Zur Entstehung des Bewusstseins: Hypothese zur Rolle von Gliazellen, verzweigten Nervenenden und Dendritenarmen

Gary Bruno Schmid

Zürich, Schweiz

Schlüsselwörter

Bewusstsein · Quantenphysik · Gliazellen · Selbstheilung · Hypnose

Zusammenfassung

Eine Hypothese zur Entstehung des Bewusstseins wird eingeführt, nach der i) die Nervenendungen von jedem einzelnen Axon und ii) die Synapsen zwischen diesen Nervenendungen und den Dendriten des nächsten Neurons mithilfe der Rekursivität von In-vivo-Quanten-Doppelspalt-Transportvorgängen das Bewusstsein ermöglichen, so wie die Synapsen die Neuroplastizität des Gehirns und somit das Lernen mitbestimmen. Diese Rekursivität geschieht, indem die Gliazellen, insbesondere die Astrozyten, direkt in die neuronale Informationsübertragung eingreifen (ein Vorgang, der subjektiv im Sinne des sogenannten «versteckten Beobachters» erlebt wird) und damit dem unbewussten *Da-Sein* durch einen erhöhten Ausdruck der gliären (astrozytären) Rezeptoren *Bewusst-Sein* verleihen. Diese Hypothese ermöglicht eine Theoriebildung zu bestimmten anatomisch-biochemischen Gegebenheiten in Verbindung mit der Quantentheorie und der Bewusstseinswissenschaft: «Unbewusste Vorstellungen» («Bewusstsein an sich»), d.h. quantenphysikalische Strukturen mit Ursprung z.B. in den Gliazellen/Mikrotubuli/usw., die wir subjektiv als autonome Vorstellungen erleben, können die Dekohärenz der Quantenwellenfunktion Ψ des Gehirns genügend lange verhindern bzw. die Kohärenz genügend lange aufrechterhalten, um mental und physiologisch realisierbare Quantenrechnungen («Bewusstsein von») zu ermöglichen, die rekursiv selbstorganisierend in das sich selbst erlebende Phänomen «Bewusstsein» konvergieren. Demnach ist der aus der Hypnotherapie bekannte «versteckte Beobachter» letztendlich in den gliären (astrozytären) Rezeptoren versteckt, sodass die Selbstbeobachtung die Selbstheilung beeinflussen kann.

Keywords

Consciousness · Quantum physics · Glia · Self-Healing · Hypnosis

Summary

On the Origins of Consciousness: Hypothesis as to the Role of Glia Cells, Multi-Branches Nerve Endings, and Dendrites

A hypothesis on the origins of consciousness is introduced by which i) nerve endings of each axon and ii) synapses between nerve endings and dendrites of the next neuron enable the emergence of consciousness due to the recursive nature of in vivo quantum double-slit transport processes, such as synapses enable learning according to the neuroplasticity of the brain. This recursion occurs in glia cells, especially astrocytes, by intervening directly in the neural transmission of information (a process experienced subjectively as a 'hidden observer'), thus providing unconscious being (*Da-Sein*) the awareness of consciousness (*Bewusst-Sein*) via an increased expression of glial (astrocytic) receptors. This hypothesis allows for a theory involving specific anatomical and biochemical factors related to quantum theory and science of consciousness: 'Unconscious ideas' ('consciousness-into-itself'), i.e. quantum physical structures originating, e.g., in glia cells/microtubules/etc. that we subjectively experience as autonomous ideas, can prevent the decoherence of the quantum wave function Ψ of the brain or maintain coherence long enough to allow for mentally and physiologically realizable quantum computations ('consciousness-of') which recursively self-organizes and finally converges into the self-experiencing phenomenon of 'consciousness'. Accordingly, the 'hidden observer' known to hypnotherapy is ultimately hidden in the glial (astrocytic) receptors, enabling self-observation to affect self-healing.

Bewusstseinswissenschaft: Theorien zur Entstehung und Funktion des Bewusstseins

«Unbemerkt kann ich die Wirkungen, welche das Magnetisieren auf mich, als Magnetisten, macht, nicht lassen. Ich empfinde nach jeder etwas anhaltenden Manipulation einige Abnahme meiner Kräfte, einige allgemeine Schwächlichkeit, welche mir im Gehen in den Knien beschwerlich ist; seitdem ich magnetisiere, wurde meine Gesichtsfarbe gelb, blaß; ich habe meine vorige Eßlust nicht mehr; ich verdaue nicht mehr so gut; zur Begattung habe ich gar keine Neigung; wenn ich sie einmal versucht habe, so geschah keine Ergießung des Samens; das Nachdenken ist mir schwerfällig; ... Eine Wirkung, welche mit der geringen Muskularbewegung, welche während dem Manipulieren angewendet wird, in keinem Verhältnis steht und notwendig den Verlust des mich belebenden Wesens voraussetzt.» – Eberhardt Gmelin (1787) [1]

Bewusstsein

Das *Bewusstsein* entspringt – ähnlich der Selbstorganisation eines deterministisch-chaotischen Systems um einen Attraktor – dem zirkulären Zusammenspiel komplexer Informationsprozesse im lebenden Organismus, die man auch als verkörperte Intelligenz verstehen kann. Die Repräsentanzen und Prozesse der Informationsübertragung und -verarbeitung in und zwischen Mind-Body-Systemen (endokriner, immunologischer, metabolischer, neurologischer oder psychologischer Natur) können als Selbstheilungskräfte verstanden werden, mit denen der menschliche Organismus den eigenen Gesundheitszustand kontrolliert und reguliert. Dementsprechend kann die Verarbeitung von Informationen im lebenden Organismus sowohl heilen als auch krank machen oder gar töten [2, 3].

Bewusstsein ist eine dem *gesamten* Organismus inhärente Eigenschaft und kann nicht innerhalb einer spezifischen Untergruppe von Neuronen lokalisiert werden (sogenannte «executive function»). Das (somatische) Gehirn ist erst in seiner Gesamtheit hinreichend für Bewusstsein. Hier wird ein globales kortikales Netzwerk, das über frontale, parietale, temporale und okzipitale Bereiche des Gehirns sowie über den Hirnstamm und den Thalamus verteilt ist, als notwendige Bedingung für bewusste Integration verstanden [4, 5].

Oder ist sogar ein verkörpertes Gehirn samt Sinnesorganen und Bewegungsapparat notwendig, um erst eine sogenannte «extended consciousness» [6, 7] zu ermöglichen? Mit anderen Worten: Benötigt das Gehirn einen Körper, um zu realisieren, dass es einen Besitzer und Beobachter «innerhalb» von sich selbst hat? Ein notwendiges Kriterium, dass eine Maschine, z.B. ein Computer, Bewusstsein zeigt, wäre meines Erachtens die Fähigkeit, sich selbst zu fragen: «Wer fummelt da herum an meiner Tastatur?» (siehe hierzu [8]). Ein hinreichendes Kriterium wäre die Fähigkeit, einen genauen Bericht über das, was

das bewusste Wesen (Mensch, Tier, Maschine ...) gerade macht, so im Dialog mit einer Drittperson zu vermitteln, dass diese Drittperson entweder nicht zu entscheiden vermag, ob die Botschaft von einem Menschen oder von einem nicht menschlichen Wesen kommt – oder gar das Wesen für einen Menschen hält (sogenannter «Turing-Test») [9].

Die *Konnektivitätshypothese* in der Psychiatrie geht davon aus, dass das komplexe Verhalten des Gehirns besser als funktionelle Gestalt innerhalb des gesamten neuronalen Netzwerks denn in Form unabhängiger, lokaler struktureller Einheiten oder Anomalitäten der Hirnanatomie beschrieben werden kann [4]. Anhand eines messbaren Masses für die funktionelle Konnektivität im Gehirn [10] behaupten einige Hirnforscher, Bewusstsein schätzen zu können [11]. Nach einer anderen Hypothese wird Bewusstsein erzeugt, wenn das «Händeschütteln» zwischen «bottom-up»-sinnesgetriebenen Informationsflüssen und «top-down»-kortikalen Rückkopplungsflüssen einen Schwellenwert übersteigt [12–14]. In dieser Arbeit möchte ich eine weitere Hypothese zur Entstehung des Bewusstseins einführen, nach der

- die Nervenendungen von jedem einzelnen Axon und
- die mannigfachen Synapsen zwischen diesen Nervenendungen und den Dendriten des nächsten Neurons mithilfe der Rekursivität von In-vivo-Quanten-Doppelspalt-Transportvorgängen das Bewusstsein ermöglichen.

Quantum-Mind-Hypothese

«Wo Dissertationen sich hingegen in exzessiven Qualifikationsnachweisen erschöpfen, ist ihre Unangreifbarkeit nicht selten mit Substanzlosigkeit erkaufte. Sich zu versichern mag nützlich sein, doch wer über der Versicherung den Wert des Versicherten vergisst, bezahlt am Ende zu viel!» – Magnus Klaue (2013)

Die umstrittenste Auffassung eines Zusammenhangs zwischen der Quantentheorie, der Körper-Geist-Zweierigkeit (für eine ausführliche Diskussion des Begriffs siehe [2, 3, 15]) und der Vorstellungskraft ist die, dass das Gehirn Quantenrechnungen direkt unterstützt [16–20]. Damit Quantenrechnungen auftreten, muss ein System von der thermodynamischen Umgebung zeitweise isoliert werden, da sonst Wechselwirkungen mit der Umwelt Quantensuperpositionen sofort in klassische Zustände überführen (sogenannte/r «Kollaps/Dekohärenz der Wellenfunktion»).

Im Folgenden diskutiere ich im Sinne der Theoriebildung die anatomisch-biochemischen Gegebenheiten im Zusammenhang mit der Quantentheorie und der Bewusstseinswissenschaft einschliesslich der Hypnose mithilfe der folgenden Hypothese:

«Unbewusste Vorstellungen» (sog. «Bewusstsein an sich»), d.h. quantenphysikalische Strukturen mit Ursprung z.B. in den Gliazellen/Mikrotubuli/usw., die wir subjektiv als autonome Vorstellungen erleben, können die Dekohärenz der Quantenwellenfunktion Ψ des Gehirns genügend lange verhindern bzw. die Kohärenz genügend lange aufrechterhalten, um mental und physiologisch realisierbare Quantenrechnungen (sogenanntes «Bewusstsein von») zu ermöglichen, die rekursiv spiralartig in das sich selbst erlebende Phänomen «Bewusstsein» konvergieren.

Laut dieser Hypothese ist der Zusammenbruch von Quantenüberlagerungszuständen mit dem Auftreten eines *sich selbst wahrnehmenden Bewusstseins* verbunden. Hierbei steht der Begriff «unbewusste Vorstellung» für ein primitiv psychobiologisches erlebbares Objekt, das zur Theoriebildung wie eine «constructor function», z.B. 0 in der Mathematik, einfach aufgestellt, aber nicht definiert wird und wie es bei der Beweisführung von Theoremen unter Anwendung von den Methoden der Rekursion und Induktion gang und gäbe ist (siehe z.B. [21]).

Quantenphänomene im Gehirn: Das psychogene Doppelspalt-Experiment

Wenn ein Axon einen Impuls durchgibt, feuert ein Dendriten-Areal. Nun stellt sich die Frage bezüglich des Umfangs, in dem die Selbstbeobachtung des Denkens, des Fühlens, der Intuition und der sensorischen Wahrnehmungen den Transport eines Signals von den Dendriten, durch den Zellkörper über das Axon bis in das komplex-verzweigte Axon-Terminal beeinflussen könnte. Dies geschieht in der gleichen Art und Weise, in der der Beobachter eines Quanten-Doppelspalt-Experiments bedingt, ob der ankommende Photonenstrahl als Teilchen (analog einer Entscheidung/Bestimmtheit) oder als Welle (analog Unentschiedenheit/Ambivalenz) jenseits des Doppelspalts registriert wird.

Jedes Bit von präsynaptischen Informationen (Nervenimpulse), das durch das Axon geleitet wird, muss sich für eine von mehreren, verzweigten Nervenendungen des Axons «entscheiden», bevor es in die Synapse austritt und sich wieder «entscheidet», in welchen der vielen Dendriten des nächsten Neurons es eintreten wird. Selbstverständlich ist hiermit nicht gemeint, dass ein durch das Axon vermittelter Impuls sich entscheidet, nur an *einer* Nervenendung und danach in der Synapse nur an *einem* Dendriten-Terminal des nächsten Neurons anzukommen, sondern dass der Impuls sich irgendwie über das ihm vorliegende Nervenendungsareal bzw. Dendriten-Areal verteilt. In diesem Zusammenhang stellt sich mir die Frage: «Nach welchen phänomenologischen Prinzipien werden diese Verteilungen bestimmt?»

Es lässt sich somit fragen, ob das Signal irgendwie mit sich selbst interferieren könnte (jenseits der Nerven-

dungen innerhalb der Synapse oder jenseits der Dendriten innerhalb des Zellkörpers des nächsten Neurons) – abhängig davon, ob der sogenannte «versteckte Beobachter» als ein drittes zelluläres Element, z.B. Astrozyten (Gliazellen) oder Mikrotubuli, mit der Neurotransmission interferiert.

Neurogliale Netzwerke

Gliazellen, der allerhäufigste Zelltyp im Gehirn, hören sozusagen die synaptische Kommunikation zwischen den Nervenzellen ab und erteilen den Neuronen Anweisungen [22, 23]. Wegen ihrer innigen Beteiligung an der aktiven Kontrolle von neuronalen Prozessen und synaptischen Neurotransmissionen sollen perisynaptische Schwann-Zellen und synaptisch verbundene Astrozyten als integrale modulierende Elemente eines dreigliedrigen Synapsensystems betrachtet werden [24].

In der Tat greifen Gliazellen, insbesondere die Astrozyten (dies sind sternförmige Hirnzellen, die ca. 80% der Gesamtzahl aller Gliazellen darstellen), direkt in die synaptische Informationsübertragung ein [25]. Sie beteiligen sich an höheren Denkprozessen und koordinieren sie sogar. Dabei ist festzuhalten, dass astrozytäre Rezeptoren für alle Neurotransmittertypen bereits experimentell nachgewiesen werden konnten [26].

Gliazellen sprechen sozusagen eine andere Sprache als Neuronen [27]. Statt – wie im Fall der Nervenzellen – vor allem über elektrische Impulse zu kommunizieren, senden Gliazellen untereinander Signale mittels wellenförmigen und sonstigen Schwankungen der intrazellulären Konzentration an geladenen Kalzium(Ca^{2+})-Ionen [28] und der extrazellulären Konzentration an Kalium(K^{+})-Ionen [29]. Mithilfe dieser astrozytären Ca^{2+} - und der gliären K^{+} -Schwankungen können die Gliazellen über den Botenstoff Glutamat den Neuronen Signale senden und umgekehrt [30]. Hierbei spielt das Glia-Netzwerk die Rolle des Dirigenten bei der Synchronisierung von ganzen Ensembles von Nervenzellen [31, 32]. Dieser Ablauf ist eventuell dafür verantwortlich, dass wir aus der Vielfalt (an anderer Stelle [33] habe ich das Verhältnis der bewussten zur unbewussten Informationsverarbeitung im Gehirn auf 1:10 000 geschätzt) an unbewussten Sinneseindrücken und Denkprozessen in den unterschiedlichsten Gehirnarealen nur einen einzigen bewussten Gesamteindruck erfassen und erleben können. Als Beispiel wäre der Genuss eines Sonnenaufgangs am Meeresstrand zu nennen: die schönen Farben des Lichts, der kühle Wind im Gesicht, der Duft der frischen Luft, der leichte Geschmack von Salz auf der Zunge, das Rauschen der Meereswellen und das sich stetig ausbalancierende Gleichgewicht.

Es wird ein enger Zusammenhang zwischen Gliazellen und Intelligenz vermutet [34, 35]: Je höher die phylogenetische Entwicklung des Tieres, desto mehr Astrozyten

kommen durchschnittlich auf eine Nervenzelle. Beim Wurm sind es beispielsweise lediglich 0,17 Astrozyten pro Nervenzelle, beim Frosch 0,5, bei der Katze ca. 1:1, beim Mensch ca. 2:1 und beim Delfin sogar 3:1 [36].

Es gibt sogar ein Modell der Pathophysiologie der Depression, in dem eine stark erhöhte Expression von Rezeptoren in Astrozyten entscheidend ist [37, 38], sowie Hypothesen zur möglichen Rolle von Gliazellen bezüglich der kognitiven Beeinträchtigungen bei der Schizophrenie [39–41], bei der Alzheimer-Demenz [42], bei der Epilepsie [43, 44], beim Alkoholismus, bei Schlafstörungen [45] und bei neuropathischen Schmerzen [46, 47].

Ist der «versteckte Beobachter» letztendlich in den astrozytären Rezeptoren «versteckt»?

Doppelspalt-Experiment in den Synapsen

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ein Signal, das durch ein Axon übertragen wird, i) innerhalb des Axons vor der Verzweigung in die Axon-Terminals und ii) innerhalb der Synapse zwischen den Axon-Terminals und den mannigfachen Dendriten des nächsten Neurons «gezwungen» wird, sich für das eine oder das andere von zwei oder mehr möglichen Axon-Terminals bzw. Dendriten-Armen des nächsten Neurons zu «entscheiden».

Solch ein Signal manifestiert sich somit (im übertragenen Sinne) entweder als ein «Teilchen» oder als eine «Welle»; dies ist jeweils davon abhängig, ob und wie ein (versteckter) Beobachter (Gliazelle) diesen Prozess begleiten kann. Demnach wäre der aus der Hypnotherapie wohlbekannte «versteckte Beobachter» letztendlich in den astrozytären Rezeptoren (an jeder (?) Verzweigung) versteckt. Auf diese Art und Weise kann man postulieren: Die Selbstbeobachtung beeinflusst die Selbstheilung! (In diesem Zusammenhang kann man etwas spielerisch sagen: Die Hypnose ist die Quantenwelt des Menschen! Die Quantenwelt ist die Hypnose der Materie!)

So wie die Synapsen die Neuroplastizität des Gehirns und somit das Lernen wesentlich mitbestimmen, könnten i) die Nervenendungen von jedem einzelnen Axon und ii) die mannigfachen Synapsen zwischen diesen Nervenendungen und den Dendriten des nächsten Neurons mithilfe der Rekursivität von In-vivo-Quanten-Doppelspalt-Transportvorgängen das Bewusstsein ermöglichen. Diese Rekursivität geschieht, indem die Gliazellen, insbesondere die Astrozyten, direkt in die synaptische Informationsübertragung objektiv eingreifen (ein Vorgang, der subjektiv im Sinne des sogenannten «versteckten Beobachters» erlebt wird) und damit dem unbewussten *Da-Sein* durch einen stark erhöhten Ausdruck der gliären (astrozytären) Rezeptoren ein *Bewusst-Sein* verleihen.

Auf diese Art und Weise versuche ich, zwei wichtige Fragen zu beantworten: i) wie die Quantentheorie zusätz-

liche Erklärungsmöglichkeiten für die Nervenzellkommunikation bietet; ii) wie Quantenphänomene das Bewusstsein ergeben. Leider würde eine noch detailliertere Ausarbeitung dieses Kapitels die bescheidene Absicht und den gegebenen Umfang dieser Arbeit bei Weitem sprengen.

Konkret-operationelle Feststellbarkeit des Erlangens von Bewusstsein in der psychophysiologischen Entwicklung des Kleinkinds

Die Welt des Kleinkinds kennt bis zum ca. 18. Lebensmonat keine zwingend bewusste Grenze zwischen sich und seiner Umwelt – zwischen «ich» und «du» – im Sinne von: «Wenn mein Teddybär auf den Boden fällt, tut's mir genauso sehr weh, wie es ihm weh tut, wenn ich auf die Nase falle.»

Bis zur Ich-Bildung, d.h. bis zum Alter von ca. 18 Monaten, können Kinder einen Punkt an der Stirn im Spiegelbild nicht als zu sich gehörig bzw. als von sich fremd erleben. Es scheint, als ob das Kleinkind bis dann noch nicht sagen kann: «Das bin ich!»

Laut der oben erwähnten Hypothese zur Entstehung des Bewusstseins müsste diese konkret-operationelle Feststellung der Ich-Bildung stark mit der Entwicklung der Gliazellen im Gehirn des Kleinkinds korrelieren.

Ausklang: Quantenphysik, Hypnose und Selbstheilung

Der Mensch ist zugegebenermassen anfällig für alle Arten von Täuschungen und Illusionen. Vielleicht kann man sowohl «Die Quantenwelt ist die Hypnose der Materie!» als auch «Das Bewusstsein ist die Hypnose der Materie!» sagen. In dieser Arbeit habe ich zu zeigen versucht, dass das Bewusstsein ein Quantenphänomen ist. Dies ist ein epistemologischer und phänomenologischer Ansatzpunkt, bleibt aber ontisch immer noch experimentell zu überprüfen und zu bestätigen.

Wir können auf dem mehr oder weniger festen Boden der medizinischen Wissenschaft bleiben und auch etwas von der Quantentheorie lernen, das eventuell eine Erklärung dafür liefern kann, wie die Körper-Geist-Schnittstelle in der Tat als *Körper-Geist-Zweieinigkeit* funktioniert. Und gerade an dieser Schnittstelle liegt der Schlüssel zur Selbstheilung und nicht in irgendwelchen «höheren Dimensionen», einer «Quantenmatrix» oder dergleichen.

Wir benötigen beides, d.h. die Fakten wie auch die Geheimnisse der Quantenphysik und der Psychologie. An den Schluss seiner Exposition zur Interpretation der Quantentheorie [48] stellte Albert Einstein den folgenden Kurzdialog, den er mit einem seinerzeit bedeutenden theoretischen Physiker hatte [49]:

Kollege: «Ich neige dazu, an Telepathie zu glauben.»

Einstein: «Dies hat wahrscheinlich mehr mit Physik als mit Psychologie zu tun.»

Kollege: «Jawohl!»

Disclosure Statement

Der Autor gibt an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Literatur

- Schultz JH: Hypnosetechnik: Praktische Anleitung zum Hypnotisieren für Ärzte, ed 5. Stuttgart, Gustav Fischer, 1965, p 16.
- Schmid GB: Selbstheilung durch Vorstellungskraft, ed 1. Wien, Springer, 2010.
- Schmid GB: Tod durch Vorstellungskraft: Das Geheimnis psychogener Todesfälle, ed 2. Wien, Springer, 2009.
- Sporns O, Tononi G, Edelman GM: Connectivity and complexity: the relationship between neuroanatomy and brain dynamics. *Neural Netw* 2000;13:909–922.
- Tononi G, Edelman GM: Schizophrenia and the mechanisms of conscious integration. *Brain Res Brain Res Rev* 2000;31:391–400.
- Damasio AR: The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 1996;351:1413–1420.
- Damasio AR: Ich fühle, also bin ich – die Entschlüsselung des Bewusstseins. München, List, 2000.
- Premack D, Woodruff G: Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behav Brain Sci* 1978;4:515–526.
- French RM: The Turing test: the first 50 years. *Trends Cogn Sci* 2000;4:115–122.
- Tononi G, Sporns O: Measuring information integration. *BMC Neurosci* 2003;4:31.
- Tononi G: Consciousness as integrated information: a provisional manifesto. *Biol Bull* 2008;215:216–242.
- Tononi G, Koch C: The neural correlates of consciousness: an update. *Ann N Y Acad Sci* 2008;1124:239–261.
- Koch C, Reid RC: Neuroscience: observatories of the mind. *Nature* 2012;483:397–398.
- Koch C: Neuroscience: a quest for consciousness. *Nature* 2012;488:29–30.
- Schmid GB: Biunity (ikilibirlik). Ankara, Agarta Yayinlari, 2008.
- Atmanspacher H: Quantum theory and consciousness: an overview with selected examples. *Discrete Dyn Nat Sci* 2004;8:51–73.
- Hammeroff SR: The brain is both a neurocomputer and quantum computer. *Cogn Sci* 2007;31:1035–1045.
- Litt A, Eliasmith C, Kroon FW, Weinstein S, Thagard P: Is the brain a quantum computer? *Cogn Sci* 2006;30:593–603.
- Penrose R: *The Emperor's New Mind*. Oxford, Oxford University Press, 1989.
- Schmid GB, Düñki RM: How quantum is the classical world? *Int J Probabil Stat* 2012;1:80–94.
- Dummit DS, Foote RM: *Abstract algebra*, ed 3. New York, Wiley, 2004.
- Haydon PG: Glia: listening and talking to the synapse. *Nat Rev Neurosci* 2001;2:185–193.
- Haydon PG: Neuroglial networks: neurons and glia talk to each other. *Curr Biol* 2000;10:R712–714.
- Araque A, Parpura V, Sanzgiri RP, Haydon PG: Tripartite synapses: glia, the unacknowledged partner. *Trends Neurosci* 1999;22:208–215.
- Pascual O, Haydon PG: Synaptic inhibition mediated by glia. *Neuron* 2003;40:873–875.
- Verkhratsky A, Butt A: *Glial neurobiology*. West Sussex, Wiley, 2007.
- Araque A, Carmignoto G, Haydon PG, Oliet SH, Robitaille R, Volterra A: Gliotransmitters travel in time and space. *Neuron* 2014;81:728–739.
- Araque A, Sanzgiri RP, Parpura V, Haydon PG: Astrocyte-induced modulation of synaptic transmission. *Can J Physiol Pharmacol* 1999;77:699–706.
- Laming PR: Potassium signalling in the brain: its role in behaviour. *Neurochem Int* 2000;36:271–290.
- Parpura V, Basarsky TA, Liu F, Jęftinija K, Jęftinija S, Haydon PG: Glutamate-mediated astrocyte-neuron signalling. *Nature* 1994;369:744–747.
- Zorec R, Araque A, Carmignoto G, Haydon PG, Verkhratsky A, Parpura V: Astroglial excitability and gliotransmission: an appraisal of Ca^{2+} as a signalling route. *ASN Neuro* 2012;4:pii: e00080.
- Mitterauer B, Kopp K: The self-composing brain: towards a glial-neuronal brain theory. *Brain Cogn* 2003;51:357–367.
- Schmid GB: Phantasy therapy: a novel theoretic and therapeutic approach for the special treatment of psychotic patients in general psychiatry; in Abelian ME (ed): *Focus on Psychotherapy Research*. New York, Nova Science, 2005, pp 1–50.
- Spitzer S, Agathou S, Karadottir RT: Clever glia. *Stem Cell Res Ther* 2013;4:100.
- Porto-Pazos AB, Veiguela N, Mesejo P, Navarrete M, Alvarez A, Ibanez O, Pazos A, Araque A: Artificial astrocytes improve neural network performance. *PLoS One* 2011;6: e19109.
- Lehnen-Beyel I: Kleber mit Köpfchen (Leben und Umwelt – Hirnforschung). *Bild der Wissenschaft* 2008;9:20.
- Mitterauer BJ: Neues Modell der Depression: Die rasche antidepressive Wirkung von Ketamine könnte auf der Blockade von NMDA-Rezeptoren in Astrozyten beruhen. *Psychopraxis* 2012;15:27.
- Mitterauer BJ: Ketamine may block NMDA receptors in astrocytes causing a rapid antidepressant effect. *Front Synaptic Neurosci* 2012;4:8.
- Mitterauer BJ: The loss of self-boundaries: towards a neuromolecular theory of schizophrenia. *Biosystems* 2003;72:209–215.
- Mitterauer BJ: Loss of function of glial gap junctions may cause severe cognitive impairments in schizophrenia. *Med Hypotheses* 2009;73:393–397.
- Mitterauer BJ: Possible role of glia in cognitive impairment in schizophrenia. *CNS Neurosci Ther* 2011;17:333–344.
- Parpura V, Heneka MT, Montana V, Oliet SH, Schousboe A, Haydon PG, Stout RF Jr, Spray DC, Reichenbach A, Pannicke T, Pekny M, Pekna M, Zorec R, Verkhratsky A: Glial cells in (patho)physiology. *J Neurochem* 2012;121:4–27.
- Steinhauser C, Seifert G: Astrocyte dysfunction in epilepsy; in Noebels JL, Avoli M, Rogawski MA, Olsen RW, Delgado-Escueta AV (eds): *Jasper's Basic Mechanisms of the Epilepsies*. Bethesda, MD, National Center for Biotechnology Information (US), 2012.
- Carmignoto G, Haydon PG: Astrocyte calcium signaling and epilepsy. *Glia* 2012;60:1227–1233.
- Nam HW, McIver SR, Hinton DJ, Thakkar MM, Sari Y, Parkinson FE, Haydon PG, Choi DS: Adenosine and glutamate signaling in neuron-glial interactions: implications in alcoholism and sleep disorders. *Alcohol Clin Exp Res* 2012;36:1117–1125.
- Ikeda H, Kiritoshi T, Murase K: Contribution of microglia and astrocytes to the central sensitization, inflammatory and neuropathic pain in the juvenile rat. *Mol Pain* 2012;8:43.
- Mitterauer B: An interdisciplinary approach towards a theory of consciousness. *Biosystems* 1998;45:99–121.
- Schilpp P (ed): *Albert Einstein, Philosopherscientist*. Evanston, IL, Library of Living Philosophers, 1951.
- Selleri F, Tarozzi G: Quantum mechanics reality and separability. *La Rivista del Nuovo Cimento* 1981;4:1–53.