

Zusatzmaterial zur Sendung 14:  
Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn



Zusatzmaterial zur Sendung 14:

Neurofeedback und die Schnittstelle  
Computer/Gehirn



## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

**Interessierte Hörerinnen und Hörer** finden auf dieser Seite weiterführende Informationen zu den einzelnen Sendungsthemen als Zusatzmaterial.

Die Zusatzmaterialien werden in der Reihenfolge gelistet, wie die Stichworte in der Sendung Erwähnung finden. Die Materialien wurden zum Zugriffszeitpunkt **15.02.2018** erstellt von:

Volker Mosbrugger, Sybille Roller, Francesco Lupusella und Julia Krohmer.

### Inhalt

1. Neurophilosophie & Neuroethik
2. Elektroenzephalogramm (EEG)
3. Neurowissenschaft & Neurotechnologie
4. Bereitschaftspotential
5. Amyotrophe Lateralsklerose
6. Brain-Computer-Interfaces
7. Tiefenhirnstimulation/Interventionelle Biologische Psychiatrie
8. Belohnungszentrum
9. Cochlea-Implantate

### 1. Neurophilosophie & Neuroethik

Die **Neurophilosophie** ist eine eigenständige Disziplin, die sich mit **interdisziplinären Fragestellungen zwischen Philosophie und Neurowissenschaften** befasst. Das Gehirn kann als zentrales Problemfeld der Neurophilosophie angesehen werden, denn es weist sowohl neurowissenschaftliche als auch philosophische Bezüge auf. Das Gehirn ist nicht nur **Gegenstand experimenteller Untersuchungen** in den Neurowissenschaften, sondern steht auch in einem engen Zusammenhang mit **mental**en **Zuständen**, die subjektiv erlebt und in der Philosophie des Geistes kontrovers diskutiert werden. Die Neurophilosophie verknüpft daher **neurowissenschaftliche und philosophische Theorien** miteinander. Die **Neuroethik** ist ein interdisziplinärer Wissenschaftszweig und verwendet Methoden der **Philosophie** sowie der **empirischen Sozialforschung**. Sie reflektiert ethische Implikationen der Neurowissenschaften von der Grundlagenforschung bis zur praktischen Anwendung und will für alle Handlungs- und Entscheidungsträger (Einzelpersonen, Institutionen, Staaten, überstaatliche Organisationen) normative Orientierung geben (vgl. Jox 2017, 11).



## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

### Weiterführende Literatur

- Walter, H (2000). Neurophilosophie. **Spektrum Online**. (<http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/neurophilosophie/8695>)
- Walter, H (1999). Neurophilosophie der Willensfreiheit. Von libertarischen Illusionen zum Konzept natürlicher Autonomie. 2., unveränd. Aufl., Paderborn [u.a.]: **Mentis**.
- Sturma, D (Hrsg.) (2006). Philosophie und Neurowissenschaften. Frankfurt am Main: **Suhrkamp**.
- Geyer, C (Hrsg.) (2004). Hirnforschung und Willensfreiheit. Zur Deutung der neuesten Experimente. Frankfurt am Main: **Suhrkamp**.
- Hildt, E (2012). Neuroethik. München [u.a.]: **Reinhardt**.
- Northoff, G/ Witzel, J & Bogerts, B (2006). Was ist „Neuroethik“ – eine Disziplin der Zukunft? **Nervenarzt** 77 (1): 5-11. (DOI: [10.1007/s00115-005-1895-8](https://doi.org/10.1007/s00115-005-1895-8))
- Northoff, G & Heinzel, A (2001). Neurophilosophie: eine begriffliche und methodische Charakterisierung. **Schweiz Arch Neurol Psychiatr** 152 (3): 114-122. ([PDF](#))
- Ayan, S (Hrsg.) (2017). Rätsel Mensch – Expeditionen im Grenzbereich von Philosophie und Hirnforschung. Berlin [u.a.]: **Springer**. (DOI: [10.1007/978-3-662-50327-0](https://doi.org/10.1007/978-3-662-50327-0))
- Schleim, S/ Spranger, TM & Walter, H (Hrsg.) (2009). Von der Neuroethik zum Neurorecht? Göttingen: **Vandenhoeck & Ruprecht**.
- Vaas, R (2000). Willensfreiheit. **Spektrum Online**. (<http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/willensfreiheit/14020>)
- Stephan, A (2000). Leib-Seele-Problem. **Spektrum Online**. (<http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/leib-seele-problem/6967>)
- Churchland, PS (1986). Neurophilosophy. Toward a unified science of the mind-brain. Cambridge, Mass. [u.a.]: **MIT Press**.
- Schleim, S & Walter, H (2007). Gedankenlesen mit dem Hirnscanner? **Nervenheilkunde** 26 (6): 505-510. ([PDF](#))
- Könneker, C (Hrsg.) (2007). Wer erklärt den Menschen? Hirnforscher, Psychologen und Philosophen im Dialog. 3. Aufl. Frankfurt: **Fischer-Taschenbuch-Verl.**
- Clausen, J/ Müller, O & Maio, G (2008). Die "Natur des Menschen" in Neurowissenschaft und Neuroethik. Würzburg: **Königshausen & Neumann**.
- Herrmann, CS/ Pauen, M/ Rieger, JW & Schicktanz, S (Hrsg.) (2005). Bewusstsein. Philosophie, Neurowissenschaften, Ethik. München: **Fink**.
- Skript von Markus Christen von der Universität Zürich zum Thema "Neuroenhancement und Neuroethik" ([https://www.encyclog.com/upl/files/10\\_z\\_richHfH.pdf](https://www.encyclog.com/upl/files/10_z_richHfH.pdf))



## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

- Jox, RJ (2017). Was ist Neuroethik und wozu brauchen wir sie?, in: Erbguth, F & Jox, RJ (Hrsg.). Angewandte Ethik in der Neuromedizin. Berlin [u.a.]: **Springer**, 3-12. (DOI: [10.1007/978-3-662-49916-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49916-0_1))
- Metzinger, T (2005). Unterwegs zu einem neuen Menschenbild. Eine noch junge Disziplin erforscht die Ethik der Neurowissenschaft und die Neurowissenschaft der Moral. **GEHIRN&GEIST** 11: 50-54. ([PDF](#))

### 2. Elektroenzephalogramm (EEG)

Die Geschichte der Elektroenzephalographie wird auf den Seiten der **Dt. Gesellschaft für klinische Neurophysiologie und funktionelle Bildgebung (DGKN)** nachvollzogen:

<http://dgkn.de/die-dgkn/geschichte/>

Die **DGKN** hat sich zur Aufgabe gemacht, für diesen Zweig der klinischen Messungen Richtlinien und Empfehlungen zu formulieren:

<http://dgkn.de/richtlinien/eeg/>

Eine Definition und Erklärung, was bei einem EEG gemessen wird, für welche medizinischen Fragestellungen die Messdaten Aussagen liefern können und welche Frequenzbereiche unterschieden werden, wird im psychologischen Lexikon auf den **Spektrum-Webseiten** gegeben:

<http://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/elektroenzephalographie/3968>

In folgendem kurzen Film werden die Gehirnfunktionen erklärt und die Funktionsweise von Messungen der Gehirnfunktion und -aktivität über ein EEG.

<https://www.youtube.com/watch?v=3KP7YPLDba8>

Die Publikation aus dem Jahr 2012 erläutert die medizinischen Anwendungsmöglichkeiten von EEG-Daten:

Graf, W & Hamer, HM (2012). Elektroenzephalografie. Eine Übersicht. **Nervenheilkunde** 31 (5): 325-333. ([PDF](#))



## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

### 3. Neurowissenschaft & Neurotechnologie

Hirnforschung ist aufgrund der fachlichen und methodischen Anforderungen eine Mischwissenschaft aus verschiedenen Disziplinen, wie **Psychologie**, **Medizin**, aber auch **Geistes-, Natur- und Ingenieurwissenschaften**. Sobald die klinische Diagnostik mit ins Spiel kommt, wird der Bereich der **Neurotechnologie** wichtig, denn hier wird moderne Informationstechnologie benötigt.

Der folgende **Spektrum-Artikel** gibt eine gute Einführung:

<http://www.spektrum.de/alias/r-hauptkategorie/neurowissenschaften-in-kuerze/949211>

Ein **Spiegel-Artikel** des Jahres 2008 hat als Titel „Die 7 größten Rätsel der Hirnforschung“, und man erahnt aus diesen allgemeinverständlichen Beschreibungen heraus, wieviel Forschungspotential die Neurowissenschaften noch in sich bergen.

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/neurowissenschaft-die-sieben-groessten-raetsel-der-hirnforschung-a-568451.html>

Eine **Studiengangs-Infobroschüre** ([PDF](#)), die durch die Studienmöglichkeiten in der deutschen Hochschullandschaft leitet, bietet auch einiges an Informationen über die Interdisziplinarität der „Neuro-Fächer“.

Darin auch folgende Abbildung:

#### Neurowissenschaften – was ist das?

Was Neurowissenschaftler vereint, sind nicht Methoden und Theorien, sondern der gemeinsame Forschungsgegenstand – Gehirn und Nervensystem. Hier die wichtigsten Ebenen, auf denen man sich ihnen nähern kann.

**Physiologie:** Welche genetischen und biochemischen Prozesse bilden die Basis für die Funktion von Nervenzellen?

**Anatomie:** Wie sind Nervensysteme aufgebaut? Wie lassen sich Nervenzellen und Synapsen markieren und Botenstoffe erkennen?

**Entwicklung:** Wie wachsen und verändern sich Nervenzellen? Welche Prozesse regulieren ihre Verbindungen untereinander?

**Kognition:** Wie funktionieren Wahrnehmung und Gedächtnis?

**Verhalten:** Welche Hirnprozesse steuern Mensch und Tier?

**Computermodelle:** Wie lässt sich die Arbeitsweise neuronaler Netzwerke künstlich simulieren und so besser verstehen?

**Philosophische Hintergründe:** Was versteht man unter Bewusstsein? Wie hängen Hirnprozesse mit unserem subjektiven Erleben zusammen?



## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

Eine Reihe weiterer „Neuro-Seiten“ mit vielen verschiedenen Informationen und Hinweisen zu z.B. Netzwerken und Gesellschaften, Forschungseinrichtungen wird hier angeboten:

<http://www.spektrum.de/alias/r-hauptkategorie/neuro-links/949307>

### 4. Bereitschaftspotential

Eine allgemeine Definition des Bereitschaftspotentials gibt das **Spektrum-Lexikon**:

<http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/bereitschaftspotential/1383>

Die in der Definition genannten Fachbegriffe, z.B. betreffend der **aktivierten Hirnrindenregionen**, sind weiter verlinkt: präzentraler Cortex, prämotorischer Cortex, supplementärmotorisches Gebiet, zentraler Gyrus cinguli.

Der Begriff „Bereitschaftspotential“ ist übrigens einer, der es als deutscher Fachbegriff ohne Übersetzungs-Äquivalent in die Fachliteratur geschafft hat. Wie man eindrucksvoll im Suchergebnis der wissenschaftlichen **Online-Literaturseite ScienceDirect.com** sieht:

<https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/bereitschaftspotential>

In einem verschriftlichten Interview ([PDF](#)) aus dem Jahr 2016 äußert sich Prof. Joachim Bauer zu den Inhalten seines **Buches „Selbststeuerung: die Wiederentdeckung des freien Willens“** und einleitend geht es folglich auch um das Bereitschaftspotential und das vorhandene **Vermögen, Situationen zu antizipieren**. Im Weiteren bewegt sich die Thematik dann eher in eine Richtung **„Kontrolle und aktive Steuerung“ des eigenen Willens** – was nicht uninteressant ist, aber die Thematik der aktuellen Sendung nicht direkt betrifft.

Zur noch gar nicht so alten **Historie des Bereitschaftspotentials** gibt es im Manuskript folgenden Hinweis:

„Dieses Bereitschaftspotenzial ist übrigens in den 60er Jahren von zwei Freiburger Forschern entdeckt worden, nämlich von Hans Helmut Kornhuber und Lüder Deecke, die damit beide weltberühmt wurden.“



## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

Die zu Beginn des Artikels erwähnten Zweifel, ob angesichts des Bereitschaftspotentials überhaupt der freie Wille zur Entscheidung bestünde, wurden in einem raffinierten Experiment widerlegt. Einzelheiten in einem Artikel der **FAZ** von 2016:

<http://www.faz.net/aktuell/wissen/ist-das-gehirn-fremdgesteuert-endlich-befreit-14034210.html>

Ein langer Artikel aus dem Archiv des **Deutschlandfunks Kultur** erörtert die Thematik rund um das Bereitschaftspotential und den freien Willen versus intuitives Handeln nochmals eingehend. Das **Libet-Experiment zum Bereitschaftspotential** wird beschrieben und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerung, dass das Bewusstsein hinterherhinke. Ebenso werden aber auch **kontra-intuitive Ergebnisse** dargelegt, die aus einer anderen Versuchsreihe stammen: das menschliche Gehirn hat bereits 7 Sekunden vor einer Handlung beschlossen, sie auszuführen. Der Artikel endet mit Betrachtungen aus philosophischer Sicht zur geschilderten **Determinismus-Diskussion**: wie definiert man eigentlich den freien Willen?

[http://www.deutschlandfunkkultur.de/neue-erkenntnisse-zur-willensfreiheit-wie-das-gehirn.976.de.html?dram:article\\_id=371055](http://www.deutschlandfunkkultur.de/neue-erkenntnisse-zur-willensfreiheit-wie-das-gehirn.976.de.html?dram:article_id=371055)

### 5. Amyotrophe Lateralsklerose

Die Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) wurde 1869 erstmals von Jean-Martin Charcot umfassend beschrieben. (Charcot, JM & Joffroy, A (1869). Deux cas d'atrophie musculaire progressive avec lésions de la substance grise et des faisceaux antérolatéraux de la moelle épinière. Archives de physiologie normale et pathologique 2: 354-367.) Sie ist eine **chronisch-degenerative Erkrankung des zentralen Nervensystems (ZNS)**, die mit einer **Atrophie der Skelettmuskulatur** und **Pyramidenbahnzeichen** (Reflexe oder unwillkürliche, rhythmische Muskelkontraktionen der Pyramidenbahn, die sich vom Rückenmark bis ins Gehirn zieht) einhergeht.

<https://www.youtube.com/watch?v=IRQb4lkGeVE>

- Petrucelli, L & Gitler, AD (2018). Wie kommt es zur gefürchteten ALS? **Spektrum Online** (<http://www.spektrum.de/news/genetische-ursachen-von-als-neue-therapien-fuer-die-amyotrophe-lateralsklerose/1532877>)



## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

- Brenner, D et al. (2018). Hot-spot KIF5A mutations cause familial ALS. **Brain**. (DOI: [10.1093/brain/awx370](https://doi.org/10.1093/brain/awx370)) ([PDF](#)). (vgl. <http://biermann-medizin.de/forscher-identifizieren-neues-als-gen/>)
- **Ärzteblatt Online** (2018). Wissenschaftler beschreiben neuen Krankheitsmechanismus bei ALS. (<https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/sw/Amyotrophe%20Lateralsklerose?nid=88967>)
- Naumann, M et al. (2018). Impaired DNA damage response signaling by FUS-NLS mutations leads to neurodegeneration and FUS aggregate formation. **Nat Commun** 9 (1): 335. (DOI: [10.1038/s41467-017-02299-1](https://doi.org/10.1038/s41467-017-02299-1)). ([PDF](#))
- Drexler, I & Weber, M (2015). Amyotrophe Lateralsklerose. Diagnose und Therapie der häufigsten Motoneuron-Erkrankung. **PSYCHIATRIE & NEUROLOGIE** 3: 22-26. ([PDF](#))
- Kollwe, K & Petri, S. (2009). Amyotrophe Lateralsklerose. **Klin Neurophysiol** 40: 3-16. (DOI: [10.1055/s-0028-1090207](https://doi.org/10.1055/s-0028-1090207)) ([PDF](#))
- Weishaupt, JH/ von Lewinski, F/ Bähr, M & Keller, BU (2006). Motoneuronenerkrankungen und amyotrophe Lateralsklerose (ALS): von der molekularen Analyse der Ursachen zu neuen therapeutischen Ansätzen. **Neuroforum** 12 (4): 252-259. ([PDF](#))
- Almer, G (2003). Amyotrophe Lateralsklerose. Überlegungen zu Ursprung und Pathophysiologie der Erkrankung. **J Neurol Neurochir Psychiatr** 4 (4): 6-12. ([PDF](#))
- Borasio, GD (1996). Amyotrophe Lateralsklerose (ALS): molekulare Pathogenese und experimentelle Therapie. **Neuroforum** 2 (4): 5-13. (DOI: [10.1515/nf-1996-0403](https://doi.org/10.1515/nf-1996-0403))
- Schneck, D (2014). Amyotrophe Lateralsklerose (ALS). **Apotheken Umschau Online** (<https://www.apotheken-umschau.de/Amyotrophe-Lateralsklerose>)
- **ZEIT Online** (2011). Mediziner entdecken Ursache für Nervenleiden ALS. (<http://www.zeit.de/wissen/gesundheit/2011-08/ursache-amyotrophe-lateralsklerose>)

### 6. Brain-Computer-Interfaces (BCI)

Ein **Spektrum-Artikel** aus dem Jahr 2016 beschreibt vor dem Hintergrund des jährlich ausgetragenen "**Cyathlon**"-Wettkampfes, welche technischen Möglichkeiten die sogenannten "**Gehirn-Computer-Schnittstellen**" heute bereits bieten. Welche Signale können von den EEG-Geräten in welcher Qualität aufgenommen und interpretiert werden?





## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

<http://www.spektrum.de/news/gehirn-computer-schnittstellen-werden-alltagstauglicher/1398145>

Bereits im Jahr 2009 wurde eine technisch sehr ausgereifte Apparatur vorgestellt, die zwar aussieht wie eine Badekappe mit Kabeln, aber tatsächlich konnten damit Gehirnsignale in Steuerungsimpulse umgewandelt werden.

<http://www.spektrum.de/news/die-unsichtbare-hand-der-gedanken/1002878>

Ein Kapitel des **Forschungsberichtes des Max-Planck-Institutes für Intelligente Systeme** in Tübingen beschreibt die BCI-Technik als neuen Kanal der Kommunikation. Was kann eine solche Schnittstelle und was kann sie nicht?

[https://www.mpg.de/5019039/Gehirn-Computer\\_Schnittstellen](https://www.mpg.de/5019039/Gehirn-Computer_Schnittstellen)

Ein kurzer Lehrfilm der **BCI-Forschergruppe der Max-Planck-Gesellschaft** ([https://ei.is.tuebingen.mpg.de/research\\_groups/brain-computer-interfaces-group](https://ei.is.tuebingen.mpg.de/research_groups/brain-computer-interfaces-group)) illustriert die ambitionierte Forschung zur Entwicklung einer funktionstüchtigen BCI. Die Arbeitsgruppe arbeitet an BCIs zur Kommunikation und zur Rehabilitation. Aber die Aufgabenstellung ist nicht trivial: Die vielfältigen Signale müssen zunächst präzise nach den gesuchten Signalen gefiltert werden – das menschliche Gehirn denkt eben nicht nur einen Gedanken gleichzeitig.

<https://www.youtube.com/watch?v=N7SiDQHvUYM>

Auch ein Kurzfilm in englischer Sprache zeigt mit guten Erklärungen und schnellen Schnitten, wie BCIs funktionieren.

<https://www.youtube.com/watch?v=7t84IGE5TXA>

Das Ziel des **Forschungszentrums "BrainLinks-BrainTools" der Universität Freiburg** ist das Erreichen eines neuen Niveaus der Interaktion zwischen technischen Instrumenten und dem Gehirn, welches echte Kommunikation zwischen Gehirn und technischem Instrument ermöglicht. Hieran arbeiten Lebens- und



## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

Ingenieurwissenschaften gemeinsam mit klinischen Anwendern:  
<https://www.brainlinks-braintools.uni-freiburg.de/de/>

Ein kurzes Video gibt Einblick in die Arbeit des Zentrums:

<https://youtu.be/AZRor87t3j8>

### 7. Tiefenhirnstimulation/Interventionelle Biologische Psychiatrie

Die Tiefe Hirnstimulation (THS, auch Tiefenhirnstimulation) ist ein grundsätzlich reversibler, **neurochirurgischer Eingriff ins Gehirn**, der zur Behandlung bestimmter **neurologischer Erkrankungen** (z.B. Parkinson) zugelassen ist. Das Verfahren wird auch als "**Hirnschrittmacher**" bezeichnet und wurde weltweit bisher bei etwa 120.000 Patienten angewandt. In der EU ist es für die Behandlung folgender Erkrankungen zugelassen: essentieller Tremor (seit 1995), Parkinson (1998), Dystonie (2003), Zwangserkrankungen (2009), und Epilepsie (2010). Das Leben der Betroffenen wird dadurch erheblich verbessert.

Die entsprechende **Wikipedia-Seite** gibt einen guten Überblick über Anwendungsgebiete, Funktionsweise und Schrittmacher-System:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Tiefe\\_Hirnstimulation](https://de.wikipedia.org/wiki/Tiefe_Hirnstimulation)

Im 2006 gegründeten Verein "**Arbeitsgemeinschaft Tiefe Hirnstimulation e. V.**" haben sich auf dem Gebiet aktive Wissenschaftler, Ärzte und Einrichtungen vernetzt, um die Forschung, klinische Versorgung und Fortbildung auf dem Gebiet der Tiefen Hirnstimulation zur Therapie neurologischer und psychiatrischer Erkrankungen zu fördern. Die Webseite des Vereins informiert Patienten, gibt einen Überblick über laufende Studien und listet alle in Deutschland aktiven THS-Zentren auf.

<http://www.tiefenhirnstimulation.de/>



## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

Ein spezieller Anwendungsbereich der Hirnstimulation ist die Psychiatrie. Auf der Seite der **Deutschen Gesellschaft für Hirnstimulation in der Psychiatrie e.V. (DGHP)** findet sich ein Überblick über die hier angewandten Methoden und die in diesem Gebiet aktiven Forschungszentren:

<http://www.dghp-online.de>

Ein aktueller Artikel der **Apotheken-Umschau** fasst die Wirksamkeit von Gehirnschrittmachern bei Parkinson zusammen und verweist auf weitere Quellen:

<https://www.apotheken-umschau.de/Hirnschrittmacher>

Ein Beitrag des **Deutschlandfunks** nimmt sich der möglicherweise auftretenden Nebenwirkungen an, zu denen beispielsweise Persönlichkeitsveränderungen gehören:

[http://www.deutschlandfunk.de/persoenlichkeitveraenderungen-nach-tiefenhirnstimulation.709.de.html?dram:article\\_id=89294](http://www.deutschlandfunk.de/persoenlichkeitveraenderungen-nach-tiefenhirnstimulation.709.de.html?dram:article_id=89294)

In der **Pharmazeutischen Zeitung** finden sich mehrere fundierte Artikel zu Funktionsweise und Potential der THS:

<https://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=32184>

<https://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=71285>

Inzwischen wird angenommen, dass mittels THS auch auf das Immunsystem Einfluss genommen werden kann:

<https://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=71285>

## 8. Belohnungszentrum

Zwei US-Forscher entdeckten 1954 das Belohnungszentrum zufällig, als sie bei Versuchen zum Lernverhalten von Laborratten einem Tier die Elektrode zur Hirnreizung



## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

versehentlich falsch platzierten: Die Ratte verabreichte sich anschließend wiederholt selbst die das Belohnungssystem stimulierenden Stromschläge, die sie als angenehm empfand.

Diese Entdeckung und die Funktionsweise des Motivationssystems werden zum Beispiel hier beschrieben:

<https://www.dasgehirn.info/denken/motivation/schaltkreise-der-motivation>

Das Belohnungszentrum wird auch als **mesolimbisches System** bezeichnet und ist entscheidend an der Entstehung von Freude und Wohlbefinden beteiligt. Das österreichische **Gesundheitsportal forumgesundheit.at** gibt einen guten Abriss über das Belohnungszentrum als Triebfeder menschlichen Verhaltens:

<http://www.forumgesundheit.at/portal27/forumgesundheitsportal/content?contentid=10007.772253&viewmode=content>

Entscheidend an den Vorgängen im Belohnungszentrum beteiligt ist der Neurotransmitter Dopamin. Ein kurzer Artikel auf **Spektrum.de** fasst die Auswirkungen von Dopamin und dessen Schwankungen auf das Belohnungszentrum zusammen:

<http://www.spektrum.de/news/auswirkungen-von-dopamin-und-dessen-schwankungen-auf-das-belohnungszentrum/1205455>

Ein Artikel zum Zusammenhang zwischen Belohnungszentrum und Drogenkonsum findet sich auf dem **Info-Portal www.dasgehirn.info**:

<https://www.dasgehirn.info/denken/motivation/sucht-motivation-zu-schlechten-zielen>

Eine englischsprachige Übersicht über wissenschaftliche Artikel zu Funktionen des mesolimbischen Systems findet sich auf dem **Portal Sciencedirect.com** (die Zusammenfassungen sind kostenlos, die vollständigen Artikel meist kostenpflichtig):

<https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/mesolimbic-pathway>



## Zusatzmaterial zur Sendung 14: Neurofeedback und die Schnittstelle Computer/Gehirn

### 9. Cochlea-Implantate

Cochlea-Implantate sind Innenohr Hörprothesen, die stark schwerhörigen oder gehörlosen Patienten wieder ermöglichen, zu hören. Das Grundprinzip des Gerätes beruht auf der elektrischen Stimulation des Hörnervs über eine in die Hörschnecke eingebrachte Elektrode.

Auch am **Universitätsklinikum der Frankfurter Goethe-Universität** werden diese Implantationen durchgeführt, die Klinik informiert auf ihrer Webseite detailliert über das Verfahren:

<https://www.kgu.de/kliniken-institute-zentren/einrichtungen-des-klinikums/kliniken/klinik-fuer-hals-nasen-ohrenheilkunde/hals-nasen-ohrenheilkunde/unsere-klinik-stellt-sich-vor/klinisches-spektrum/cochlea-implantat.html>

Auch ein ausführlicher Artikel des **Deutschen Ärzteblattes** von 2013 erläutert anschaulich das Potential dieser Behandlungsmethode:

<https://www.aerzteblatt.de/archiv/136885/Cochlea-Implantate-Wenn-Hoergeraete-nicht-mehr-helfen>

Anschauliches Video eines Implantat-Herstellers, wie das Gehör und das Hören mit einem Cochlea-Implantat funktioniert:

<https://youtu.be/iFY7cmDIWqE>

**hr-Reportage** über eine junge, seit ihrer Kindheit praktisch taube Frau, die ein Cochlea-Implantat bekommt:

<https://www.youtube.com/watch?v=VB99Et9f2ow>