

Vom Überleben im Datendschungel



Funktionelle Bildgebung zeigt, wie wir unsere Aufmerksamkeit lenken

Ein Moment höchster Konzentration. Der Torwart richtet seine Aufmerksamkeit wie einen Scheinwerfer auf einen bestimmten Ausschnitt des Gesichtsfeldes, der sich mit dem Herannahen des Balls (gelb) vergrößert. Zuvor hat er versucht, zwei Orte gleichzeitig zu beachten (grün) und dabei Störendes auszublenden (rot). Nicht nur Orte, auch ganze Objekte können Aufmerksamkeit beanspruchen (blau). Die Arbeitsgruppe Kognitive Neurologie am Universitätsklinikum Frankfurt erforscht, wie unser Gehirn solche Aufgaben meistert.

Es geschah vor ein paar Jahren in Costa Rica: Beim Warten auf den Bus zum Nebelwald setzte sich ein alter, etwas hilflos wirkender Mann neben mich. Wohl auf der Suche nach Geld für seine Fahrkarte fielen ihm plötzlich Münzen aus der Hand, die direkt vor meine Füße rollten. Wortreich entschuldigte er sich und bat mich, ihm beim Einsammeln der Münzen zu helfen. Natürlich kam ich dieser Bitte nach. Kurz darauf stieg er mit der Begründung aus, er habe etwas vergessen. Der Bus fuhr endlich los, der Schaffner kam, wollte meinen in der Geldbörse aufbewahrten Fahrschein sehen – und die Geldbörse war weg. Der arme alte Mann war ein Taschendieb gewesen! Doch wie war ihm das gelungen? Die Geldbörse befand sich in einer mit einem Klettverschluss verschlossenen Hosentasche direkt an meinem Körper. Nun, er war ein Experte der Aufmerksamkeit: Er hatte mich schlichtweg so geschickt abgelenkt, dass ich diesen Vorgang, der sonst kaum unbemerkt geblieben wäre, nicht wahrgenommen habe.

Experten der Aufmerksamkeit

Nicht nur Taschendiebe wissen um den Effekt von Aufmerksamkeit auf unsere Wahrnehmungsfähigkeit. Auch der ganze »Hokuspokus«, den Zauberkünstler mit Stab, Tuch

und hübscher Assistentin inszenieren, hat nur den einen Zweck: unsere Aufmerksamkeit vom eigentlichen Geschehen abzulenken. Die Werbeindustrie auf der anderen Seite treibt immensen Aufwand, um unsere Aufmerksamkeit auf die Produkte ihrer Auftraggeber zu lenken. Taschendiebe, Zauberkünstler, Werbeleute – sie haben alle eines begriffen: Nur das, worauf wir unsere Aufmerksamkeit lenken (oder lenken lassen), wird bewusst wahrgenommen, brennt sich ins Gedächtnis ein, beeinflusst unsere (Kauf-)Entscheidungen.

Unsere Arbeitsgruppe Kognitive Neurologie am Universitätsklinikum Frankfurt hat das Ziel, die neuronalen Prozesse zu charakterisieren, die solchen erstaunlichen Aufmerksamkeitseffekten zugrunde liegen. Wir untersuchen, welchen Einfluss Aufmerksamkeit auf die Aktivität in sensorischen Hirnarealen hat, mit denen wir Sinneseindrücke verarbeiten. Die Methode, die dabei vorzugsweise eingesetzt wird, ist die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT; [siehe »Ausgewählte Methoden der Hirnforschung im Überblick«, Seite 78]: Sie erlaubt es, neuronale Aktivität indirekt über Änderungen der Blutversorgung mit recht guter räumlicher Auflösung darzustellen, weil arbeitende Neuronenverbände viel Energie und Sauerstoff anfordern.

Top-down-Kontrolle: Das Spotlight-Modell

Ausgangspunkt unserer Arbeiten sind dabei fMRT-Studien, die Ende der 1990er Jahre für Furore sorgten (für einen Überblick siehe^{1/}). Diese Untersuchungen zeigten, dass neuronale Aktivität in der Sehrinde, der primären Auswertstation für die von den Augen gelieferten Daten, nicht nur davon abhängt, was die Netzhaut meldet (bottom-up), sondern auch davon, ob diesem Input Aufmerksamkeit zuteil wird. Dabei werden solche Subareale der Sehrinde stärker aktiviert, die jene Region des Gesichtsfeldes kodieren, auf die die Probanden ihre Aufmerksamkeit richten. Mit anderen Worten: Wahrnehmungszentren wie die Sehrinde unterliegen einer Top-down-Kontrolle durch höhere, im Scheitel- und Stirnhirn lokalisierte Zentren, die die Aufmerksamkeit und die Verteilung von Verarbeitungsressourcen steuern. Dabei wird Aufmerksamkeit gerne mit einem Spotlight – einem Scheinwerfer – verglichen: So wie ein Spotlight einen Teil der Bühne ausleuchtet, um das dortige Geschehen hervorzuheben, wählt die Aufmerksamkeit bestimmte Gesichtsfeldregionen aus, so dass Reize in dieser Region bevorzugt verarbeitet werden. Neuronales Korrelat dieser Fokussierung ist die top-

down vermittelte gesteigerte Aktivität in denjenigen Subarealen der Sehrinde, die Information aus diesem Teil des Sehfeldes zu verarbeiten haben. Dabei ist für jeden Bereich des Sehfeldes ein Bezirk der Sehrinde zuständig (Retinotopie; [siehe auch Lars Muckli et al. »Wie optische Illusionen in der Großhirnrinde entstehen«, Seite 14] . Anders gesagt: ob ein Reiz an einem bestimmten Ort im Sehfeld erscheint, dann auf die korrespondierende Stelle der Netzhaut fällt und schließlich in dem für diese Stelle zuständigen Subareal verarbeitet wird, oder ob man sich in seiner bloßen Vorstellung auf diesen Ort konzentriert, ohne dass irgendein Reiz gesetzt wird, spielt keine Rolle für das Ergebnis: Es wird das gleiche Areal des Gehirns aktiviert. Man spricht daher auch von der »Retinotopie der Aufmerksamkeit«. Der Grund dafür, dass mir damals die Geldbörse gestohlen wurde, ist also, dass »meine Aufmerksamkeit beschlossen hatte«, jene visuellen Areale zu aktivieren, die zum Gesichtsfeldausschnitt mit den Münzen des Diebs gehörten – und dummerweise nicht diejenigen Areale, in deren Gesichtsfeldausschnitt sich meine Geldbörse befand.

Zoomobjektiv und Mexikaner-Hut

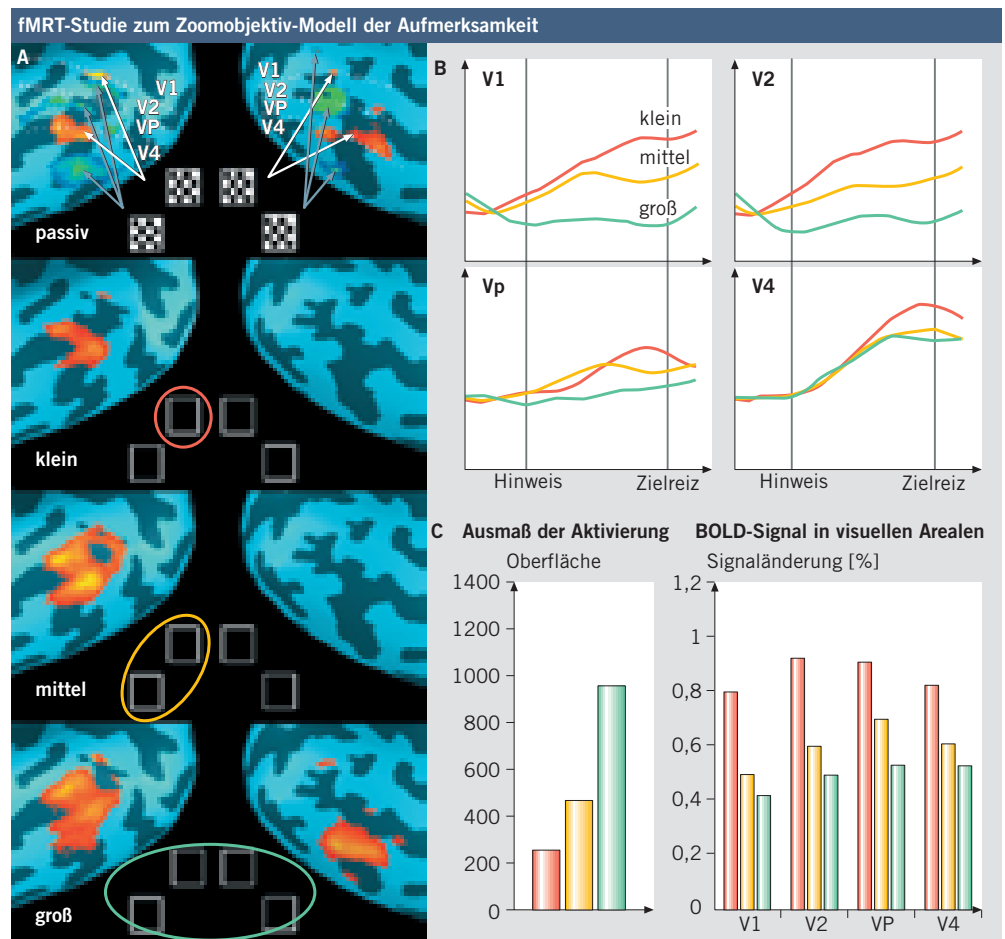
Das Spotlight-Modell ist einleuchtend, aber nicht ausreichend. Im wirklichen Leben variiert nämlich der Ausschnitt einer visuellen Szene, der uns interessiert. Beim Autofahren sollten wir tunlichst auch das spielende Kind am Gesichtsfeldrand nicht übersehen, während wir uns beim Kartenlesen ganz auf den Ausschnitt konzentrieren möchten, wo wir die gesuchte Straße vermuten. Statt eines Spotlights brauchen wir also eher ein Zoomobjektiv.

■ In A sind Ausschnitte von rekonstruierten und aufgeblasenen Gehirnmodellen der Probanden gezeigt; die Ausschnitte zeigen Areale des visuellen Kortex. Die Probanden mussten entweder einen kleinen, mittleren oder großen Gesichtsfeldausschnitt beobachten. Je größer der zu beachtende Ausschnitt war, desto mehr visuelle Subareale wurden aktiviert (orange markiert), das Niveau der Aktivierung wurde jedoch geringer, wie in B und C gezeigt ist. Bemerkenswert ist auch, dass bei passiver Stimulation dieselben visuellen Subareale aktiviert wurden wie bei Aufmerksamkeitslenkung auf den betreffenden Ort.

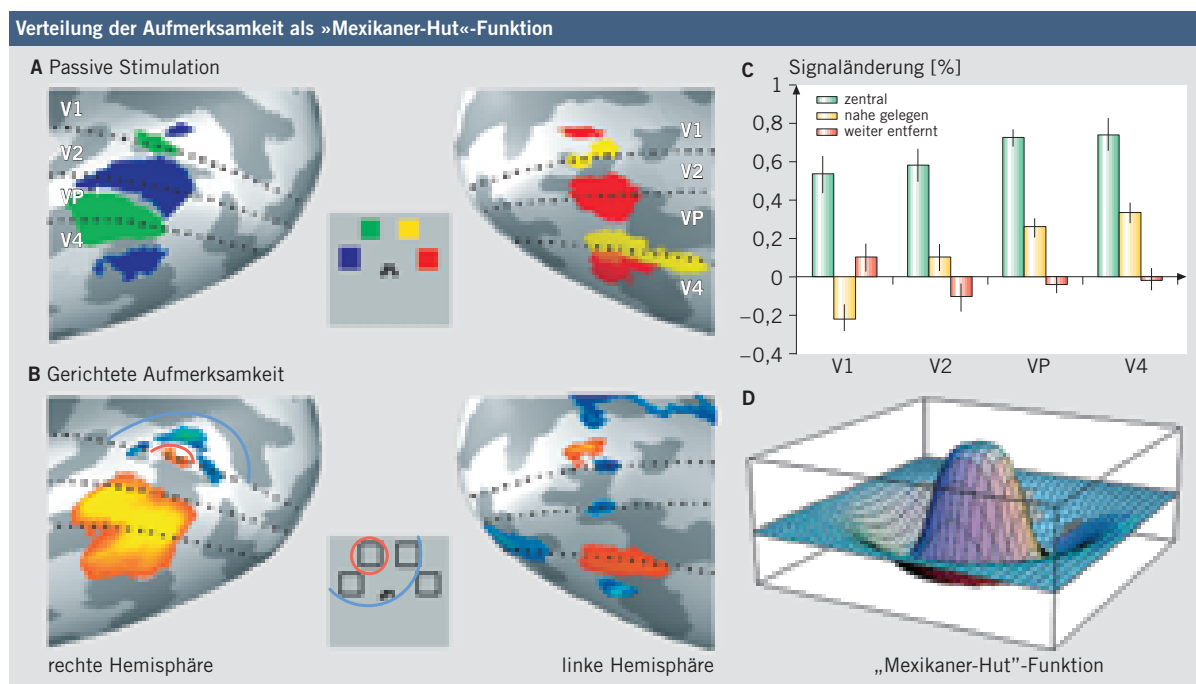
Dass wir ein solches Instrument tatsächlich besitzen, konnten wir in einer Studie zeigen, in der wir die Größe der Region, in der unsere Probanden mit einem Zielreiz rechnen konnten, variierten.^{12/} ■ Wenn sie sich auf einen engen Ausschnitt konzentrieren konnten, wurden tatsächlich nur die visuellen Areale aktiviert, die diesen Ausschnitt kodierten. Der Aktivierungsanstieg war dabei erheblich. Wenn der Zielreiz aber an mehreren über das Gesichtsfeld verteilten Orten erscheinen konnte, wurden zusätzliche Areale aktiviert, wobei der Anstieg dann geringer ausfiel. Das Bemerkenswerte ist: Diese Aktivitätsänderungen waren zu beobachten, während die Probanden auf den Zielreiz warteten; der Bildschirm war dabei weitgehend leer. Entscheidend ist auch, dass sich die Aktivierungsänderungen in den Verhaltensdaten widerspiegelten – die Probanden reagierten schneller auf den Zielreiz, wenn das Aktivierungsniveau im visuellen System hoch war, weil Aufmerksamkeit auf einen kleinen Bereich fokussiert werden konnte. Mehr noch: Wir konnten zeigen, dass um die relevante Region eine

Hemmzone angeordnet ist, in der Reize besonders schlecht erkannt werden. ■ Mit anderen Worten: Aufmerksamkeit verteilt sich wie ein »Mexikaner-Hut« mit einem Kegel in der Mitte und einer tiefen Krempe am Rande. Ein solches Verteilungsmuster von Aktivität wirkt als Kontrastverstärker für die relevante, zentrale Region. Grundlage ist wiederum die top-down gesteuerte Aktivität im visuellen System. Subareale in der primären Sehrinde, die diese Zone um den Aufmerksamkeitsfokus kodieren, werden in ihrer Aktivität heruntergefahren.^{13/} Wahrscheinlich hatte sich meine Geldbörse just in dieser Zone befunden...

Wir suchen uns die Orte, auf die wir Aufmerksamkeit lenken, jedoch nicht immer freiwillig aus: Wenn wir Aufmerksamkeit auf eine Region lenken, in die zufällig ein Objekt hineinragt, werden nicht nur die visuellen Areale, die diese Region kodieren, aktiviert, sondern automatisch auch visuelle Areale, die alle umgebenden Orte kodieren, die vom Objekt besetzt sind.^{14/} Tatsächlich ist es so, dass wir Merkmale, die zu einem gemeinsamen Objekt



2 Mit derselben Versuchsanordnung wie in **1** konnten wir zeigen, dass Aufmerksamkeit kortikal wie ein Mexikaner-Hut (D) organisiert ist: visuelle Kortexareale, die den beobachteten Ort kodieren, werden am stärksten aktiviert. Areale, welche die Nachbarschaft des Aufmerksamkeitsfokus kodieren, werden gehemmt (B, C). In A ist die Aktivierung von Arealen bei passiver Stimulierung dargestellt.



gehören, viel schneller erfassen können als Merkmale zweier verschiedener Objekte – auch wenn der räumliche Abstand dieser Merkmale jeweils identisch ist.

Wenn alles auf einmal kommt...

Meistens sehen, hören, riechen und fühlen wir gleichzeitig. Der Taschendieb war seinerzeit so schlau, mich nicht nur mit seinen Münzen abzulenken, gleichzeitig redete er auch noch auf mich ein. Lange hatte man ja geglaubt, dass die Sinnessysteme unabhängig voneinander arbeiten; der offensichtliche Engpass bei der Datenverarbeitung wurde in einer späteren Verarbeitungsstufe vermutet. Wir konnten kürzlich zeigen, dass sich die Sinnessysteme durchaus gegenseitig beeinflussen, wobei das Vorzeichen dieser Interaktion nicht naturgegeben ist und durch Aufmerksamkeit

und Lernen beeinflusst wird. Hatten unsere Probanden gelernt, dass derselbe Ton immer mit demselben Bild kombiniert wurde, sorgten sie dafür, dass beide Sinnessysteme aktiviert wurden und zwar unabhängig davon, ob es darum ging, Töne oder Bilder auseinander halten zu müssen. War die Kombination von Tönen und Bildern jedoch zufällig, wurde nur das System aktiviert, das die relevante Information bearbeitete, während gleichzeitig das andere System heruntergeregelt wurde. Obwohl der sensorische Input in beiden Aufgaben praktisch identisch war, reagierten die sensorischen Systeme höchst unterschiedlich – wiederum ein Beleg für die aufmerksamsystemgelenkte Top-down-Kontrolle der Wahrnehmungssysteme.

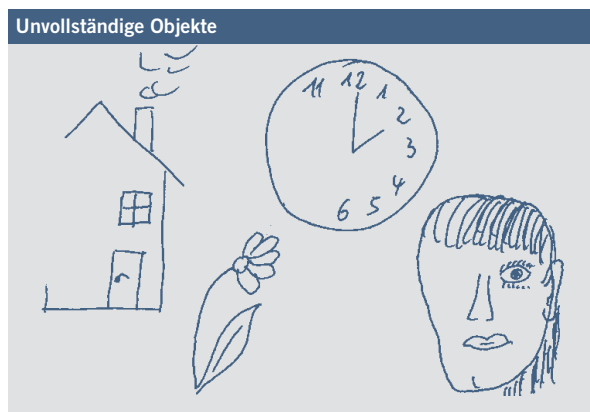
Wenn Aufmerksamkeit gestört ist...

In der Neurologie hat man es anders als in der Psychiatrie in der Regel mit Patienten zu tun, die eine umschriebene Hirnläsion – etwa als Folge eines Schlaganfalles – erlitten haben. Hier erschließt sich der Sinn einer Untersuchung kognitiver Funktionen mit fMRT zunächst nicht: Es überrascht nicht, dass dort, wo Hirngewebe abgestorben ist, keine Hirnaktivität mehr mittels fMRT registriert wird. Auf den zweiten Blick ergeben sich jedoch durchaus faszinierende Fragestellungen auch für solche Patienten-

gruppen: Wie wirkt sich eine Läsion auf die Aktivierung in anderen Bereichen des Gehirns aus?

Es lag für uns nahe, Patienten zu untersuchen, die an einer Aufmerksamkeitsstörung leiden. Klassisch tritt eine solche zutage, wenn Patienten als Folge eines Schlaganfalls im Bereich des rechten Scheitellhirns ein Hemineglect-Syndrom erleiden. Obwohl deren Sehrinde intakt ist, übersehen diese Patienten Dinge, die sich in der linken Raumhälfte befinden: Sie essen nur die rechte Hälfte des Tellers leer oder vergessen, die linke Gesichtshälfte zu rasieren. Wenn Sie ein Objekt zeichnen sollen, so entsteht ein Bild wie in **3**. Unsere Idee ist, dass bei

3 Patienten mit Hemineglect-Syndrom können Vorlagen nicht vollständig abzeichnen. Der Hemineglect ist durch eine Vernachlässigung der linken Raumhälfte gekennzeichnet.



Literatur

^{1/1} Kanwisher, N. & Wojciulik, E. (2000): Visual attention: insights from brain imaging. *Nature Reviews Neuroscience* 1:91–100.

^{1/2} Müller, N.G. & Kleinschmidt, A. (2003): Dynamic interaction of object- and space-based attention in retinotopic visual areas. *Journal of Neuroscience* 23: 9812–9816.

^{1/3} Müller, N.G. & Kleinschmidt, A. (2004): The attentional »spotlight's« penumbra: center-surround modulation in striate cortex. *Neuroreport* 15: 977–980.

^{1/4} Müller, N.G.; Bartelt, O.A.; Donner, T.H.; Villringer, A.; Brandt, S.A. (2003): A physiological correlate of the »Zoom Lens« of visual attention. *Journal of Neuroscience* 23: 3561–3565.

diesen Patienten die Top-down-Kontrolle der Wahrnehmungszentren gestört ist, so dass zwar beispielsweise die Sehrinde der linken Hirnhälfte noch durch Aufmerksamkeit aktiviert werden kann. Der rechten Sehrinde gelingt das jedoch nicht mehr – weil dort der lenkende Einfluss des Scheitelhirns fehlt. Leider sind solche Untersuchungen nicht einfach: Anfangs sind die Patienten häufig zu krank, um mit der Bearbeitung der Aufgaben im Scanner zurechtzukommen. Wenn es ihnen dann aber besser geht, haben sie häufig keinen Neglect mehr! Große Probandenzahlen darf man daher nicht erwarten – das ist aber unserer Meinung nach auch nicht nötig, denn mit der gesunden Hirnhälfte hat man ja eine individuelle Kontrolle.

Eine weitere für uns interessante Gruppe sind Patienten mit aufgabenspezifischen Dystonien, beispielsweise Menschen mit einem Schreibkrampf: Sobald sie einen Stift nur in die Hand nehmen, entwickeln diese Patienten einen starken Muskelkrampf, der ihnen das Schreiben unmöglich macht. Es ist bekannt, dass die Symptome gelindert werden können, wenn man die Patienten ablenkt und ihre Aufmerksamkeit zum Beispiel auf das Musikhören richtet. Wir vermuten daher, dass auch dieser Krankheit eine gestörte Top-down-Kontrolle, in diesem Fall des sensomotorischen Systems, zugrunde liegt, wobei es zu einer unkontrollierten Überaktivierung des Handareals kommt. Schließlich wollen wir

nicht nur die Tricks der Taschendiebe, sondern auch die Leiden unserer Patienten verstehen. ◆

Der Autor

Dr. Notger Müller, 38, studierte Medizin in Heidelberg, Tübingen und Berlin. Sein Weg führte ihn über die University of California, Davis, das Max-Planck-Institut für Neuropsychologische Forschung in Leipzig und die Neurologische Klinik der Charité Berlin nach Frankfurt. Hier leitet er seit Jahresanfang die Arbeitsgruppe Kognitive Neurologie an der Klinik für Neurologie an der Universität Frankfurt. Im Besonderen interessiert ihn der Einfluss höherer kognitiver Funktionen wie Aufmerksamkeit und Gedächtnis auf Wahrnehmungsprozesse. Auch klinisch ist er in diesem Bereich als Leiter der Spezialambulanz für Kognitive Neurologie und Demenz tätig.

»Nicht du, sondern dein Gehirn...«

Warum Zweifel am omnipotenten Erklärungsansatz der Hirnforscher begründet sind

Wenn wir einigen der Hirnforschern glauben dürfen, die sich in letzter Zeit mit großem öffentlichen Echo zu Wort gemeldet haben, darunter in vorderster Reihe Gerhard Roth und Wolf Singer, dann stehen uns infolge ihrer Arbeit »was unser Bild von uns selbst betrifft, [...] in abschbarer Zeit beträchtliche Erschütterungen ins Haus«. ^{1/} Und sie scheinen uns auf diese Erschütterungen vorbereiten zu wollen, wenn sie wie Therapeuten auftreten, die unser vermeintlich verfehltes Selbstverständnis korrigieren wollen. Dann sagen sie ihren von der Alltagssprache verwirrten Patienten (also uns): Nicht unser Wille, sondern »Verschaltungen legen uns fest: Wir sollten aufhören von Freiheit zu sprechen«. ^{2/} Zugleich fordern sie uns auf, endlich von althergebrachten Trugbildern abzulassen: »Wir sind determiniert. Die Hirnforschung befreit von Illusionen.« ^{3/} Dabei scheint für die Hirnforscher festzustehen, dass die Philosophie ein Teil des Problems, aber nicht der Lösung ist.

So traut nicht nur Wolfgang Prinz – selbst mit der Abwehr einer »feindliche Übernahme« der Psychologie durch die Hirnforschung beschäftigt – den Philosophen bei



»Ich denke, also denke ich, dass ich es bin«