Humanbiologie
Zellphysiologie

Allgemeine Zellphysiologie

Biologische Membran:

- Zellmembran besteht aus Lipiden und Eiweißen —> die in Membran eingelagerten Proteine bestimmen deren Funktion: Proteine ermöglichen Transport wasserlöslicher Substanzen, nehmen Kontakt mit Nachbarzellen auf und leiten extrazelluläre Signale in Zellinnere weiter.
- dünne Fettschicht, die aus 2 Lagen von Fettmolekülen aufgebaut ist —> Lipiddoppelmembran
- Phospholipid Bilayer: Doppellipidschicht mit Phosphatrest
- Lipide sind unlöslich im Wasser —> Hydrophob (wassermeidend)
- Membranlipide sind zweigeteilt —> haben hydrophilen (wasserliebenden) Kopf der nach innen zeigt und hydrophoben Schwanz der nach außen zeigt.
- nahezu undurchlässig für polare Moleküle, Ionen, Makromoleküle, aber auch sehr flexibel und mechanisch schwer zu zerstören
- Wasser und kleine ungeladenen Moleküle können durch Doppellipidschicht diffundieren
- Membranen sind unablässig in Bewegung
- Bei Phospholipiden (häufigste Membranlipide) enthält am Kopf Phosphatrest
    - Liposom: mit Flüssigkeit gefüllte kleine Vesikel, deren Hülle aus Lipiddoppelschicht besteht. Werden in Medizin zum Transport für Arzneistoffe verwendet
    - Mizelle: rein optisch ähnlich wie Liposom, besitzt aber nur einfache Lipidschicht
    - Doppellipidschicht. Bilden sich durch spontane Zusammenlagerungen. Spielt bei Fettresoprtion in Darmmukosa eine Rolle
- Cholesterol
    - gehört auch zur Gruppe der Lipide
    - Membranlipid, Bestandteil aller tierischer Biomembranen
    - Bausubstanz für Hormone, Gallensäure, Vitamine
- Funktion der Membran:
    - grenzt jede Zelle gegenüber ihrer Umwelt ab und ermöglicht das Aufrechterhalten eines internen Milieus
    - der liphophile Charakter der Zellmembran ermöglicht, zwei wässrige Milieus gegeneinander abzugrenzen und Vermischung zu vermeiden
    - hält zelluläre Bestandteile zusammen
    - In Lipiddoppelschicht sind Kanäle und Transporter eingebaut, die selektiv Substanzen zwischen beiden Milieus austauschen. —> Damit lassen sich Konzentrationsdifferenzen aufrechterhalten und Membranpotential aufbauen
    - Rezeptoren innerhalb der Membran ermöglichen Weiterleitung von Signalen in Intrazellulärmillieu

Intrazelluläre Kompartimente

- **Mitochondrium**: Energieproduktion
- **Kern:** Genetisches Programm
- **Endoplasmatisches Retikulum**
    - Raue: ist mit Ribosomen besetzt —> Proteinsynthese
    - Glatt: ohne Ribosomen —> dort findet Fettsäuresynthese, Membranlipidsynthese und Synthese von Steroiden statt
- **Lysosom:** Abspaltung des Golgi- Apparates. Von Membran umschlossene Zellorganelle in Eukaryonten —> bauen Fremdstoffe und körpereigenen Stoffe ab —> Magen der Zelle
- **Mikrotubuli:** Proteinstrukturen —> geben Zelle Form und Festigkeit, Motorproteine („Schienen“ durch die Zelle auf denen Vesikeltransport statt findet), Zellbewegung
- **Ribosom:** kleine aus Proteinen und rRNA bestehende Partikel, die Proteinbiosynthese der Zelle katalysieren
  —> Sind an Translation beteiligt
  —> können durch Signalproteine zum Endoplasmatischen Retikulum geleitet werden, wo sie ihr Translationsprodukt ins Lumen abgeben. Die Proteine werden später exozytiert oder in andere

Zellorganellen transportiert.
—> können frei im Zytosol die Proteinsynthese katalysieren und damit zelluläre Proteine zusammenbauen

- **Centriolen**: in Nähe des Zellkerns befindliches aus Mikrotubuli bestehendes Organell
  —> Transport und Stützaufgabe
  —> In Mitose und Meiose werden Zentriolen an Zellpole verlagert und sind Ausgangspunkt für die Bildung des Spindelapparats. Sind somit an Ordnung der Chromosomen und ihrem Transport beteiligt. Während der Interphase beteiligen sie sich an Organisation und physikalischen Stabilisierung der Zelle (verdoppelt sich in Interphase der Mitose)
- **Peroxisom:** —> Abbau von Radikalen, von Molekülen des Energiestoffwechsel
- **Aktinfilamente**: Mikrofilamente, bilden mit Mikrotubuli und Intermediärfilamente wichtigen Teil des Zytoskeletts einer Zelle —> Erhaltung der Zellgestalt, Zellteilung, Zellbeweglichkeit
- **Intermediäre Filamente:** werden aus verschiedenen Gruppen von Proteinen gebildet —> mechanische Stabilität, Signalübertragung der Zellen.

<u>Membrandynamik</u>

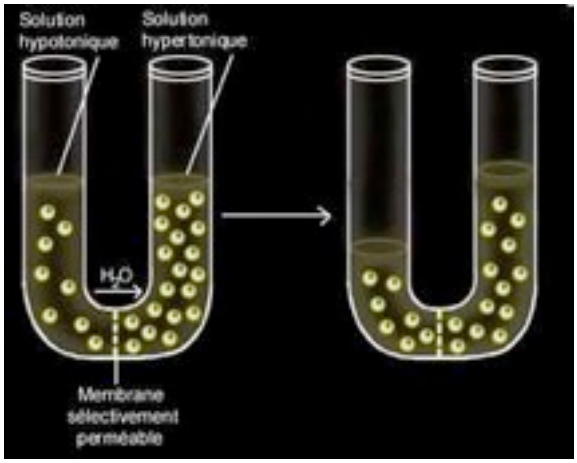
- **Laterale Diffusion** (Fluid- Mosaik- Model)
  - beschreibt Anordnung und Organisation biologischer Membranen
  - Doppellipidschicht ist eine zweidimensionale Lösung gerichteter Lipide und Proteine.
  - Laterale Diffusion: Lipide und integrale Membranproteine können lateral ungehindert in der Lipidmatrix diffundieren. (sofern dies nicht durch spezifische Wechselwirkung unterbunden wird)
  - Phospholipide können neben der lateralen Diffusion eine transversale Diffusion ausführen. Läuft aber viel langsamer ab.
  - Cholesterin erhöht Viskosität der Membran.
  - Höhere Temperatur, kurze Fettsäurereste und viele ungesättigte Bindungen erhöhen Grad der Fließfähigkeit.
- **Endo- und Exozytose**
  - Exozytose: Ausschleusen von Stoffen aus der Zelle.
  - Endozytose: Aufnahme von zellfremden Material in die Zelle durch Einstülpen und Abschnüren von Teilen der Zellmembran unter Entstehung von Vesikel
    —> nach Partikelgröße: Phagozytose: große feste Partikel wie Bakterien oder beschädigte Zellen; Pinozytose: flüßiger und der darin gelösten Substanzen.
- **Membrankontinuum**
  - ER- Membran geht direkt in Kernhülle des Zellkerns über —> Kernhülle und ER stellen morphologisches Kontinuum dar
  - Von ER gehen die Vesikel zum Golgi Apparat (Darin werden Proteine, die vom ER hergestellt wurden modifiziert und sortiert und an verschiedene Zellstrukturen wie Lysosomen, EP, Zellmembran verteilt)
  - Golgi Apparat modifiziert Proteine vom ER verpackt sie in Vesikel und gibt sie weiter an Plasmamembran
  - Durch Exozytose gelangen die Vesikel nach draußen

<u>Membranpermeabilität und Passiver Transport</u>

- Passiver Transport: Substanzen werden aufgrund chemischer und elektrischer Gradienten über Membran transportiert. Benötigt keine Energie.
- **Diffusion**
  —> Moleküle bewegen sich entlang des chemischen Gradienten zum Ort der geringeren Konzentration.
  - Gibt einfach Diffusion und erleichterte Diffusion
  - Ob Diffusion der Moleküle ungehindert möglich ist hängt von Permeabilität der Membran ab. —> „Einfache Diffusion“
  - Für fettlösliche Substanzen, Sauerstoff und Kohlendioxid ist Lipiddoppelschicht sehr durchlässig.

- Wasserlösliche und el. geladene Moleküle können nicht per Diffusion durch Membran. —> Dafür gibts spezielle transmembranäre Proteine (Carrier, Ionenkanäle, Poren) —> „erleichterte Diffusion“
- Carriermoleküle: tragen Moleküle durch Membran —> dauert länger als einfache Diffusion
- Ionenkanäle: ermöglichen el. geladenen Teilchen die Diffusion —> schneller —> Wird Ion durch Kanal geleitet fließt ein Strom. Können geöffnet oder geschlossen sein. Ob mehr oder weniger auf und zu abhängig von höhe Membranpotenzial oder Signalmoleküle

- **Osmose**
  —> Diffusion einer Flüssigkeit durch selektiv- permeable Membran entlang eines Konzentrationsgefälles der Lösungsmenge im Bezug auf die gelösten Teilchen —> erfolgt in Richtung der höheren Konzentration
  - kommt immer dann zu osmotisch bedingten Wasserfluss, wenn auf beiden Seiten der Membran unterschiedliche Menge an Molekülen gelöst ist.
  - Beim Verdünnen der Konzentration eines gelösten Teilchen verringert sich die freie Enthalpie (Gibbsche Energie) und vergrößert sich die Entrophie
  - es strömt reines Lösungsmittel von der linken Kammer in die rechte Kammer, um die dort vorhandene Lösung, die die Substanz A enthält, gemäß dem Konzentrationsgradienten zu verdünnen.
  - Da Lösungsmittel einströmt, nimmt folglich das Volumen der Flüssigkeit in der rechten Kammer zu, während es in der linken Kammer abnimmt.
  - Da die Flüssigkeitssäule auf der rechten Seite ansteigt, wird ein Druck p (hydrostatischer Druck) erzeugt, der auf die in der Mitte befindliche Membran drückt. Dieser Druck verursacht eine steigende Tendenz des Lösungsmittels, wieder zurück in die andere Kammer zu strömen und wirkt somit dem Verdünnungsbestreben entgegen. Herrscht ein Gleichgewicht, ist die Zahl der in beide Richtungen diffundierenden Lösungsmittelmoleküle gleich groß. Der vorherrschende hydrostatische Druck wird außerdem als osmotischer Druck bezeichnet —> abhängig von Temperatur und gelösten Substanz.



- **Konvektion:**
  - wird durch Strömung hervorgerufen, die Teilchen befördert.
  - Ursachen für transportierende Strömung können unterschiedliche Kräfte sein, wie z.B. Schwerkraft oder Kräfte die von Druck, Dichte, Temperatur oder Konzentrationsunterschieden herrühren.

<u>Plasmamembran- aktiver Transport</u>
- einen unter Energieverbrauch ablaufenden Transport gegen ein Konzentrationsgefälle
- notwendig um intrazelluläre Milieu aufrechtzuerhalten
- setzt vorhanden sein spezifischer Transportproteine voraus
- **Primär aktiver Transport:** wird direkt Energie durch ATP- Spaltung gewonnen —> Na+- K+- Pumpe/ Ionenpumpe
  - Na-K- Pumpe transportiert unter Verbrauch von ATP- Molekül drei Natriumionen nach außen und zwei Kaliumionen in dir Zelle
  - Ist somit an Aufrechterhalten des Membranpotenzials beteiligt.
  - ATP wird von dieser Pumpe selbst gespalten —> wird somit auch Natrium- Kalium- ATPase genannt

- **Sekundärer aktiver Transport:** wird indirekt Energie verbraucht —> chemische und/ oder elektrische Gradienten treiben Transport an (wie passiver Transport auch)
    - Transport erfolgt entlang eines Konzentrationsgradienten, der zuvor unter Verbrauch von Energie aufgebaut wird.
    - Der durch Na- K- Pumpe aufgebaute Konzentrationsgradient ermöglicht Transport von Glucose oder Amonisäuren in die Zelle entlang des Konzentrationsgradienten

Ionenkanäle
—> Kanal- Typen
nach Öffnungsmechanismen:
Gibt Spannungsgesteuerte, chemisch gesteuerte und mechanisch gesteuerte Ionenkanäle
nach Ionenspezifität:
spezifisch: Natriumkanäle, Kaliumkanäle, Calciumkanäle, Chloridkanäle
unspezifische: TRP- Kanäle für Kalium, Natrium und Calciumionen

- K+- Kanäle: spannungsaktiviert, CA2+- aktiviert
- Na+- Kanäle: spannungsaktiviert, epithelial
- Ca2+- Kanäle: spannungsaktiviert, speicherreguliert
- Nichtselektive Kationen- Kanäle: TRP- Kanäle, Transmitterrezeptoren
- Cl- - Kanäle: CFTR (ABC- Transporter)
- Organische Osmolyte- Kanäle: malariainfizierte Erythrozyten
- H+- Kanäle: Immunabwehr
- H2O- Kanäle: Aquaporine

—> Regulation der Ionenkanalaktivität
- Liganden: bei chemisch gesteuerten Kanälen öffnen diese sich, wenn sich ein bestimmtes Molekül (Ligand) an sie bindet.
- Membranspannung
- Oberflächenexpression:
  Insertion: innigen, nur unter Aufbringung mechanischer Kraft lösbaren Ansatz einer anatomischen Struktur in einem Gewebe
  Retrieval:
- Chemische Modifikation

Membrankapazität:
- **Membrankapazität** *,* Maß für elektrische Fassungsvermögen einer Membran, die als eine isolierende dünne Lipidschicht zwischen gut elektrisch leitenden Räumen einen *Kondensator* darstellt.
- Dabei spielen die elektrisch leitenden Lösungen (Cytoplasma innen, Extrazellulärflüssigkeit außen) die Rolle der Metallplatten, während die Membran selbst ein Dielektrikum darstellt, an dem sich Ladungen anlagern. Aufgrund des gleichförmigen Aufbaus der Lipiddoppelschichten der verschiedenen Zelltypen liegt die spezifische Membrankapazität immer bei etwa 1 µF/cm² (Kapazität pro Fläche).

Isolation?!?!

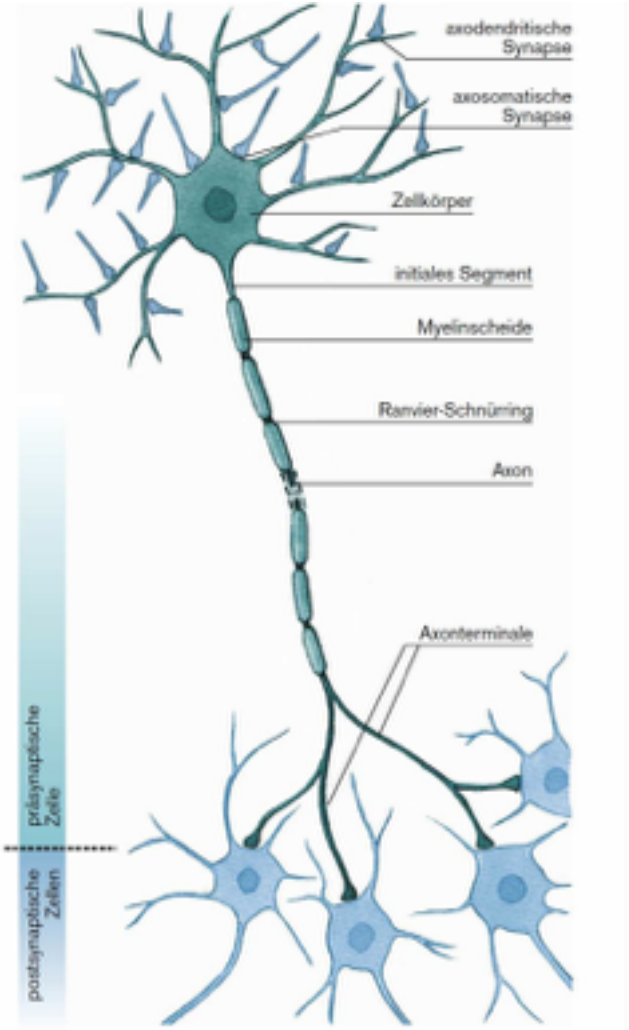
Ausbildung eines Membranpotentials
- Erzwungene Ungleichverteilung (durch Na- K- Pumpe) von Ionen zwischen Zellinneren und Zelläußeren hat zur Folge, dass sich über der Membran eine elektrische Spannung aufbaut obwohl die Nettoverteilung der positiven Ionen (Kationen) auf beiden Seiten in etwa gleich ist.
- Auch negativ geladene Ionen fast gleich verteilt.
- Lipidschicht der Zellmembran ist auf Grund ihres Aufbaus für Ionen nicht permeabel. Können sich zwar an der Membranoberfläche anlagern, kommen aber nicht durch unpolaren Bereiche der Membraninnenseite durch.

- Zellmembran besitzt äußerst geringe **Leitfähigkeit** (Permeabilität) für Ionen. Über nicht-permeablen Membran würde sich unter den gegebenen Bedingungen kein Potential aufbauen.
- Aufgrund hohen Konzentrationsunterschiedes der einzelnen Ionen besteht jedoch hoher Diffusionsdruck.
- Jede Zelle ist mit selektiven Leitfähigkeit für Kaliumionen ausgestattet. —> wird dadurch ermöglicht, dass Kanalproteine in der Membran eingebaut werden, die bevorzugt Kaliumionen passieren lassen.
- Diffusionsdruck von Kalium führt zu Übertritt aus Zytoplasma in den Außenraum. Mit jedem Kaliumion das ausströmt verliert Zelle eine positive Ladung.
- innere Membranfläche lädt sich negativ auf —> ensteht elektrisches Potential. Dieses wird umso größer je mehr Kaliumionen die Seiten wechseln.
- Gleichzeitig verringern sich auch das Konzentrationsgefälle über der Membran und damit der Diffusionsdruck von Kalium. Anreicherung an negativen Ladungen an Membraninnenfläche und verminderte Diffusionsdruck verhindern weiteren Ausstrom von Kalium.
- —> entsteht Gleichgewicht zwischen beiden Kräften.

Informationsleitung

Neurone können Informationen:
- von anderen Nerven empfangen
- verarbeiten
- und an andere Zellen weitergeben

Informationen können auf 2 Arten weitergegeben werden:
- elektrische Weiterleitung im Nerven entlang des Axons
- chemische Weiterleitung von einer Nervenzelle auf die andere über die Synapse



I. Physikalische Grundlagen:

Axon = Stromkabel
Strom= Bewegung der Ladungsträger

Damit Strom fließen kann benötigt man:
- Ionen (Na+, Cl-, K+,…)
  —> Positiv geladen: Kationen, Negativ geladen: Anionen
- Potential (Spannungsquelle)
  —> Membran semipermeabel (nur für bestimmte Ionen durchlässig)
  Außen mehr positive, innen mehr negative Ionen
  —> Entstehung eines el. Feldes

—> Membranpotential (in Ruhe ca. -60/ -70mV)
- Elektrochemisches Gleichgewichtspotential: -90mV elektrischer Gradient, 0mV chemischer Gradient
- Elektrochemische Triebkraft: μ= R*T*ln(C1/C2)+Zc*F*Em
  R= allg. Gaskonstante
  T= absolute Temperatur
  C1/C2= Konzentrationsgradient
  Zc= Ladung und Valenz
  F= Faraday Konstante
  Em= Membranspannung

II. Ruhepotential (Ruhemembranportential)

= wenn keine Wanderung statt findet, K+ geht nach außen (osmotischer Druck) wird aber von negativen Teilchen zurück gezogen (el. Kraft) —> 2 entgegenwirkende Kräfte!)
- bei Entstehung des RP sind 2 Kräfte von Nöten:
  - Konzentrationsgradient
  - el. Feld

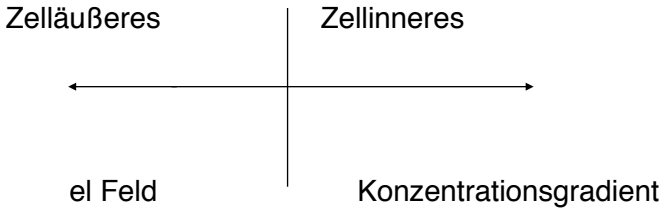
<u>Konzentrationsgradient</u>
- treibende Kraft um eine Diffusion wiederherzustellen/ osmotische Kraft
- Diffusion: physikalischer Vorgang, dessen Ziel eine gleichmäßige Verteilung von Teilchen im Raum ist.
- in der Membran: Transportsystem —> Natrium Kalium Pumpe
  Natrium aus der Zelle
  Kalium in die Zelle
  —> verbraucht Energie
  - Dadurch ungleiche Ionenverteilung —> Ionenkonzentrationdgradient
    —> Hohe Konzentration K+ im Zellinneren
    —> Hohe Konzentration von Na+ außerhalb der Zelle
  - Na+ will in Zelle

- K+ will nach außen

—> Konzentrationsgradient

Elektrisches Feld

- Zellmembran ist semipermeabel
- K+ kann durch Membran diffundieren gemäß Konzentrationsgefälle, Na+ nicht —> entsteht el Feld
  —> Innen in Zelle negativ, außen positiv
- K+ will gemäß ihrer Ladung wieder in die Zelle. Durch el. Feld kann K+ wieder nach innen.
  —> es wirken 2 entgegengesetzte Kräfte —> GG entsteht zwischen K+ Ein- und Ausstrom



Vorgang:

- Na+ - K+ Pumpe transportiert Na aus der Zelle, K in die Zelle —> entsteht Konzentrationsgefälle.
- K+ kann durch Membran diffundieren gemäß dem Konzentrationsgefälle —> entsteht el. Feld, innen negativ, außen positiv.
- Gemäß el. Feld kann K+ wieder nach innen.
- stellt sich irgendwann GG zwischen K+- Einstrom und Ausstrom ein.

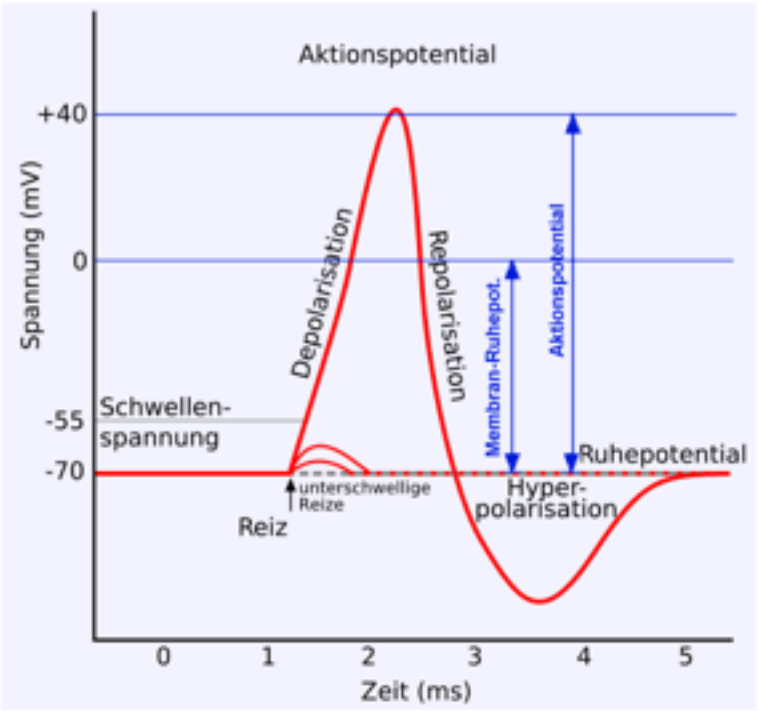
III. Aktionspotential

Übersicht:

- Ap= Änderung des Membranpotentials aufgrund einer Erzeugung von Weiterleitung von Signalen
  —> Änderung erfolgt über kurz andauernde Ionenströme über Zellmembran
- Für AP sind die Kanäle für Na+, K+ und CL- wichtig (Calcium für Übertragung an der Synapse)

5 Phasen:

1. Phase: Ruhemembranpotential —> liegt bei -70mV
2. Phase: Depolarisation
   = Veränderung des MP zur positiven Seite
   - Beim Überschreiten eines bestimmten Schwellenwertes öffnen sich die Ionenkanäle für Na+
   —> Natrium strömt aufgrund des hohen Konzentrationsunterschiedes und des el. Feldes in die Nervenzelle. (ist aber schnell wieder geschlossen —> nur kurz offen!)
3. Phase: Overshoot
   - Ladung kehren sich um, Zellinnere wird kurzzeitig positiv.
   - Langsames erliegen des Na+ Einstroms.
   - Zeitverzögert kommt es zum Kalium Ausstrom aufgrund des Konzentrationsgefälles und des el. feldes.
   - Höhepunkt: Ladungen an Zellmembran kehren sich um —> Zellinnere negativ!
4. Phase: Repolarisation
   - Kaliumausstrom, wenn Kaliumstrom überwiegt ist der Vorgang beendet.
   - Veränderung des MP in Richtung des Wertes RP (-70mV) —> Verschiebung zur



neg Seite

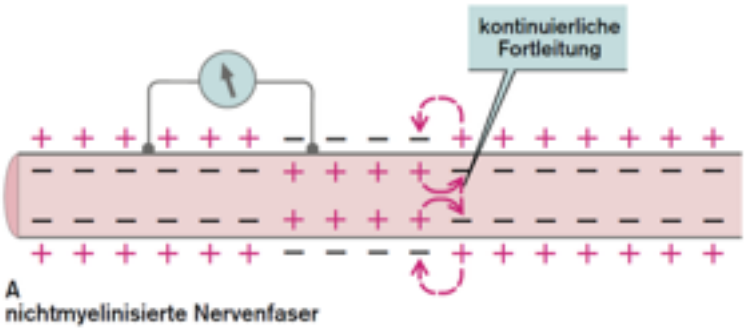
5. Phase: Hyperpolarisation /Nachpotential
   - Veränderung des MP unter den Wert des RP (ca. -80mV)
   - Durch Annäherung des MP an den Ruhezustand kommt auch K+- Ausstrom langsam zum erliegen. —> Kanäle nun alle geschlossen

—> Ap beendet
—> Na- K Pumpe stellt RP wieder her

Alles oder Nichts Gesetz
- Depolarisation muss gewissen Schwellenwert erreichen, damit sich Ionenkanäle öffnen —> sonst kein AP.
- Es gibt 3 Zustände der Ionenkanäle: erregt, nicht erregt, nicht erregbar.

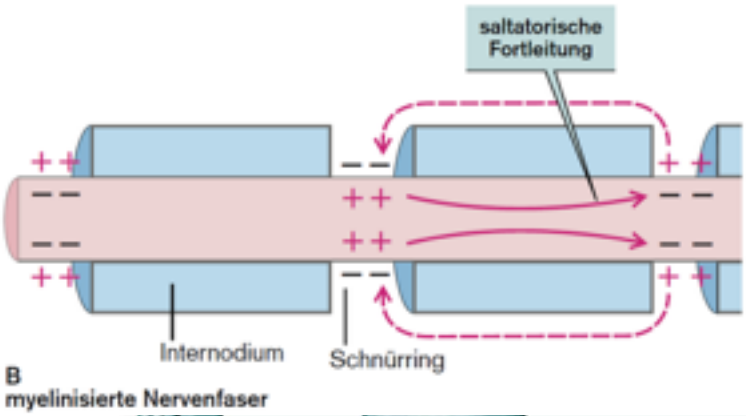
Refraktärzeit
- Während und kurz nach einem Ap können die Ionenkanäle nicht weiter aktiviert werden.
- absolute und relative Refraktärzeit:
  - Absolute: auch durch höchste Reize keine Auslösung von AP möglich. Dauer ca: 2ms
  - Relative: Ap kann durch höhere Reizung ausgelöst werden und schwächere Ausprägung haben. Dauer ca: 3ms
- Bedeutung: Begrenzung der Auslösbarkeit von APs und damit AP nicht zurück geht

Kontinuierliche Erregungsausbreitung
$\lambda = \sqrt{rm/ rl}$
$\tau = rm*cm$
rm= Membranwiderstand
cm= Kapazität



IV. Signalweiterleitung

2 Typen:
- kontinuierliche Erregungsleitung am marklosen Nerv
- Saltatorische Erregungsleitung am Nerven mit Myelinscheide

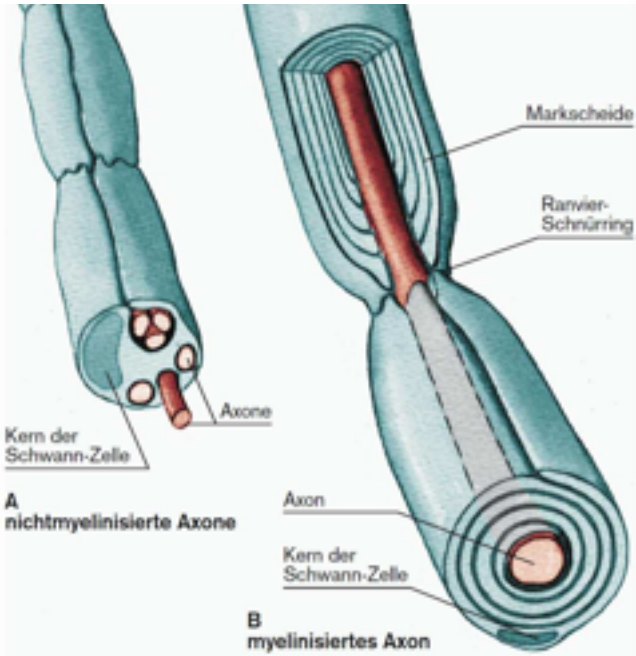


Kontinuierliche Erregungsleitung
- Es kommt zu Ionenströmen aufgrund Potentialdifferenz entlang der Membran.
- Kationen in Zelle strömen zum - Pol, Anionen außerhalb der Zelle zum + Pol —> el. Ströme
- kommt im benachbarten Membranbereich zu Depolarisation —> Natriumkanäle öffnen sich —> neues AP wird ausgelöst

—> kommt zu fortlaufenden Depolarisation des Axons!
—> Es muss an jeder Stelle des Axons Depolarisation statt finden!

Saltatorische Erregungsleitung
- Durch hohen Isolationswiderstand der Myelinscheide breitet sich el. Strom entlang der Myelinscheiden bis zum nächsten Ranvier- Schnürring aus.
- Dort kommt es zur Auffrischung des AP
- El. Feld leitet sich am Zytosol weiter bis zur nächsten Einschnürung.

—> schneller als beim marklosen Nerv
—> Getrennte Depolarisation ..> nur an Schnürringen —>



AP überbrückt die nach außen isolierende Myelinscheiden!

Erregungsübertragung

- Erregung am Ende der Nervenfaser angekommen —> Synaptisches Endknöpfchen
- Von dort Weiterleitung an nächste Nervenzelle oder dem Zielorgan.
- geschieht mittels Transmitter
- Ablauf:
    - Transmitter wird in präsynaptischen Vesikel (im Calmodulin) gespeichert.
    - AP erreicht präsynaptische Membran.
    - Öffnung Spannungsabhängige Calciumkanäle.
    - Calcium strömt in die Zelle.
    - Calcium dockt an Calmodulin und bildet Calcium2+- Calmodulinkomplex
    - Der Komplex aktiviert Calciumcalmodulin abhängige Proteinkinase 2.
    - Diese reguliert die Freisetzung der Vesikel.
    - Vesikel wandert dadurch an die Membran
    - Synapsin bindet Vesikel an Membran und sorgt für Transmitterfreisetzung —> Exozytose
    - Transmitter wandern in den synaptischen Spalt
    - transmitter verbinden sich mit Rezeptoren der postsynaptischen Membran
    - Öffnung der Ionenkanäle (postsynaptisch)
    - Ionenkanäle reagiert gezielt auf bestimmten Botenstoff (Ligandengesteuerte ionenkanal)
    - Öffnung der Ionenkanäle verändert Membranpotential entweder im Sinne einer
      —> Hemmung: inhibitorische Potenziale, dadurch öffnen sich Chlorid Kanäle
      —> Erregung: exzitatorische Potenziale, dadurch öffnen sich Kalium und Natrium Kanäle

—> inhibitorische und exhibitorische Potenziale an einer Nervenzelle werden verrechnet
—> Erreicht Potenzial den Schwellenwert: AP wird ausgelöst.

Elektrische Kopplung

- Kommunizierende Verbindung: **Gap junctions**
  —> unspezifische Poren des passiven Transmembrantransports.
  —> Erlauben Austausch von geladenen und ungeladenen Substanzen.
  —> erlaubt Durchtritt von chemischen oder elektrischen Signalen zwischen benachbarten Zellen —> Konnexon
- **Konnexone** sind porenbildende Proteinkomplexe, welche Plasmamembran zweier benachbarter Zellen eng miteinander verbinden.
- sie stellen Kanäle dar, die beide Plasmamembranen der benachbarten Zellen durchqueren, den Spalt zwischen den Zellen überbrücken und Cytoplasma der Zellen miteinander verbinden.

