NERVENZELLEN UND NERVENIMPULSE

Neuronendoktrin:

RAMON Y CAJAL (Ende 19.Jhd.): **Neuronen** liegen zwar **beieinander**, sind aber **physisch voneinander getrennt**; Verbindung der Nervenzellen untereinander geschieht über Synapsen; Cajal: keine physische Verbindung

1. **Gehirn** besteht aus **räumlich getrennten, unterschiedlichen, voneinander unabhängigen Zellen**

2. Hauptarten von Zellen im Gehirn:
   a) **Neuronen** (= Nervenzellen) und
   b) **Gliazellen** (= Neuroglia)

3. Informationen von Zelle zu Zelle über **Synapsen** (= Verbindungsstellen zwischen Neuronen)
   [aber: keine Synapsen bei Axonen, die mit motorischer Endplatte an Muskeln enden!]

CHARLES SHERINGTON (1906):
1. Reflexe = langsamer als Impulse
2. Reize summieren sich (d.h. nur 1 Reiz allein erzielt keine Reaktion, erst wenn mehrere aufeinander folgen -> Reaktion
3. Komplementäre Erregung der Muskeln

-> **JOHN ECCLES** (1964): liefert dafür experimentelle Beweise

A) NEURONEN (= NERVENZELLEN):

Formen der Nervenzellen:

* unterscheiden sich voneinander in **Gestalt und Größe**. Diese beiden Gesichtspunkte beeinflussen die Art der Reaktion und Reizverarbeitung.
* Typische Nervenzelle sammelt Signale aus mehreren Quellen (mittels der Dendriten); Nervenzelle integriert diese Informationen, wandelt sie in Outputsignale um und gibt Informationen so weiter (mittels des Axons)

Arten der Nervenzellen:

1. Unterscheidung nach dem Bau:

a) **multipolare Nervenzellen**: Zellkörper (=Perikaryon) mit zahlreichen Dendriten und 1 Axon mit Endknöpfchen (= Boutons) in den Verzweigungen am Ende. Die meisten NZ im Gehirn der Wirbeltiere sind solche.

b) **bipolare Nervenzellen**: 1 Dendrit + Perikaryon + 1 Axon; solche NZ sind va. in den sensorischen Systemen (z.B. in Retina, im Riechsystem,...)

c) **pseudounipolare Nervenzelle**: Erregung läuft nicht über das Perikaryon; Zellkörper dient nur der Versorgung

2. Unterscheidung nach der Funktion:

a) **Motorneuronen** : erhält Erregung von einem anderen Neuron, leitet die Impulse ins Rückenmark zu Muskel- oder Drüsenzellen

b) **sensorische Neuronen**: = Rezeptor-Neuron; ist darauf spezialisiert, hochsensibel für spezielle Art der Stimulation zu sein, z.B. für Licht, Schallwellen. Es können aber alle Rezeptoren durch Elektrizität oder intensiven Stimulus stimuliert werden.

c) **Interneuronen**: = die meisten; empfangen Signale, verarbeiten sie, leiten sie weiter, entweder zu anderen Interneuronen oder zu Motorneuronen.

Bau einer Nervenzelle:

I. **Zellkörper / Perikaryon:**

In seinem Inneren befinden sich

a) **Zellkern** (= **Nucleus**)

b) rund um den Zellkern = **endoplasmatisches Reticulum** mit Poren zum Stoffaustausch ins Innere

c) **Cytoplasma** (= Zellflüssigkeit / Cytosol). Wird z.B. eine NZ gereizt -> Kalziumwelle aus Innerem der NZ freigesetzt -> Reaktionsfähigkeit erhöht [vgl. NA-CL-Gates]

d) diverse **Organellen**

e) **Myochondrien** (= Kraftwerke der Zelle)

f) **Ribosome** (hier findet Proteinsynthese statt)

g) **Phagosome** („Fresser“)

h) **Golgi-Komplex** (= Vesikel mit diversen Neurotransmittern und Hormonen)

i) **Zellmembran** (= fluid mosaic membrane)
[**Interstitium** = Raum zwischen den einzelnen Nervenzellen]

ad i) ***Zellmembran*** **(fluid mosaic membrane)**

A) **Aufbau**:

aus verschiedenen Schichten

-> **äußere und innere Schicht** bestehen aus Phospholipiden (= Fettmoleküle mit eingebauten Proteinen). Jedes Fettmolekül hat ein hydrophobes und ein hydrophiles Kohlehydrat-Ende.
Die hydrophoben polaren Enden sind dem wäßrigen Medium außen und innen zugewandt, verbinden sich gern mit Proteinen.
Die hydrophilen nonpolaren Enden („Schwänze“) bilden die

-> **Mittelschicht**: = hydrophile Schicht, verändert ständig ihre Form, sehr anpassungsfähig; hier findet Stoffwechsel statt. Mittelschicht ist ähnlich wie Fraktale, ist ständig in Bewegung (= **Brown’sche Bewegung**) -> große Flexibilität, große Festigkeit, verzögert den Fluß von Chemikalien durch die Membran

B) **Funktionen der Zellmembran**:

1. **strukturelle Integrität** aufrechterhalten

2. stellt **Eigenidentität** der Zelle her (-> gibt sich anderen Zellen zu erkennen: Moleküle in Membran erkennen Komplementärmoleküle in Membranen anderer Zellen -> können sich so verbinden)

3. ist eine **Barriere** (verlangsamt oder beschleunigt Durchlässigkeit für verschiedene chemische Stoffe)

4. **Spannungsdifferenz** zwischen innen und außen

5. fungiert durch ihre dynamische Eigenschaft (vgl. Brown'sche Bewegung) als **Transporteur** für verschiedene Stoffe

II. andere Teile der Nervenzelle:

1. ***Dendriten:***

-> Signalempfänger (dendritische Dornen - „dendrite spines")

-> Signalmodulierer („back propagation)

2. ***Axon***:

-> besteht aus **Initialsegment (= Axonhügel**); befindet sich dort, wo Axon den Zellkörper verläßt.
= Ort der herabgesetzten Schwelle, d.h. schwächerer Reiz kann hier ein Aktionspotential auslösen.

-> **Axon** selbst (mit **Myelinschicht**) [aber: nicht alle Axone sind myelisiert]

-> am Ende **Verzweigung mit Endknöpfchen** (= Boutons) = **präsynaptische Endigung**. Hier drinnen sind Vesikel mit Neurotransmittern, die bei Erregung freigesetzt werden.

Myelinschicht: besteht aus Neurogliazellen, nämlich aus Gliazellen, nämlich aus den **Schwann Zellen** (im PNS) und den Oligodendrogliazellen (im ZNS); nicht vollständig, sondern mit Zwischenräumen = **Ranvier'sche Schnürringe** (hier saltatorische Erregungsübertragung)

3. ***Synapse:***

-> **Prä-** und **Postsynapse;** dazwischen **synaptischer Spalt**.

-> Hier diffundieren Neurotransmitter

* bahnende, erregende (= **exzitatorische**)
* hemmende (= **inhibitorische**)

Wirkung daher entweder erhöht oder herabgesetzt

[**Multiple Sklerose:** Axone verlieren Myelinschicht; Erregung kann aber nur an Stellen der Ranvier'schen Schnürringe übertragen werden; fehlt Myelinschicht -> keine Weiterleitung der Erregung!]

Einschub: Anatomische Unterschiede zwischen Dendriten und Axonen:

Dendriten	***Axone***
Ein Neuron hat **viele Dendriten**, mit vielen Verzweigungen	Ein Neuron hat **nur ein Axon** oder gar keines
Dendriten = **kürzer als Axone**. Einige Neuronen haben nur einen längeren Dendriten mit Verzweigungen	**unterschiedliche Länge**, bis zu 1 Meter und länger
Durchmesser verringert sich zur Peripherie des Dendriten hin	**konstanter Durchmesser** über die ganze Länge des Axons bis zur Präsynapse
kein Axonhügel	große Axone haben am Übergang zum Zellkörper einen **Axonhügel**
haben gewöhnlicherweise **Ribosomen**	haben einige oder **keine Ribosomen**

Zahl der Nervenzellen:

= am Anfang des Lebens festgelegt [**Nervenzellen keine Mitose**!]; es entstehen keine neuen, **nur die Dendriten verändern sich** im Laufe der Zeit (z.B. bei Alkoholiker: weniger NZ mit weniger Dendriten)

vgl. **Versuche mit rich environment**:
Rattenexperimente / USA -> mehr Dendriten, Verdickung des cerebralen Cortex
Wie ist das beim Menschen? Und umgekehrt... was ist, wenn jemand in einer poor environment lebt? (z.B. in Strafanstalt)

Bei **Altersdemenz** -> **Atrophierung der Dendriten**
Ab 40 Jahre: Verlust von Nervenzellen, aber **Ausbau der Dendriten zur Kompensation**
(funktioniert aber nur bei geistiger Aktivität!)
Fazit: Wer senil ist, hat diese Kompensation nicht vollzogen, seine Dendriten sind verkümmert

DIE ERREGUNGSLEITUNG:

Wahrnehmung (z.B. beim Drücken des Fingers auf den Tisch) findet nicht im Finger selbst, sondern im Gehirn statt.

1. Ruhepotential (= resting potential):

Fehlt jegliche äußerliche Regung -> Membran macht elektrische Polarisation, die auf der ungleichen Verteilung der Ionen innerhalb und außerhalb der Zelle beruht.

Ionentheorie der Erregung von HODGKIN & HUXLEY (1952)

Konzentrationsgradient:

-> K+ Ionen innen sind mehr als K+ außen
außerhalb der Zelle = 10x soviel Natrium wie im Inneren

-> Na+ außen sind weniger als Na+ innen
in der Zelle = 20x soviel Kalium wie außen

Ruhepotential wird aufrechterhalten durch die **selektive Durchlässigkeit der Membran**:

-> O_2, CO_2, H_2O können überall und ungehindert durch die Zellmembran
-> K+, Na+ und Cl- aber nur durch bestimmte **Gates** (für jedes gibt es ein bestimmtes!)
Im Ruhezustand Na-Gates geschlossen; K - und Cl-Gates offen (***passiver Transport***)

Warum sind außerhalb der Zelle mehr Na-Ionen als in der Zelle?
Grund = **Ionenpumpe oder Natrim-Kalium-Pumpe** (***aktiver Transport):*** = Mechanismus erleichterter Diffusion; errichtet einen Konzentrationsgradienten, wo Na außen höher ist, als K innen (Na:Ka = 3:2), pumpt Natrium aus Zelle hinaus und Kalium hinein, Kalium geht aber durch die offenstehenden Kalium-gates wieder hinaus.

Ladungsgradient:

Zellinneres = negativ (= -70mV) gegenüber außen, weil im Zellinneren auch negative Chlorid-Ionen sind (Cl-); Spannungsunterschied zwischen innen und außen ca. 30-90 mV.

Wozu dient das RP?

Spannungsdifferenz zwischen innen und außen (= 30-90V, hängt ab von der Größe der Nervenzelle) ermöglicht dem Neuron schnell auf einen Reiz zu reagieren. Bei Erregung: zuerst Na in Zelle hinein (Ka-Gates dabei zu); dann Na-Gates zu, Ka-Gates auf -> Ka heraus. Impuls fließt orthodrom (d.h. in die richtige Richtung)

Bei **Impuls von außen öffnen sich Natrium-Gates** (bestimmter Spannungsgradient ist dafür notwendig)
-> Natrium strömt in die Zelle; Kalium aus der Zelle, bis alles wieder im Gleichgewicht

BEISPIELE:

* bei **Skorpiongift**: Na-Gates offen, Ka-Gates zu; Folge: Zelle kann nicht mehr reagieren

* bei **Lokalanästhesie**: Na-Gates werden blockiert -> Kontraktion der Muskeln wird verhindert

* bei **Totalnarkose**: Kombination aus diversen Stoffen; Ka-Gates werden aber offengehalten zwecks Muskelentspannung

zu den Gates:
manche = **ladungsgesteuert** (d.h. durch elektrische Spannung offen oder zu)
andere = **chemisch gesteuert** (nach Schloß-Schlüssel-Prinzip)
Neurotransmitter, die nicht mehr gebraucht werden (z.B. Dopamin, Noradrenalin) werden von präsynaptischer Membran wieder aufgenommen und wieder in Vesikel eingebaut.

2. Aktionspotential (= AP):

Schwellenstarker Reiz löst Aktionspotential aus:

Dieser kann sein: -> **einzelner Reiz**
-> **Summation verschiedener Reize** (bis zu 10.000)
- alle gleichzeitig aus verschiedenen Quellen (= **spacial summation**)
- zeitlich hintereinander (= **temporal summation**)

* Aktionspotential: = **Antwort an alle mit dieser Zelle verbundenen Zellen**
starker Reiz -> häufige Impulse
schwacher Reiz -> wenige Impulse

ABER: vom normalen Aktionspotential unterscheidet sich das **subcorticale Aktionspotential**:
hier: starker Reiz -> frühere Reaktion
schwacher Reiz -> spätere Reaktion (Latenz)
wurde entdeckt 1992 von **KROKOTOW** und **ETTLINGER** (!)

MERKE: **Größe eines Aktionspotentials ist unabhängig von der Größe des Reizes!**
AP = immer gleich groß und gleich gestaltig! Weil AP nach dem **Alles-oder-Nichts-Prinzip** funktionieren. Wird eine bestimmte Schwelle überschritten -> Auslösung eines AP. Je öfter diese Schwelle überschritten wird, umso öfter treten APs auf (d.i. Amplitudenmodulation in der Großhirnrinde)

Bei Erregung: ***Spannungsänderungen***:

* bei **hemmendem Impuls**: **Hyperpolarisation** (Polarisation wird vergrößert) -> immer noch negativer; Cl-Ionen strömen ins Innere

* bei **exzitatorischem Impuls**: **Depolarisation** (Polarisation wird verkleinert) -> positive Ionen (NA-Ionen) strömen ins Innere

Molekulare Basis des AP:

1. Zellmembran = beinahe undurchlässig für Na-Ionen. **Während eines AP** -> enormes **Ansteigen der Permeabilität für NA** -> Na-Gates öffnen sich -> **Na strömt schneller in die Zelle, als K heraus kommt** -> Depolarisation steigt -> Na-Gates öffnen sich noch weiter -> so lange, **bis sich die Polarität umdreht** -> Ende des Na-Einstroms -> **Na-Gates schließen sich** (= **Spitze des AP**)

2. anschließend **Rückkehr in den Ausgangszustand**: Na-Gates sind zu, K-Gates öffnen sich weiter als sonst; **K+ aus der Zelle**, weil draußen höhere Konzentration und außerdem werden sie nicht mehr von der negativen Spannung angezogen, weil Zellinneres ja jetzt positiv. **Abtransport des Na** durch die Na-K-Pumpen

3. **Folge oftmaliger Erregungsgeschehnisse**:
Na-Ka-Pumpe (**SKOV** 1957): Wenn zuviel Na in der Zelle und zuwenig K -> dieser Mechanismus tritt in Aktion; befördert Na aus Zelle und K in die Zelle bedeutet aber Energieaufwand; gesteuert durch Enzyme.

Refraktärzeit:

Nach dem AP -> einige Millisekunden lang zeigt Zelle keine Reaktion, bzw. kann kein neues AP hervorgerufen werden

* **absolute Refraktärperiode**: egal wie intensiv der Reiz, Zelle kann kein AP erzeugen
* **relative Refraktärzeit**: überschreitet ein Reiz die übliche Schwelle -> AP ausgelöst

reaktive Hyperpolarisierung (Permeabilität für Na gering, für K höher als normal)

Dauer bestimmt Maximum der Feuer-Frequenz einer Zelle

***Ausbreitung eines AP*:**

* Ausgang des AP meist am Axonhügel

* Impuls über Axon zum Endknopf geleitet (dort: z.B. Freisetzung von Neurotransmittern in synaptischen Spalt) Fließt wie eine Welle das Axon entlang, an jedem Punkt des Axons wird dabei ein weiteres AP geschaffen, deshalb ist AP am Ende des Axons genauso stark wie am Anfang

Axon leitet -> ohne Myelinschicht:
* dünne Axone: 1m/sec
* dicke Axone: 10m/sec
-> mit Myelinschicht: -> 100m/sec

*** Staffellauf-Prinzip myelisierter Axone**:
-> **Ranvier'sche Schnürringe** (= Stellen ohne Myelinschicht; 1 Micrometer breit; dienen als Absicherer, als Beschleuniger, als örtlicher Verstärker der Erregung vom Zellkörper zur Zellperipherie. Erhöhung der Sicherheit der Impulsübertragung: Schnürring wird auch dann noch erregt, wenn Impuls nicht mehr die volle Größe hat)
-> **saltatorische Impulsleitung** (d.h. Impuls springt von einem Schnürring zum nächsten)

3. Generatorpotentiale (= Nachrichtenübermittlung ohne Aktionspotentiale)

Dendriten und Zellkörper produzieren keine AP, sondern kleine Depolarisationen und Hyperpolarisationen in Abhängigkeit von der Art der Stimulation. Diese **verfallen während des Transports**, sie folgen **keinem Alles-oder-Nichts-Prinzip** = Generator-Potentiale.

Generator-Potential (= graded potentials) = **lokale Erregung**
-> **kleine lokale Neuronen** (Impuls = proportional zum Reiz)
-> kein Alles-oder-Nichts-Prinzip = AM
AM = Amplitudenmodulation:
Reiz klein -> Antwort klein
Reiz groß -> Antwort groß
-> **lokale Antwort, d.h. innerhalb einer Zelle**

2 Arten: a) **EPSP**: exzitatorisches postsynaptisches Potential; Differenz zwischen innen und außen kleiner = **Hyperpolarisation**
b) **IPSP**: inhibitorisches postsynaptisches Potential; Unterschied zwischen innen und außen größer = **Superpolarisation**

Unterschied AP und GP

AP	*GP*
Antwort an alle mit dieser Zelle verbundenen Zellen	**lokale Antwort** (d.h. innerhalb einer Zelle)
Größe unabhängig von der Größe des Reizes **Alles-oder-Nichts-Prinzip**	Größe ist abhängig von Größe des Reizes **kein Alles-oder-Nichts-Prinzip**
Frequenzmodulierung in der Großhirnrinde Reizstärke wird **frequenzmoduliert**	Amplitudenmodulierung Reizstärke wird **amplitudenmoduliert**
verfällt nicht während des Transports	**verfällt** während des Transports

„SPIKE-TIMING" (= RATE CODING)

entdeckt in den 90er Jahren; ist eventuell so etwas wie die „Sprache des Gehirns"

* Feuerrate der Zelle = gleich
* zeitliches Muster der Feuerung = unterschiedlich

=> **FOERSTER / SPREWSTEN:**
Rate coding: unterschiedliche Reizeigenschaften werden codiert; ist nicht neuronaler „Lärm“ (dieser = Zeichen dafür, daß Organismus am Leben ist, denn NZ feuern immer, auch wenn sie nicht gereizt werden)

=> **HOPFIELD:**
Rate coding ermöglicht effizienteren Gebrauch der neuronalen Hardware

Beispiel: Vogelsang:

Spike Timing steuert unterschiedliche Eigenschaften des Gesangs von Finken; Reizung bestimmter Kerne bewirkt entweder Aufhören des Gesangs; bzw. bestimmte Noten, die gesungen werden, hängen mit Spike Timing zusammen -> könnte auch beim Menschen so sein.

B) NEUROGLIA (= GLIAZELLEN):

10x mehr als Neuronen; sind aber nur 1/10 so groß wie diese
Rolle der Gliazellen ist noch umstritten, sie sind aber auf jeden Fall multifunktional

Unterschied zu NZ:

* können sich vermehren
* generieren keine elektrische Aktivität, leiten sie aber weiter.

Arten:

1. ***Schwannzellen*** (im PNS) } beide = myelisiert, daher hier keine Erregungsleitung von NZ zu NZ, Reiz nur entlang des Axons laufen kann (d.h. synaptische
2. **Oligodendroglia** (im ZNS) } Reizübertragung wird durch sie erschwert)

3. **Microglia**: sehr klein, zur Entfernung von Abfallprodukten [= Phagocytose], z.B. Acetat nach Gebrauch von Acethylcholin, abgestorbene Zellen, verbrauchte metabolische Substanzen

4. **Astrocyten**: dürften auch Kalium und Kalzium aufnehmen und passiv an NZ weiterreichen, das weiß man aber noch nicht sicher; Ernährungsfunktion -> entnehmen diverse Nährstoffe aus dem Blut und geben sie an NZ weiter

5. **Ependymzellen**: kleiden Gehirnventrikel aus

-> Gliazellen **können sich vermehren** [-> Mitose!], füllen Raum, den abgestorbene NZ hinterlassen haben. Gliazellen bilden hier **Narbengewebe** (= phys. und chem. Barriere; letzteres, weil Astrocyten Substanz ausschütten, die das Wachstum von Gliazellen hemmen)

-> **Schwann-Zellen:** bei Verletzung von Axonen bilden sie eine Art **Leitweg**, innerhalb dessen das Axon nachwächst. Gesteuert durch NGF (= **Nerve Growth Factor**)

Funktionen der Neuroglia:

1. bilden **Myelinscheiden**: Oligodendroglia im ZNS
   Schwann-Zellen im PNS

2. beseitigen **Abfall**

3. fördern **Wachstum**

4. **töten** schwache Zellen

5. **tauschen** chemische Substanzen mit NZ aus

6. stärken die **Blut-Hirn-Schranke**

7. **füllen** den **Platz** aus, der durch Verlust von NZ entsteht; bilden dort **Narbengewebe**

8. **leiten axonales Wachstum** /pränatal, bzw. postnatal regenerativ)

9. kleiden **Ventrikel** aus (Ependymzellen)

10. **vermehren sich durch Mitose** [nur die Glia-Zellen können daher von Krebs befallen sein, weil sie sich ja vermehren; NZ können nicht von Krebs befallen sein!]

Gliazellen = wesentlich beteiligt an der

Blut - Hirn - Schranke:

= Mechanismus, der die meisten Chemikalien daran hindert, ins Gehirn vorzudringen.

Unterschiedliche Substanzen -> unterschiedliche Wirkung auf unterschiedliche Menschen; verantwortlich dafür ist die Blut-Hirn-Schranke (BHS); läßt diverse Stoffe / Viren nicht eindringen; ist wichtig, weil sich Nervenzellen ja nicht vermehren können! Im Körper werden Eindringlinge markiert und von Abwehrzellen unschädlich gemacht; Antikörper können in NZ eindringen, um Proliferation der Viren im Gehirn zu verhindern. Neuronen begehen nicht, wie andere Zellen, wenn sie von einem Virus befallen werden, Selbstmord.

Manche Viren können BHS durchdringen und ins Gehirn eindringen; Neuronen markieren sie nicht, geben sie den Abwehrstoffen nicht zu erkennen, z.B. der Herpes-Virus (überlebt lebenslang im Gehirn!). Solche Viren könnten auch z.B. Schizophrenie bewirken (?).

BHS = gebildet vom **Endothelium** (dicke Schicht) entlang der Gefäßwände im Gehirn (verstärkt durch Astrocyten, die auch Nährstoffe durch BHS ins Gehirn liefern) -> liegen viel dichter als im übrigen Körper -> viele Moleküle können nicht durch! Passieren können Sauerstoff, CO_2, aber auch Heroin, Nikotin und Cannabiol, die fettlöslich sind und sich im Fett der Kapillarwände auflösen (Deshalb hat Heroin stärkere Wirkung als Morphium!)

Aktives Transportsystem: bringt Stoffe ins Gehirn, die die BHS normalerweise nicht durchdringen könnten, z.B. Glucose muß aktiv ins Gehirn transportiert werden; das Gehirn braucht Thyamin, um Glucose verwenden zu können (Alkoholiker haben oft Thyaminmangel, vor allem, wenn sie NUR saufen); auch Aminosäuren, Hormone können mit Hilfe der Gliazellen aktiv ins Gehirn geschleust werden.

Neuronen brauchen besonders viel Glucose und Sauerstoff, weil fast alle anderen Nährstoffe die BHS nicht durchdringen können!

Veränderungen in der Struktur von Neuronen und Gliazellen

Körperzellen und Gliazellen können sich jederzeit **teilen** - **Nervenzellen können das nicht**.
Ausnahme: das **olfaktorische System**:
olfaktorische Rezeptoren haben kurze Lebenszeit -> Geruchssinn ginge schon früh verloren. Stirbt ein olfaktorischer Rezeptor ab, so teilt sich ein unreifes Neuron -> eine Hälfte entwickelt sich zu einem olfaktorischen Rezeptor, die andere bleibt unreif und wartet, bis wieder ein Rezeptor abstirbt, um sich dann zu teilen, usw.

Krebs: beruht auf einer abnormen Vermehrung von Zellen. Da sich die Neuronen nicht vermehren können, beschränken sich Tumore im Gehirn auf die Gliazellen.

PURVES / PRADLEY (1985): Anordnung der Dendriten ändert sich im Laufe des Lebens; einige verzweigen sich, andere sterben ab. Alkohol beeinflußt Wachstum der Dendriten -> verkümmern. Normal alternde Personen verlieren zwar Nervenzellen, Dendriten können aber durch vermehrte Verzweigungen diesen Ausfall kompensieren. Voraussetzung = geistige Aktivität!