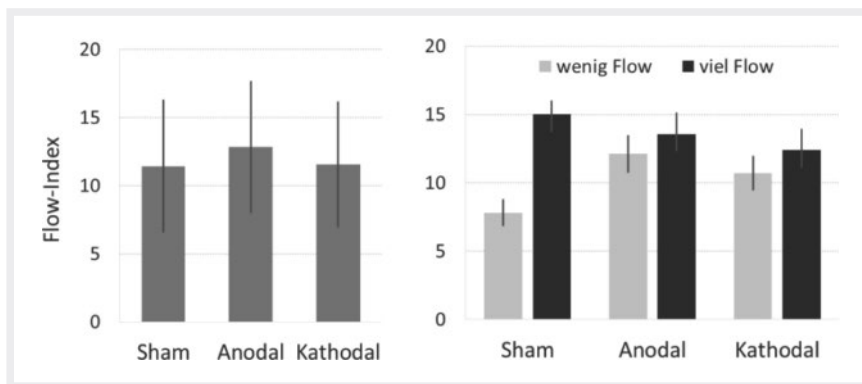


► **Abb. 8** Funktionelle Zusammenhänge der Aktivierung von 4 Gehirnregionen (Sehrinde, dorsaler Raphe-Kern, MPFC und Mandelkern) sowie Einfluss der Experimentalbedingungen (Modulation) auf diese Zusammenhänge in einem Modell, das nach dem Verfahren des Dynamic Causal Modeling gerechnet wurde (modifiziert nach [37]).

Ein wichtiges neues Ergebnis der zweiten Studie war die Aktivierung eines Bereichs im Mittelhirn, bei dem es sich mit großer Wahrscheinlichkeit um die serotonergen dorsalen Raphe-Kerne handelt. Um dessen Funktion beim Flow-Erleben aufzuklären, untersuchten die Autoren den Datensatz aus der zweiten Studie mit dem mathematischen Verfahren des Dynamic Causal Modeling (DCM) zur Berechnung der effektiven Konnektivität zwischen Raphe-Kernen, medialem präfrontalen Kortex und Amygdala [37]. Hierbei wurde die zeitliche Dynamik des BOLD-Signals in 4 funktionell und anatomisch definierten Punkten (jeweils einzelnen Voxeln) verwendet, um Aussagen über den zeitlichen Verlauf der Aktivierung und damit die wechselseitige Beeinflussung der genannten Gehirnstrukturen, d. h. ihr funktionales Zusammenspiel, aufzuklären. Wie ► **Abb. 8** verdeutlicht, bewirkt Sehen (der visuelle Input im Rahmen der Darbietung der Kopfrechenaufgaben) eine Steigerung der Aktivierung des Sehsystems. Dies ist zu erwarten und daher trivial. Interessant ist dagegen, dass der Raphe-Kern unter der Bedingung Flow den MPFC am stärksten herunterregelt und damit indirekt auch den Mandelkern. Dieser wird durch den Raphe-Kern direkt unter allen Bedingungen (Langeweile, Flow und Überlastung) deaktiviert.

Um diese Zusammenhänge noch weiter zu untersuchen, erweiterten die Autoren ihr Methodenspektrum in einer weiteren Studie um ein Gehirnstimulationsverfahren [39]. Man unterscheidet prinzipiell 2 Arten der Gehirnstimulation: invasive und nicht invasive Verfahren. Die invasiven Verfahren (mittels durch die Schädeldecke ins Gehirn eingeführter Elektroden) verbieten sich beim gesunden Menschen, weswegen das nicht invasive Verfahren der transkraniellen Gleichstromstimulation (transcranial Direct Current Stimulation, tDCS) verwendet wurde. Hierdurch ist es möglich, durch großflächige am Kopf befestigte Elektroden (kleine Lappchen/Schwämmchen) einen schwachen Gleichstrom zu applizieren. Eine Elektrode wird über dem zu beeinflussenden kortikalen Areal platziert, die andere an einem „neutralen“ Ort, z. B. der Schulter. An der relevanten Elektrode kann man nun entweder den Pluspol (anodale tDCS) oder den Minuspol (kathodale tDCS) anschließen.

Dieses Verfahren hat eine lange Tradition, wurde jedoch erst in den letzten beiden Jahrzehnten nach einer Art „Dornröschenschlaf“ wieder häufiger in Humanexperimenten eingesetzt, sowohl was Paradigmen zur Untersuchung der Motorik als auch höherer geistiger Leistungen angeht [3].



► **Abb. 9** Auswirkungen der tDCS-Bedingungen auf das Flow-Erleben (gemessen mittels Flow-Index) über die Gesamtgruppe (n = 22; links) und über die nach ihrem Flow-Index unter Sham-Bedingung in 2 Gruppen zu jeweils n = 11 aufgeteilten Probanden mit wenig bzw. viel Flow-Erleben (rechts) (nach Daten aus [39]).

Hierbei konnte die prinzipielle Eignung des Verfahrens zur Beeinflussung (Modulation) auch höherer geistiger Leistungen etabliert werden. Hat man also bereits eine klare Vorstellung von den bei einer bestimmten kognitiven Leistung beteiligten Arealen der Gehirnrinde, kann man entsprechende Hypothesen durch eine Modulation dieser Bereiche direkt testen.

Weiterhin wurde deutlich, dass anodale tDCS bei motorischen Aufgaben eher zu einer Steigerung der kortikalen Aktivierung, kathodale tDCS hingegen eher zu deren Verminderung führt. Bei höheren geistigen Leistungen war dies nicht immer der Fall. Es stellte sich heraus, dass der Effekt der tDCS in diesen Experimenten nicht zuletzt vom Gehirnzustand ohne Stimulation abhängt. Erschließt man das Ausmaß der Aktivität eines Gehirnbereichs durch Messung der Performance des Areals (in Verhaltensvariablen), so gilt nicht selten Folgendes: Besteht schon eine hohe Aktivität, ist keine oder nur noch eine geringe Steigerung zu verzeichnen, besteht hingegen zunächst eine geringe Aktivität, dann ist sie durch tDCS zu steigern. Um Placeboeffekte auszuschließen, wird eine Sham-Bedingung eingeführt, bei der so getan wird, als würde stimuliert, ohne den Strom jedoch dauerhaft einzuschalten.

Da in der Literatur bereits Hinweise vorliegen, dass der MPFC durch tDCS modulierbar ist, wurde an 22 gesunden männlichen Probanden im Alter von knapp 25 Jahren untersucht, ob die Aktivität des MPFC und damit das Flow-Erleben durch tDCS zu be-

einflussen (also modulierbar) ist. Im Rahmen einer recht komplexen Studie wurde letztlich das Design der ersten Studie erneut verwendet, wobei allerdings jeder Proband an 3 Tagen 3-mal für etwa eine halbe Stunde im MRT untersucht wurde, unter

- Sham-tDCS,
- anodaler und
- kathodaler tDCS (die Reihenfolge war jeweils pseudo-zufällig).

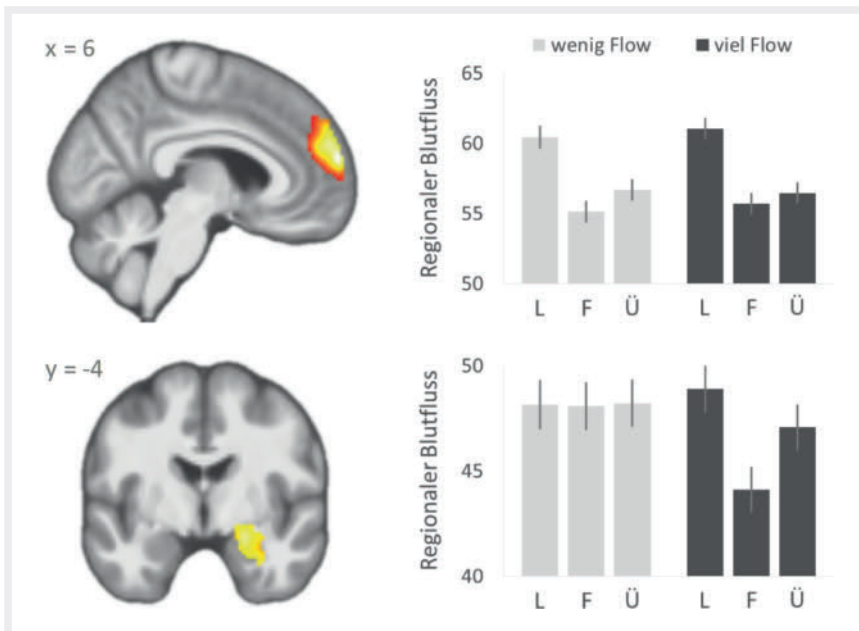
In ► **Abb. 9** ist der Flow-Index, also das Ausmaß des subjektiven Erlebens von Flow, unter den tDCS-Bedingungen (Sham, anodal, kathodal) dargestellt, wobei sich keine Unterschiede zeigten. Teilte man jedoch die Gesamtgruppe nach dem Flow-Index unter der Sham-Bedingung (also ohne Gehirnstimulation) in 2 Gruppen mit viel versus wenig Flow-Erleben ein, so zeigte sich, dass die Probanden mit wenig Flow-Erleben unter anodaler tDCS einen signifikanten ($p = 0,006$) Anstieg ihres Flow-Erlebens aufwiesen, wohingegen die Probanden mit viel Flow-Erleben unter anodaler tDCS keinen Anstieg des Flow-Erlebens aufwiesen. Unter kathodaler tDCS gab es numerisch ähnliche Effekte, die jedoch nicht signifikant waren ($p = 0,076$).

Aufgrund dieser gefundenen Abhängigkeit der tDCS vom Ausmaß des Flow-Erlebens unter Sham-tDCS (d. h. Flow-Erleben ohne Gleichstromstimulation) wurde in den weiteren Analysen der Faktor „Gruppe“ (mehr vs. weniger Flow-Erleben unter Sham-tDCS) mit einbezogen. Die Analyse der Bilddaten für die Gesamtgruppe ergab eine signifikante Deaktivierung unter Flow für den

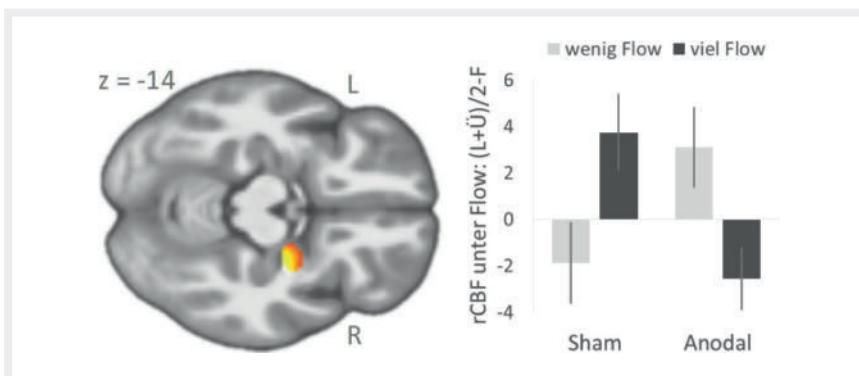
MPFC, nicht jedoch für den Mandelkern. Betrachtete man beide Gruppen getrennt, so zeigte sich die Deaktivierung des Mandelkerns nur in der Untergruppe mit höherem Flow-Erleben (► **Abb. 10**). Die Unterscheidung der Versuchspersonen nach ihrem Flow-Erleben ohne Gehirnstimulation hatte also einen Einfluss auf den Effekt der Gehirnaktivierung. Dieser zeigte sich vor allem im Mandelkern, der selektiv bei den Teilnehmern mit stärkerem Flow-Erleben verglichen mit den anderen beiden Bedingungen deaktiviert war (► **Abb. 10**, unten).

Um den Auswirkungen der tDCS auf die Gehirnaktivierung weiter nachzugehen, wurde ein Deaktivierungsindex als Maß für die Reagibilität eines Hirnareals auf das Flow-Erleben gebildet, indem die Differenz zwischen den Kontrollaktivierungen Langlewe plus Überlastung und der Flow-Bedingung berechnet wurde: $(L + \ddot{U})/2 - F$ (analog zu dem beschriebenen Verhaltensindex). Dieser Index quantifiziert die Flow-Deaktivierung gegenüber den beiden Kontrollbedingungen. Je größer die Deaktivierung durch die Flow-Bedingung war, desto größer (positiver) wurde der Deaktivierungsindex. Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung und den Faktoren Gruppe (höheres vs. niedrigeres Flow-Erleben unter Sham-Stimulation), Treatment (anodal, kathodal, sham) und Bedingung (Deaktivierungsindex) für die Aktivierung des MPFC und der Amygdala zeigte eine signifikante 3-fache Wechselwirkung in dem Sinn, dass nur bei anodaler Stimulation im rechten Mandelkern nur in der Gruppe mit niedrigem Flow-Erleben es unter der Bedingung Flow zu einer Verstärkung der Deaktivierung kam, während das Deaktivierungsprofil in der Gruppe mit höherem Flow-Erleben durch Stimulation verschwindet.

Dies passt zu den erwähnten Befunden, nach denen die Auswirkungen von tDCS nur dann zu bemerken sind, wenn man die Reaktion auf Nichtstimulation (Sham) in die Analysen einbezieht. Dies wirft die Frage auf, ob diese Unterscheidung vielleicht auch andere relevante Variablen betrifft und die Effekte aus diesem Grund (und nicht aufgrund der Veränderung des Flow-Erlebens) auftreten. Dies konnte jedoch durch entsprechende Analysen weitgehend ausgeschlossen werden.



► **Abb. 10** Oben: Deaktivierung des MPFC (6, 60, 18) in beiden Untergruppen durch Flow-Erleben (ohne Hirnstimulation). Unten: Deaktivierung des Mandelkerns (20, -8, -16) nur in der Gruppe mit höherem Flow-Erleben. Durchblutung angegeben in ml/100 g Gewebe/Minute. L: Langeweile, F: Flow, Ü: Überlastung (nach Daten aus [39]).



► **Abb. 11** 3-fache Interaktion von Bedingung (kein Flow vs. Flow), Gruppe (weniger vs. mehr Flow-Erleben) und Stimulation mit anodaler tDCS im Vergleich zu Sham in der rechten Amygdala (30, -10, -16). Graue Säulen: Deaktivierung unter Flow ist in der Gruppe mit wenig Flow unter Sham-Stimulation gering und nimmt unter anodaler Stimulation zu. Schwarze Säulen: Die starke Deaktivierung in der Gruppe mit viel Flow unter Sham-Stimulation nimmt unter anodaler Stimulation ab (nach Daten aus [39]).

Zusammenfassend ergibt sich damit ein system-neurowissenschaftliches Bild von Flow, das diesen als ganz besonderen Zustand eines Individuums beschreibt. Wenn die Arbeit zum Können „passt“, dann „verliert“ man sich selbst in der Arbeit (deaktiviertes selbstreflektierendes Denken im MPFC), ist angeregt (mittels EDA gemessenes vermehrtes Arousal) und ist zugleich angstfrei (deaktivierte Amygdala). Durch Stimulation des MPFC lässt sich Flow bei Menschen, die diesen Zustand trotz ent-

sprechender Rahmenbedingungen (noch) nicht erreicht haben, fördern.

Diskussionen

Die dargestellten Erkenntnisse zum Flow werfen ein interessantes Schlaglicht auf einen Aspekt des klinischen Alltags sowie auf eine Reihe laufender Diskussionen zu Problemen beim Lernen, Denken, Entscheiden und Handeln in den Bereichen Psycho-

logie, Neurobiologie, Neuroökonomie und Machine Learning.

Depression, Flow und die Neurobiologie der Glasperlenherstellung

Dass es hier nicht nur um „denkbare Modellierungen“ eines noch wenig experimentell untersuchten psychischen Zustands im wissenschaftlichen Kontext allein der Erkenntnis wegen geht, kann man vielleicht schon deswegen vermuten, dass alle beschriebenen Studien aus der Arbeitsgruppe um Georg Grön und Martin Ulrich aus der Ulmer Psychiatrischen Universitätsklinik kommen. Unsere nach diagnostischer Einteilung größte Patientengruppe sind Menschen, die an einer Depression leiden. Und daher erleben sie sehr häufig quälende selbstbezogene Gedanken negativen Inhalts: Grübeln. Ursächlich damit verbunden ist nach heutiger Kenntnis u. a. eine überschießende Aktivität im MPFC, also genau desjenigen kortikalen Areals, das beim Erleben von Flow deaktiviert wird.

Insbesondere im deutschsprachigen Raum zählt seit Jahrzehnten die Beschäftigungstherapie zu den Grundfesten der stationären Behandlung psychisch Kranker und insbesondere von Patienten mit Depression. Hierbei gehen sie – meist in kleinen Gruppen – einer Tätigkeit nach, die ihnen Freude macht, und die einen fertigen Charakter hat (daher spricht man auch von Ergotherapie, vom griechischen Wort Ergon: das Werk; ► **Abb. 12**). Da werden Körbe geflochten, Bilder gemalt, Gefäße oder Skulpturen getöpft oder kleine Gegenstände aus Holz (Spielzeug, Skulpturen, Gebrauchsgegenstände für den Alltag) hergestellt. Als weitere Kotherapien werden darüber hinaus Musik (d. h. aktives Musizieren und Singen), Tanz und verschiedene körperliche Aktivitäten (Sporttherapie, z. B. Laufen, Gymnastik, Schwimmen, Klettern) angeboten. Diese Therapieangebote werden vor allem bei depressiven Patienten eingesetzt, und auch von ihnen nachgefragt.

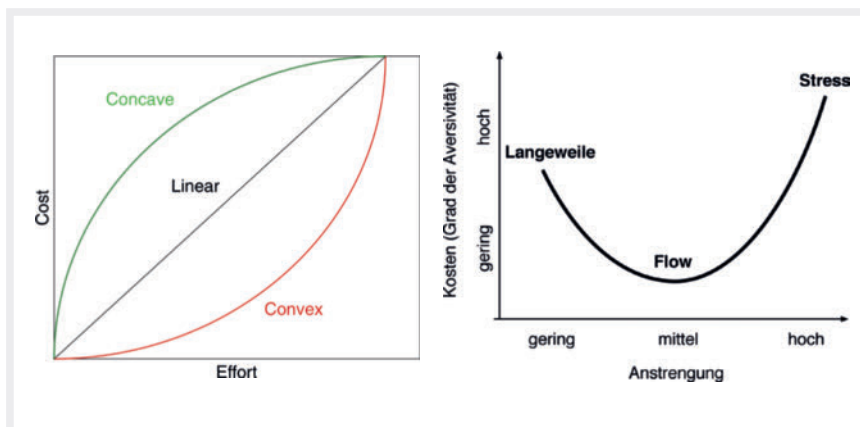
Der klinische Effekt dieser Maßnahmen ist nicht selten beeindruckend: Hat man es erst einmal geschafft, die Patienten zu dieser Art der Therapie zu bewegen („versuchen Sie es bitte einmal“ und „wir haben ein breites Angebot; tun Sie bitte nur, was Ihnen Freude macht“), berichten die Pati-



► **Abb. 12** Bei der Herstellung von Glasperlen sind sowohl Kinder als auch Erwachsene konzentriert und über längere Zeit ganz bei der Sache und auf die Tätigkeit fokussiert. Wer das nicht ist, scheitert und/oder verbrennt sich die Finger – und das ist durch das Setting jedem unmittelbar klar. Zudem hat jeder das Ziel, eine Perle selber zu produzieren, buchstäblich glasklar vor Augen. Quelle: ©privat

enten von einem Rückgang ihrer Grübelneigung und Ängste während der Therapie und zuweilen auch noch danach. Sie machen damit die Erfahrung, dass ihre Symptome beeinflussbar sind, und dies kann ihnen genau die Hoffnung auf Besserung geben, deren Fehlen ebenso zur Depression gehört wie Inaktivität und Lustlosigkeit.

Angesichts dieser Datenlage und den durchaus hohen Kosten dieses Therapieangebots ist es misslich, dass es hierzu nur wenige empirische Untersuchungen gibt [8, 11, 26]. Aufgrund der unterschiedlichen Methoden und eingesetzten Therapieformen ist daher ein klares, evidenzbasiertes Urteil der klinischen Wirksamkeit noch nicht möglich. Die vorgestellten Erkenntnisse könnten geeignet sein, den Fokus der klinischen Fragestellungen zu schärfen und sogar die Effektivität der Therapie zu optimieren (Flow-Effekt subjektiv oder objektiv messen, Therapie mit und ohne tDCS, etc.).



► **Abb. 13** Ausmaß der Aversivität („Kosten“) in Abhängigkeit vom geistigen Aufwand. Links: Ökonomische Modelle, die unabhängig von der angenommenen Funktion (linear, konvex oder konkav) grundsätzlich von einem Anstieg der Kosten bei Zunahme der geistigen Anstrengung ausgehen (nach Daten aus [18]). Rechts: U-förmige Funktion des Erlebens von ansteigender geistiger Arbeit als „aversiv“ über „attraktiv“ und zurück nach „aversiv“, wie sie sich sowohl aus Antworten auf entsprechende Fragen zum subjektiven Erleben (Items 1, 3 und 6 aus ► **Tab. 1**) als auch in einem neurobiologischen Model von Flow (► **Abb. 8**) darstellt.

Flow und geistige Arbeit

Auf den Lernpsychologen Clark Hull [15] geht die Idee zurück, dass geistige Arbeit (mental labour) genau wie körperliche Arbeit anstrengend ist. Diese Idee wurde von der traditionellen Verhaltensökonomie präzisiert, und man geht davon aus, dass wir uns bei der Investition geistiger Mühe erstens rational verhalten und zweitens versuchen, diese Mühe klein zu halten, wie wir das mit „Arbeit“ im herkömmlichen Sinne auch tun: Sie ist negativ konnotiert, stellt einen Aufwand dar, dem ein positiver Nutzen gegenüberstehen muss (sonst wird er nicht geleistet). „Ökonomen nehmen instinktiv an, dass Denken eine unangenehme („kostspielige“) Aktivität ist. Geistige Anstrengung ist wie körperliche Anstrengung – die Leute mögen beides nicht“, beschrieben Camerer und Hogart diesen Gedanken schon vor 20 Jahren (um ihn anschließend zu kritisieren) [5].

Diese Idee passt nicht zu den hier vorgelegten Erkenntnissen zum Flow, denn die Aversivität geistiger Anstrengung verläuft nicht linear von „wenig“ (Langeweile) über „mittel“ nach „viel“ (Überforderung), sondern von „wenig“ über „gar nicht bzw. positiv“ (Flow) nach „viel“ (► **Abb. 13**). Mit anderen Worten: Wenn empirisch nachgewiesen ist, dass der Zusammenhang zwischen Anstrengung und Aversion bzw. Kosten u-förmig ist, beschreiben Theorien, die diese Form des Zusammenhangs nicht be-

rücksichtigen, menschliches Verhalten unzutreffend.

Was ist „Nutzen“ im Lichte von Flow?

Dieses Problem wurde durchaus von namhaften Ökonomen gesehen und diskutiert. George F. Loewenstein, einer der Begründer der Verhaltensökonomie (behavioral economics bzw. neuroeconomics) und ein Urenkel von Sigmund Freud⁸, schrieb hierzu bereits vor 20 Jahren eine schöne Arbeit mit dem bezeichnenden Titel: „Weil es da ist: Die Herausforderung des Bergsteigens ... für die Theorie des Nutzens“. Darin argumentiert er, dass die Ökonomie 4 Quellen des Nutzens sträflich vernachlässigt habe:

- das Selbstwirksamkeitserleben,
- die subjektive Zielsetzung und -erfüllung,
- das eigene Können,
- und die Sinnhaftigkeit bzw. Sinnerfüllung.

Und er schreibt, dass nur unter Berücksichtigung dieser zusätzlichen Beweggründe

8 In seinem sehr lesenswerten Buch *Misbehaving. The Making of Behavioral Economics* schreibt Richard Thaler, Ökonomie-Nobelpreisträger von 2017, über Loewenstein: „Although trained as an economist, George is really a talented psychologist as well, a fact that might be partially attributed to good genes. His middle initial F stands for Freud; Sigmund was his great-gandfather“ [34].

das Verhalten von Menschen verständlich wird.⁹ Wahrscheinlich würde Loewenstein den Flow – ein oft genanntes Beispiel für das Erleben dieses Zustandes ist ja das Bergsteigen – auch in diese Liste aufnehmen oder als bereits auf der Liste befindlich erklären (eine Kombination aus 1 bis 4 charakterisiert ja den Flow). Das Problem dieser für einen Ökonomen sehr menschlichen Sicht des Menschen besteht jedoch darin, dass man die genannten Faktoren zwar post-hoc als Motivatoren von Verhalten vermuten kann, ihre Messung im Rahmen quantitativer (mathematischer) Modelle zur Entscheidungsfindung jedoch ausgesprochen schwierig und mit methodischen Fallstricken behaftet war. Dies hat man den Verhaltensökonominnen auch oft vorgeworfen, nicht zuletzt bei der Verleihung des Nobelpreises an einen der Begründer der Verhaltensökonomie, Richard Thaler [27]. Wenn nun aber Flow nicht nur subjektiv erlebt, sondern auch objektiv gemessen werden kann, stünde die Verhaltensökonomie plötzlich wesentlich besser da. Das Paradoxon der Anstrengung [16], dass sie einerseits aversiv erlebt wird, wir uns jedoch auch vielfach gerne anstrengen, würde handhabbar.

Fehler, Flow und kognitive Kontrolle

Nicht anders verhält es sich mit Theorien zur Verarbeitung von Fehlern und zur kognitiven Kontrolle. Die Frage, wie viel Mühe wir uns geben oder ob wir mit der Tätigkeit, die wir gerade tun, aufhören und etwas anderes beginnen sollen, läuft letztlich darauf hinaus, eine Kosten-Nutzen-Analyse durchzuführen, die geistigen Aufwand mit dem zu erwartenden resul-

tierenden Nutzen in Beziehung bringt.¹⁰ Diese Kosten-Nutzen-Abwägung muss keineswegs bewusst ablaufen, ebenso wenig wie beim Wechsel vom Gehen zum Rennen eine Analyse der Kinematik erfolgt, obwohl wir diesen Wechsel genau dann vornehmen, wenn er physikalisch bzw. energetisch sinnvoll ist. Damit Modelle – seien sie nun physikalisch oder ökonomisch – funktionieren, muss man annehmen, dass im Organismus irgendwo die entsprechenden Schritte der Implementierung ablaufen.¹¹

Wenn wir lernen, machen wir Fehler. Umgekehrt gilt: Wenn wir keine Fehler machen, lernen wir, wenn überhaupt, nur wenig und nur sehr langsam. Für jegliches Lernen ist es daher von Vorteil, wenn es unter Bedingungen erfolgt, die einerseits nicht zu schwierig sind, sonst werfen wir den Griffel, den Pinsel, die Säge oder die Flöte in die Ecke. Es darf aber auch nicht zu leicht sein, sonst wird es uns langweilig – mit letztlich der gleichen Konsequenz. Es gibt also einen Bereich zwischen „Null Fehler“ und „viele Fehler“, in dem es sich am besten lernt. Aber wo genau liegt dieser Bereich?

Nach einer in bioRxiv preprint online publizierten Studie lautet die Antwort „bei 15,87 % Fehlern“. Gefunden wurde dieser Wert durch Computersimulationen von Lernprozessen (Wahrnehmungslernen, motorisches Lernen und Lernen durch Ver-

stärkung) mittels verschiedener Typen von Netzwerken – vom einschichtigen Perceptron bis hin zu vielschichtigen Deep-Learning-Netzwerken – über einen breiten Raum möglicher Netzwerkparameter [40]. Der Befund ist also kein „zurechtmodellierter“ Einzelfall, sondern ein gegenüber vielfältigen in solchen Modellen immer vorzunehmenden Annahmen robustes Ergebnis.

Damit kommt dem Flow-Erleben, das sich bei einer etwa auf diesem Niveau liegenden Fehlerrate einstellt, eine entscheidende Bedeutung zu: Es sorgt für rasches Lernen. Ebenso wie unser Geschmackserleben einen „Sweet-Spot“ für Salz (und selbstverständlich auch für Zucker!) hat, wo die Suppe weder fade noch versalzen schmeckt (und wo der Salzgehalt den Bedürfnissen unseres Körpers am besten entspricht, ohne dass wir diese kennen oder gar darüber deliberieren müssen), sorgt der in unser Erleben eingebaute u-förmige Zusammenhang zwischen Anstrengung und positiver/negativer Bewertung dafür, dass wir die Fehlerrate permanent optimieren, wenn wir eine Tätigkeit ausführen und sie dabei lernen.

Aus dieser Sicht wäre es interessant, das Flow-Erleben und die Fehlerrate noch detailgenauer experimentell in den Blick zu nehmen, zeigten doch die Simulationen, dass schon ein Abweichen von 10 % (also eine Fehlerrate von etwa 5 % oder 25 %) zu deutlich verminderten Lernleistungen führte.

Evolution, Gehirn und Kultur

Im Verlauf der Evolution des menschlichen Gehirns spielten kulturelle Leistungen, also gelerntes Verhalten, das von Generation zu Generation weiter gegeben wird, eine immer größere Rolle [12]. So entstanden die Sprachzentren im Gehirn des Menschen nur deswegen, weil es Sprache gab, und Sprache konnte es erst geben, wenn es Sprachzentren schon gab. Wer glaubt, dass diese Situation logisch ausschließt, dass Sprache je entstehen konnte, der überlege einmal, wie es mit Henne und Ei im Verlauf der Evolution wohl war ...

Unsere Sprachzentren im Gehirn entstanden ebenso wie die etwa 6500 Sprachen, die es heute weltweit gibt. Auch die Sprache folgt einerseits in mehrfacher Hin-

9 „After showing that mountaineering cannot possibly be understood as a consumption experience--i. e., an experience that directly yields sensory or mental pleasure--I argue that it can be explained, at least in part, on the basis of these four motives. Moreover, the importance of these motives is not limited to mountaineering, but extends to many if not most economic and noneconomic activities“ [21].

10 Mit den Worten der Autoren eines kürzlich zur Ökonomie geistiger Arbeit publizierten Artikels: „First, in standard economic fashion, it has been assumed that the allocation of mental effort is rational. That is, people use mental effort to increase payoffs, or in formal economic terms, to maximizing subjective utility. Second, it has been considered that mental effort is associated with negative utility. That is, such effort is costly. Putting these two notions together, the resulting challenge has been to understand mental effort allocation in terms of a cost-benefit analysis, which weighs the potential payoffs of mental effort against its inherent cost“ [18].

11 Damit ist noch gar nichts über die Art der Implementierung gesagt. Es kann sich dabei also durchaus auch um einfache „Heuristiken“ handeln, worauf Gerd Gigerenzer in seinem Gesamtwerk immer wieder hingewiesen hat. Vorausgesetzt werden muss für das Modell nur, dass es irgendeine Art der Implementierung gibt.

sicht dem Prinzip des geringsten Aufwandes [32], andererseits sprechen die Menschen – und keineswegs nur die Italiener – im Schnitt etwa 16 000 Wörter täglich [22], meist im Dialog, und mit traumwandlerischer Sicherheit und oft mit viel Spaß dabei. Dass Sprache einen bedeutsamen Motor der kulturellen Entwicklung darstellte und noch immer darstellt, würde wahrscheinlich niemand ernsthaft bezweifeln. Denn ist sie erst einmal zum Kommunizieren da, kann man mit ihr alles Mögliche anstellen, einfach nur so, weil es Freude macht, wie beispielsweise Geschichten erfinden oder Gedichte.

Nicht anders ist es mit dem Lernen – ganz gleich, ob man Laufen, Klettern oder Klavierspielen lernt. Wenn es nun Freude macht, wenn man eine Tätigkeit gerade so kann, noch ein paar Fehler macht (sonst wird es langweilig), aber keineswegs dauernd scheitert (sonst macht es keinen Spaß), dann sorgt diese Freude nicht nur dafür, dass wir von anderen lernen, was es schon alles auf der Welt zu lernen gibt, sondern sogar, dass jemand, der sich in irgendeiner kulturellen Hinsicht auf der Höhe seiner Zeit befindet, diese Kultur weiter entwickelt. Denn er wird sein Handeln darauf ausrichten, dass er Fehler machen wird – nur dann wird es nicht langweilig. Und so entstanden Geräte, Gebäude, Gemälde, Texte, Musikstücke, Theorien und Spiele von unglaublicher Komplexität. Bach und Mozart wollten im Flow bleiben, Schach- und Go-Spieler auch, Architekten, Autoren, Künstler und Gelehrte ebenso.

Damit lässt sich kognitive Kontrolle – also der Mechanismus, der darüber entscheidet, was wir gerade tun – nicht in die (verhaltens-)ökonomische Theorie pressen, bei der es um Optimierung irgendeiner Zielgröße auf individueller Ebene geht, sondern verlangt nach einem breiteren Rahmen: der Theorie der Evolution. Lebewesen maximieren nicht ihren Nutzen, sondern Information (in Form von Genen und Kultur). Auch wenn der zweite Hauptsatz der Thermodynamik auch für Lebewesen gilt [7], so entstehen durch lebendige Prozesse dennoch „Inseln der Ordnung“ im Strom, der in Richtung zunehmende Unordnung verläuft. Kulturprodukte sind wie einzelne Organismen (Metabolismus) und deren Genome solche Inseln, die ihre Entstehung

dem Leben verdanken, bei dem es nicht nur um Materie und Energie, sondern auch und ganz wesentlich um Information geht. Pflanzen verwandeln die Energie des Sonnenlichts in energiehaltige Stoffe, die von Pflanzenfressern (Herbivoren) gefressen werden, welche wiederum von Fleischfressern (Carnivoren) gefressen werden. Manche sprechen von Menschen als Informatoren, denn ihre Tätigkeit lässt sich als Aufnahme und Weiterverarbeitung von Informationen interpretieren. Und so gehen wir mit unserer Kultur über den Stoffwechsel und die Genetik und sogar über biologische Informationsverarbeitung in den Gehirnen von Tieren zumindest quantitativ¹² weit hinaus. Unsere Sprache sorgt dafür, unser Flow-Erleben auch.

Interessenkonflikt

Es liegen keine Interessenkonflikte vor.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Dr. Manfred Spitzer

Universität Ulm
Abteilung für Psychiatrie
Leimgrubenweg 12–14
87045 Ulm

Literatur

- [1] Benozio A, Diesendruck G. From Effort to Value: Preschool Children's Alternative to Effort Justification. *Psychol Sci* 2015; 26: 1423–1429
- [2] Böttcher RA. Flow in Computerspielen. Diplomarbeit, Fakultät für Informatik, Otto von Guericke Universität, Magdeburg 2005
- [3] Brückner S, Kammer T. Both anodal and cathodal transcranial direct current stimulation improves semantic processing. *Neuroscience* 2017; 343: 269–275
- [4] Burkhouse KL, Jacobs RH, Peters AT et al. Neural correlates of rumination in adolescents with remitted major depressive disorder and healthy controls. *Cogn Affect Behav Neurosci* 2017; 17: 394–405
- [5] Camerer CF, Hogarth RM. The effects of financial incentives in experiments: A review and capital-labor-production framework. *J Risk Uncertainty* 1999; 19: 7–42
- [6] Csikszentmihalyi M. Flow. The Psychology of optimal experience. New York, NY: Harper Perennial, 1990
- [7] Davis P. Life's secret ingredient: A radical theory of what makes things alive. *New Scientist* 3215, February 2nd, 2019 <https://www.newscientist.com/article/mg24132150-100-lifes-secret-ingredient-a-radical-theory-of-what-makes-things-alive/>; abgerufen am 7.4.2019
- [8] Edell MA, Blackwell B, Schaub M et al. Antidepressive response of inpatients with major depression to adjuvant occupational therapy: a case-control study. *Ann Gen Psychiatry* 2017; 16: 1. doi: 10.1186/s12991-016-0124-0. eCollection 2017
- [9] Goldberg I, Harel M, Malach R. When the brain loses its self: Prefrontal inactivation during sensorimotor processing. *Neuron* 2006; 50: 329–339
- [10] Grön G. Was passiert im Flow? *Technology Review* 2019, 65
- [11] Hees HL, de Vries G, Koeter MW et al. Adjuvant occupational therapy improves long-term depression recovery and return-to-work in good health in sick-listed employees with major depression: results of a randomised controlled trial. *Occup Environ Med* 2013; 70: 252–260
- [12] Henrich J. The secret of our success. Princeton: University Press, 2016
- [13] Honey C. Flow on demand. *Technology Review* 2019, 62–64
- [14] Hori Y, Minamimoto T, Kimura M. Neuronal encoding of reward value and direction of actions in the primate putamen. *J Neurophysiol* 2009; 102: 3530–3543
- [15] Hull CL. Principles of Behavior: An Introduction to Behavior Theory, Appleton-Century-Crofts 1943
- [16] Inzlicht M, Shenav A, Olivola C. The effort paradox: effort is both costly and valued. *Trends Cogn Sci* 2017; 22: 337–349
- [17] Killingsworth MA, Gilbert DT. A wandering mind is an unhappy mind. *Science* 2010; 330: 932
- [18] Kool W, Botvinick M. Mental labour. *Nature Human Behavior* 2018; 2: 899–908
- [19] Kunitatsu J, Maeda K, Hikosaka O. The Caudal Part of Putamen Represents the Historical Object Value Information. *J Neurosci* 2019; 39: 1709–1719
- [20] Lemogne C, Delaveau P, Fretton M et al. Medial prefrontal cortex and the self in major depression. *J Affect Disord* 2012; 136: e1–e11. doi: 10.1016/j.jad.2010.11.034
- [12] Die Frage, ob es Kultur bei Tieren gibt, wird zwar noch immer heftig diskutiert, das Pendel geht jedoch mit jeder neuen diesbezüglichen Entdeckung seit Jahren nur noch in eine Richtung: Ja.

- [21] Loewenstein GF. Because it is there: the challenge of mountaineering...for utility theory. *Kyklos* 1999; 52: 315–344
- [22] Mehl MR, Vazire S, Ramirez-Esparza N et al. Are women really more talkative than men? *Science* 2007; 317: 82
- [23] Nacke L, Lindley CA. Affective ludology, flow and immersion in a first-person shooter: measurement of player experience. Loading...: The Journal of the Canadian Game Studies Association 2009; 3 <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1004/1004.0248.pdf>, abgerufen am 9.8.2019
- [24] Nejad AB, Fossati P, Lemogne C. Self-referential processing, rumination, and cortical midline structures in major depression. *Front Hum Neurosci* 2013; 7: 666. doi: 10.3389/fnhum.2013.00666
- [25] Novak TP. Measuring the Flow Experience among Web Users 1997 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.89.1411&rep=rep1&type=pdf>; abgerufen am 9.8.2019
- [26] Schene AH, Koeter MW, Kikkert MJ et al. Adjuvant occupational therapy for work-related major depression works: randomized trial including economic evaluation. *Psychol Med* 2007; 37: 351–362
- [27] Shiller R. Richard Thaler is a controversial Nobel prize winner – but a deserving one. *The Guardian*, 11. Oktober 2017, London <https://www.theguardian.com/world/2017/oct/11/richard-thaler-nobel-prize-winner-behavioural-economics>; abgerufen am 24.8.2019
- [28] Spitzer M. Flow und Frontalhirn. *Nervenheilkunde* 2006; 25: 579–581
- [29] Spitzer M. In Gedanken sein ... (und beim iPhone). Wer nicht abschweift, hat mehr vom Leben. *Nervenheilkunde* 2011; 30: 70–73
- [30] Spitzer M. Denken. *Nervenheilkunde* 2015; 34: 417–419
- [31] Spitzer M. Geist und Gehirn am Computer trainieren? *Nervenheilkunde* 2019; 38: 314–323
- [32] Spitzer M. Neandertaler ohne F Nervenheilkunde 2019; 38: 578–581
- [33] Spitzer M, Graf H. Das Gehirn beim Nichtstun. *Nervenheilkunde* 2011; 30: 1005–1007
- [34] Thaler RH. *Misbehaving. The Making of Behavioral Economics*. New York: Norton, 2015
- [35] Ullén F, de Manzano Ö, Almeida R et al. Proneness for psychological flow in everyday life: associations with personality and intelligence. *Personality and Individual Differences* 2012; 52: 167–172
- [36] Ulrich M, Keller J, Grön G. Neural signatures of experimentally induced flow experiences identified in a typical fMRI block design with BOLD imaging. *SCAN* 2016; 11: 496–507
- [37] Ulrich M, Keller J, Grön G. Dorsal raphe nucleus down-regulates medial prefrontal cortex during experience of flow. *Front Behav Neurosci* 2016; 10: 169. doi: 10.3389/fnbeh.2016.00169
- [38] Ulrich M, Keller J, Hoenig K et al. Neural correlates of experimentally induced flow experiences. *Neuroimage* 2014; 86: 194–202
- [39] Ulrich M, Niemann J, Boland M et al. The neural correlates of flow experience explored with transcranial direct current stimulation. *Experimental Brain Research* 2018; doi.org/10.1007/s00221-018-5378-0
- [40] Wilson RC, Shenhav A, Straccia M et al. The Eighty Five Percent Rule for Optimal Learning. *bioRxiv preprint*, first posted online Jan. 27, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1101/255182>; abgerufen am 22.8.2019

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0949-1265>
Nervenheilkunde 2019; 38: 765–777
 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
 ISSN 0722-1541