

# Beobachter und Bewusstsein

Joshua Luckey

TU Dortmund

3. Juli 2016

# Inhalt

1. Was sind Beobachter und Bewusstsein?
2. Betrachtung und Probleme in der Physik
3. Beobachter als Teilsystem
4. Dekohärenz von Gehirnprozessen
5. Bewusstsein als Aggregatzustand
6. Zusammenfassung

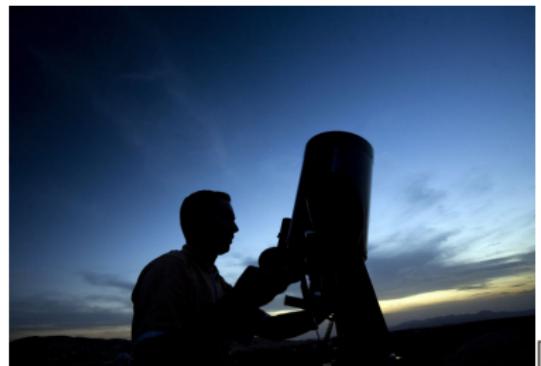
# **1. Was sind Beobachter und Bewusstsein?**

# Beobachter

- Duden: „*jemand, der etwas oder jemanden beobachtet*“ [1]
- Allgemein: Objektiv, einfach zu verstehen; Passivität



[2]



[3]

# Beobachter

- Duden: „*jemand, der etwas oder jemanden beobachtet*“ [1]
- Allgemein: Objektiv, einfach zu verstehen; Passivität



# Bewusstsein

Definition Duden [5]:

- „*Zustand, in dem man sich einer Sache bewusst ist; deutliches Wissen von etwas, Gewissheit*“
- „*Gesamtheit der Überzeugungen eines Menschen, die von ihm bewusst vertreten werden*“
- „*(Psychologie) Gesamtheit aller jener psychischen Vorgänge, durch die sich der Mensch der Außenwelt und seiner selbst bewusst wird*“
- „*Zustand geistiger Klarheit; volle Herrschaft über seine Sinne*“

# Bewusstsein

- Duden: „(Psychologie) Gesamtheit aller jener psychischen Vorgänge, durch die sich der Mensch der Außenwelt und seiner selbst bewusst wird“ [5]
- Allgemein: Subjektiv, nicht fassbar nur erfahrbar
- *Das schwierige Problem:* Warum nehmen wir wahr?  
„What is your extra ingredient, and why should that account for conscious experience?“ - David Chalmers [6]
- Häufige Antwort: Dualismus
  - ▶ physische Materie
  - ▶ nicht-physische „Lebenskraft“ (Seele)

## **2. Betrachtung und Probleme in der Physik**

# Beobachter

- Definition abhängig von Betätigungsfeld
- Allgemeine Relativitätstheorie:
  - ▶ keine Masse oder Ausdehnung
  - ▶ keinen Einfluss auf das Beobachtete
- Quantenmechanik:
  - ▶ Einfluss: Kollaps/Branching der Wellenfunktion
- „*The only issue there is consensus on is that there is no consensus about how to define an observer and its role.*“
  - Max Tegmark [7]

- im allgemeinen unbeachtet
  - ▶ „*An other argument physics has been managed just fine for hundreds of years avoiding this subject and should therefore keep doing so.*“ - Max Tegmark [7]
- keine Lösung für das schwierige Problem
  - ▶ Dualismus nur schwer zu vertreten
- Einfluss von respektive auf Quantenmechanik unklar
  - ▶ Gehirn: nass und warm

# **3. Beobachter als Teilsystem**

# Beobachter als Teilsystem

- Zerlegung eines Systems beschreiben durch  $H$  und  $\rho$

## 3 Teilsysteme + Wechselwirkung

$$H = H_O + H_E + H_S + H_{int}$$

$$H_{int} = H_{OE} + H_{ES} + H_{OS} + H_{OES}$$

- Subjekt (S): Freiheitsgrade der subjektiven Wahrnehmung des Beobachters
- Objekt (O): Zu beobachtende Freiheitsgrade
- Umgebung (E): Alle übrigen Freiheitsgrade des Systems

## Beispiel: $H_O$ , $H_{OE}$ , $H_{OS}$

- Betrachtung mit je einem Freiheitsgrad für (S) und (O)
  - ▶ Subjekt:  $|\smile\rangle$ ,  $|\circlearrowleft\rangle$ ,  $|\circlearrowright\rangle$
  - ▶ Objekt:  $|\uparrow\rangle$ ,  $|\downarrow\rangle$
- Gesamtsystem  $S \otimes O$  mit 6 Basiszuständen:  
 $|\smile\uparrow\rangle$ ,  $|\smile\downarrow\rangle$ ,  $|\circlearrowleft\uparrow\rangle$ ,  $|\circlearrowleft\downarrow\rangle$ ,  $|\circlearrowright\uparrow\rangle$ ,  $|\circlearrowright\downarrow\rangle$
- Dichtematrix  $\rho = |\circlearrowleft\uparrow\rangle \langle \circlearrowleft\uparrow|$  als Anfangszustand:

1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

## Beispiel: $H_O$ , $H_{OE}$ , $H_{OS}$

- Zeitentwicklung  $U = \exp(-iH_O t)$  von  $\rho_O = |\uparrow\rangle\langle\uparrow|$ 
  - ▶  $U|\uparrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle)$
  - ▶ Entropie bleibt konstant

$$\rho'_O = U\rho_O U^\dagger = \frac{1}{2}(|\uparrow\rangle\langle\uparrow| + |\uparrow\rangle\langle\downarrow| + |\downarrow\rangle\langle\uparrow| + |\downarrow\rangle\langle\downarrow|)$$

$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

## Beispiel: $H_O$ , $H_{OE}$ , $H_{OS}$

- $H_{OE}$ : Dekohärenz (vollständig)
  - ▶ Entropie nimmt zu

$$\rho_O'' = \frac{1}{2}(|\uparrow\rangle\langle\uparrow| + |\downarrow\rangle\langle\downarrow|)$$

$\frac{1}{2}$	0	0	0	0
0	$\frac{1}{2}$	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

## Beispiel: $H_O$ , $H_{OE}$ , $H_{OS}$

- $H_{OS}$ : Messung von S an O
  - ▶  $U = \exp(-i \int H_{OS} dt)$ , Messung schnell
  - ▶  $U |\oplus \uparrow\rangle = |\oplus \uparrow\rangle$ ,  $U |\oplus \downarrow\rangle = |\oplus \downarrow\rangle$
  - ▶  $\rho_{OS} = |\oplus\rangle \langle \oplus| \otimes \frac{1}{2}(|\uparrow\rangle \langle \uparrow| + |\downarrow\rangle \langle \downarrow|)$
  - ▶ Entropie nimmt ab

$$\rho'_{OS} = U \rho_{OS} U^\dagger = \frac{1}{2} (|\oplus \uparrow\rangle \langle \oplus \uparrow| + |\oplus \downarrow\rangle \langle \oplus \downarrow|)$$

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	$\frac{1}{2}$	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$

## Beispiel: $H_S$ , $H_{SE}$

- Zeitentwicklung von S
  - $U = \exp(-i \int H_{OS} dt)$ , spontane Entscheidung
  - $U |\oplus\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\oplus\rangle + |\ominus\rangle)$ ,  $\rho_S = |\oplus\rangle \langle \oplus|$

1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

## Beispiel: $H_S$ , $H_{SE}$

- Zeitentwicklung von S

- ▶  $U = \exp(-i \int H_{OS} dt)$ , spontane Entscheidung
- ▶  $U |\oplus\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\oplus\rangle + |\ominus\rangle)$ ,  $\rho_S = |\oplus\rangle \langle \oplus|$

$$\rho'_S = U \rho_S U^\dagger = \frac{1}{2} (|\oplus\rangle \langle \oplus| + |\ominus\rangle \langle \ominus| + |\oplus\rangle \langle \ominus| + |\ominus\rangle \langle \oplus|)$$

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	0
0	0	0	0	0	0
0	0	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	0
0	0	0	0	0	0

# Beispiel: $H_S$ , $H_{SE}$

- $H_{SE}$ : Dekohärenz des Subjekts

$$\rho_S'' = \frac{1}{2}(|\odot\rangle \langle \odot| + |\ominus\rangle \langle \ominus|)$$

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	$\frac{1}{2}$	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	0
0	0	0	0	0	0

- Auf welchen Zeitskalen läuft Dekohärenz im Gehirn ab?

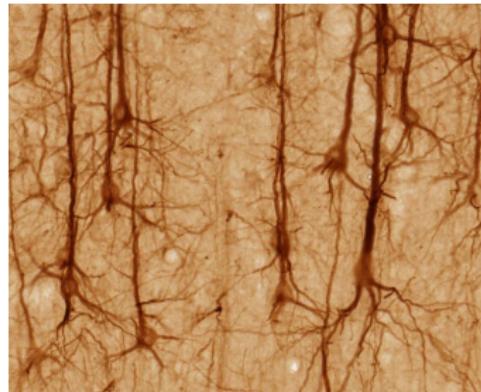
# Implikationen dieses Modells

- Prämisse: Freiheitsgrade des Subjekts sind die Wahrnehmungen des Beobachters
- Hohe Korrelation zu einer Auswahl von Eigenschaften der Umgebung und des Objekts
  - ▶ Aufnahme von Reizen durch Sinnesorgane
  - ▶ Korrelation zu vergangenen Zuständen
- Transinformation zwischen Subjekt und Objekt + Umgebung relativ konstant
  - ▶ Information über Umwelt durch Sinne
  - ▶ Zunahme durch Lernen, Abnahme durch Vergessen

## **4. Dekohärenz von Gehirnprozessen**

# Superposition von Neuronen

- Neuronen: Bausteine des menschlichen Gehirns  $\sim 10^{11}$ 
    - ▶ komplexes Netzwerk
    - ▶ Verbindung mit dem Bewusstsein anzunehmen
  - Zwei mögliche Zustände
    - ▶ feuern  $\leftrightarrow$  nicht feuern
- ⇒ Räumliche Superposition von  $10^6$   $\text{Na}^+$ -Ionen, mit Abstand  $\sim \mathcal{O}(10 \text{ nm})$



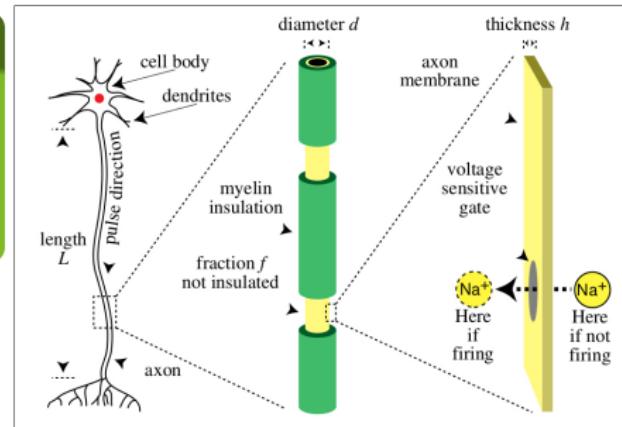
[8]

# Superposition von Neuronen

- Einfache Annahmen  
Anzahl der  $\text{Na}^+$ -Ionen

$$N = \frac{\pi d L f \epsilon_0}{q h} (U_1 - U_0)$$

- $h = 8 \text{ nm}$ ,  $d = 10 \mu\text{m}$ ,  
 $L = 10 \text{ cm}$ ,  $f = 10^{-3}$ ,  
 $U_0 = -0,07 \text{ V}$ ,  
 $U_1 = 0,03 \text{ V}$ 
  - $N \sim 10^6$



[9]

⇒ Räumliche Superposition von  $10^6 \text{ Na}^+$ -Ionen, mit  
Abstand  $\sim \mathcal{O}(10 \text{ nm})$

# Dekohärenz von Neuronen

- Unterschiedliche Wechselwirkungen
  - ▶ Stöße zwischen  $\text{Na}^+$ -Ionen, anderen Ionen und  $\text{H}_2\text{O}$ -Molekülen
  - ▶ Coulombabstoßung der  $\text{Na}^+$  von andern Ionen
- Abschätzung der Größenordnung, unteres Limit
- Coulombabstoßung: nächstes Ion größter Beitrag
- Stoßprozesse dekohärieren Ion auf de-Broglie Wellenlänge des Stoßteilchens

# Dekohärenz von Neuronen

- Betrachtete Wechselwirkungen liefern

Zeitentwicklung von  $\rho$

$$\rho(x, x', t_0 + t) = \rho(x, x', t_0) f(x, x', t)$$

- Ergebnisse für Dekohärenz-Zeitskalen

Object	Environment	$\tau_{\text{dec}}$
Neuron	Colliding ion	$10^{-20}\text{s}$
Neuron	Colliding H <sub>2</sub> O	$10^{-20}\text{s}$
Neuron	Nearby ion	$10^{-19}\text{s}$
Microtubule	Distant ion	$10^{-13}\text{s}$

[9]

- typische Dynamik-Zeitskalen sind  $(10^{-4} - 10^0)\text{s}$ 
  - ▶ Dekohärenz zerstört Superpositionen schon bei der Entstehung
  - ▶ Hirnprozesse als klassisch zu betrachten

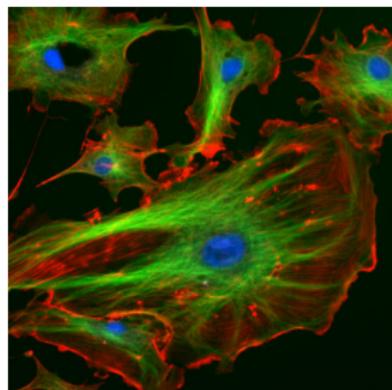
# Dekohärenz von Neuronen

- Betrachtete Wechselwirkungen liefern

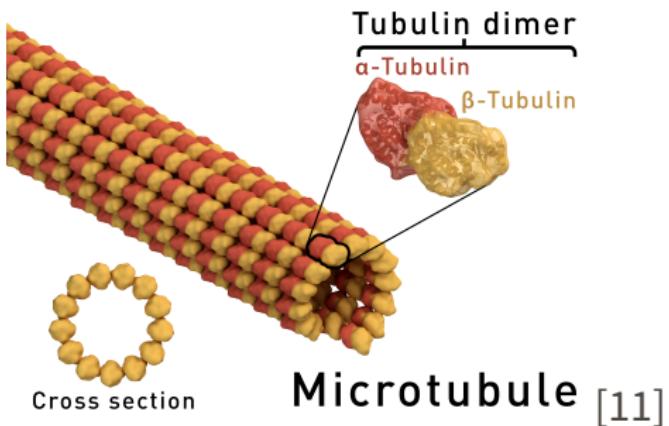
Zeitentwicklung von  $\rho$

$$\rho(x, x', t_0 + t) = \rho(x, x', t_0) f(x, x', t)$$

- Mikrotubuli



[10]



## **5. Bewusstsein als Aggregatzustand**

# Bewusstsein als Aggregatzustand

- Aggregatzustände durch Eigenschaften unterscheidbar
- Ähnliche Konzepte bereits erdacht
  - ▶ *Computronium*
- Welche Eigenschaften muss *Perceptronium* besitzen?



[12, 13, 14, 15]

# Eigenschaften von Perceptronum

- Aktive Forschung z.B. in der Neurowissenschaft
  - ▶ G. Tononi (INTEGRATED INFORMATION THEORY) [16]

## Integrierte Information $\Phi$ (abgewandelt)

$$\Phi = I_{\min} = \min_{\rho_1, \rho_2} (S(\rho_1) + S(\rho_2) - S(\rho))$$

$$I : \text{Transinformation}, S = -\text{Tr}[\rho \log_2(\rho)]$$

- Minimale Transinformation nach einem Schnitt der das System in zwei teilt
  - ▶ „*the cruellest cut*“ - Giulio Tononi
  - ▶ Maximale Unabhängigkeit der Teilsysteme,  
 $\Phi = 0 \Leftrightarrow$  vollständig unabhängig

# Integrierte Information

- Betrachtbar als Speicherung von Information, mit Fehlerkorrektur-Mechanismus
- Integrierte Information für  $k$  zufällig ausgewählte 14-bit-Folgen
  - ▶ Maximum bei  $k \approx 2^7$



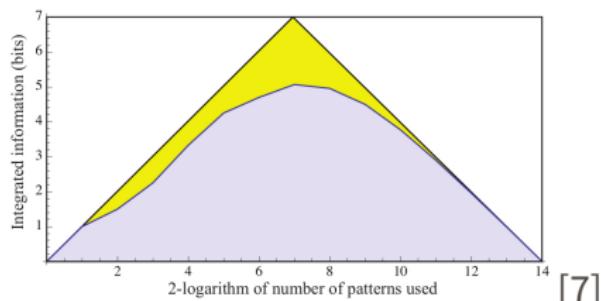
# Integrierte Information

- Betrachtbar als Speicherung von Information, mit Fehlerkorrektur-Mechanismus
- Integrierte Information für  $k$  zufällig ausgewählte 14-bit-Folgen
  - ▶ Maximum bei  $k \approx 2^7$



# Integrierte Information

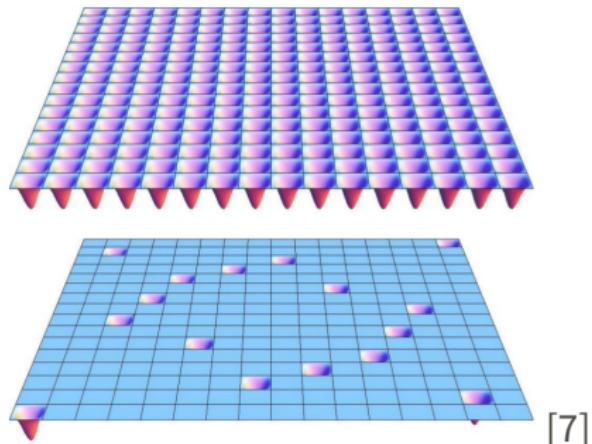
- Betrachtbar als Speicherung von Information, mit Fehlerkorrektur-Mechanismus
- Integrierte Information für  $k$  zufällig ausgewählte 14-bit-Folgen
  - ▶ Maximum bei  $k \approx 2^7$



[7]

# Integrierte Information

- Physikalische Systeme
  - ▶ „Eierkarton“-Potential  
 $(16 \times 16)$
  - ▶ Oben 256 Minima,  
 $S(\text{Grundzustand}) = 8$
  - ▶ Unten 16 Minima,  
 $S(\text{Grundzustand}) = 4$
- Ort  $(x, y)$  als zwei 4-bit Zahlen:  $0_2 - 15_2$
- Integration
  - ▶ Oben schlecht  $\Phi = 0$
  - ▶ Unten gut  $\Phi = 2$



[7]

# Probleme mit Integration

- Informationsgehalt des Zustand  $\rho$  und des Systems  $H$

„Eierkarton“ -Potential mit  $k$  Minima

$$S(\rho) \sim \log_2 (\# \text{ möglicher Zustände}) \sim n$$

$$S(H) \sim \log_2 (\# \text{ möglicher } H) \sim kn$$

- Gehirn mit  $10^{11}$  Neuronen

Maximale Integration

$$S(H) \sim \sqrt{2^n} \frac{n}{2} \sim 10^{10^{10}} \text{ bit}$$

- Notwendige Dynamik viel zu komplex

# 6. Zusammenfassung

## 7. Quellen

# Quellen I

- [1] *Definition: Beobachter.* 29. Juni 2016. URL:  
<http://www.duden.de/rechtschreibung/Beobachter>.
- [2] *Bild:Fußball-Beobachter.* 29. Juni 2016. URL:  
[http://orf.at/static/images/site/news/20160624/  
em\\_frankreich\\_island\\_body\\_afp.4694318.jpg](http://orf.at/static/images/site/news/20160624/em_frankreich_island_body_afp.4694318.jpg).
- [3] *Bild:Himmels-Beobachter.* 29. Juni 2016. URL:  
[http://www.beliefnet.com/columnists/  
/dreamgates/files/2012/02/Astronomer.jpg](http://www.beliefnet.com/columnists/dreamgates/files/2012/02/Astronomer.jpg).
- [4] *Bild:Vortrag.* 29. Juni 2016. URL:  
[http://www.start-mediation.de/wp-  
content/uploads/2010/01/Vortrag\\_PMI.jpg](http://www.start-mediation.de/wp-content/uploads/2010/01/Vortrag_PMI.jpg).

## Quellen II

- [5] *Definition: Bewusstsein.* 29. Juni 2016. URL:  
[http://www.duden.de/rechtschreibung/  
Bewusstsein#Bedeutung1a](http://www.duden.de/rechtschreibung/Bewusstsein#Bedeutung1a).
- [6] David Chalmers. „Facing Up to the Problem of Consciousness“. In: *Journal of Consciousness Studies* (1995). URL: <http://consc.net/papers/facing.html> (besucht am 29.06.2016).
- [7] Max Tegmark. „Consciousness as a State of Matter“. In: *ArXiv e-prints* (2015). arXiv: 1401.1219v3.
- [8] UC Regents Davis campus - <http://brainmaps.org>. *Bild:Neuronen.* 29. Juni 2016. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Neuron#/media/File:  
Smi32neuron.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Neuron#/media/File:Smi32neuron.jpg).

## Quellen III

- [9] Max Tegmark. „The Importance of Quantum Decoherence in Brain Processes“. In: *ArXiv e-prints* (1999). arXiv: quant-ph/9907009v2.
- [10] *Bild:Mirkrotubuli*. 29. Juni 2016. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Mikrotubulus#/media/File:FluorescentCells.jpg>.
- [11] By Thomas Splettstoesser ([www.scistyle.com](http://www.scistyle.com)).  
*Bild:Mirkrotubulus Struktur*. 29. Juni 2016. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Microtubule#/media/File:Microtubule\\_structure.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Microtubule#/media/File:Microtubule_structure.png).
- [12] By EvanS. *Bild: Felsen*. 29. Juni 2016. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rock\\_\(geology\)#/media/File:Balanced\\_Rock.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Rock_(geology)#/media/File:Balanced_Rock.jpg).

## Quellen IV

- [13] Fir0002/Flagstaffotos. *Wassertropfen*. 29. Juni 2016. URL:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Water#/media/File:Water\\_droplet\\_blue\\_bg05.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Water#/media/File:Water_droplet_blue_bg05.jpg).
- [14] By Brocken Inaglory. *Bild:Wasserdampf*. 29. Juni 2016. URL:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Steam#/media/File:Steam\\_phase\\_eruption\\_of\\_Castle\\_Geyser.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Steam#/media/File:Steam_phase_eruption_of_Castle_Geyser.jpg).
- [15] By Daniel Grohmann. *Bild:Entladung Tesla Spule*. 29. Juni 2016. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_coil#/media/File:Tesla\\_coil\\_\(discharge\)..JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_coil#/media/File:Tesla_coil_(discharge)..JPG).

## Quellen V

- [16] Giulio Tononi. „Consciousness as Integrated Information: a Provisional Manifesto“. In: *Biol. Bull.* 215 (2008). URL: <http://www.biolbull.org/content/215/3/216.full> (besucht am 29.06.2016).