

# 10. BIOLOGISCHE EFFECTEN VAN EMV

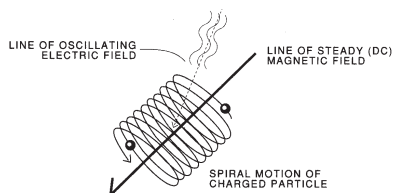
Het onderzoek naar de werking van EMV op biologische systemen is al tientallen jaren geleden begonnen. Dat deed men uit puur wetenschappelijke belangstelling. De problemen die er nu zijn met EHS bestonden ook al in het midden van de 20<sup>e</sup> eeuw. In 1979 schreef Adey (1969) artikelen waarin de fundamentele werking van EMV op zenuwstelsels, weefsels, cellen en subcellulaire processen van diverse organismen verklaard werd. Zijn opvattingen inspireerden vele andere wetenschappers vergelijkbare studies op te zetten, wat resulteerde in een stroom van publicaties over uiteenlopende EMV effecten. Meestal waren die studies gericht op het beschrijven van een specifiek effect op enig cellulair of moleculair gebeuren. Men leze er de verschillende hoofdstukken in het laatste BioInitiative Report maar op na.

Geen van die studies maakte echter duidelijk, hoe het verschijnsel van overgevoeligheid voor EMV feitelijk kon worden verklaard, of wat tegen de kwaal kan worden ondernomen. Dat komt niet door een tekort aan wetenschappelijke competenties van die onderzoekers, maar door de complexiteit van het neuronale systeem waarin de problemen zich openbaren. Zoals in hoofdstuk 11 wordt uitgelegd, is er de veronderstelling dat EHS een uiting is van het (dys)functioneren van ons stresssysteem. Ergens in het centrale zenuwstelsel wordt een kritisch proces door bepaalde EMV types verstoord, waardoor mensen zich ziek gaan voelen. Mogelijk heeft een lek in het bloed-brein-barrière daar iets mee te maken, hoewel er talrijke andere verstoringen denkbaar zijn.

In dit hoofdstuk wordt de aandacht gericht op enkele fundamentele processen rond complexe verschijnselen, die kunnen helpen het EHS probleem te begrijpen. Op termijn zullen met de nieuwe inzichten hopelijk experimenten worden bedacht die ons de oorzaak van EHS vertellen.

## 10.1. Translocatie van geladen moleculen

Van belang is onder meer het cyclotron resonantiemodel van Liboff, waarbij geladen moleculen in het aardmagnetisch veld onder invloed van laagfrequente wisselvelden spiraalsgewijs van hun plaats gehaald worden. Dat zou leiden tot afwijkingen in de normale celfuncties. Zoals toegelicht in figuur 10-1 is de aanwezigheid van het aardmagnetisch veld essentieel en ook de hoek die het kunstmatige veld maakt met de richting van het aardmagnetisch veld. De juistheid van deze opvatting blijkt uit het feit dat ruimtevaarders in hun capsule problemen krijgen wanneer niet wordt voorzien in een kunstmatig vast magnetisch veld. Wat er dan mis gaat is ons niet bekend.



**Figuur 10-1.** Het cyclotron resonantiemodel van Liboff. Bij een samenspel van magnetische wisselvelden en het aardmagnetisch veld komen geladen moleculen in beweging en migreren naar plaatsen waar ze een normale werking tegengaan. Daardoor worden celfuncties verstoord.  
*Bron: Liboff 2010.*

De optimale frequentie om dat verschijnsel te initiëren is extreem laag: enkele honderden Hertz. Kleine metaalionen en grote geladen eiwitten kunnen gemakkelijker een interactie aangaan met de voor hen geschikte substraten als ionenpompen en

## 10. Biologische effecten van EMV

receptoreiwitten. Anderzijds worden ze van hun plaats getrokken waardoor hun normale functie verstoord kan worden.

### 10.2. Thermische versus non-thermische effecten

Mensen kunnen soms ziek worden wanneer ze in de omgeving van zendmasten voor mobiele telefonie wonen, binnen een afstand van 300-500 m. De vraag is hoe dat kan, want de veldsterkte is in de meeste huizen zo laag (doorgaans lager dan 6 V/m), dat van opwarming en vervolgerschijnselen geen sprake kan zijn. Toch is het zo dat radiofrequente velden EEG veranderingen in de hersenen te zien kunnen geven, wat er op duidt dat er in elk geval energie uit het veld wordt gebonden.

Naar we weten van het effect van een magnetron wordt de energie, wisselvelden met een frequentie van 2450 MHz, gevangen door watermoleculen in het voedsel; dat zijn dipolen die met dezelfde frequentie in resonantie komen en de materie daaromheen opwarmen. 'Het eten wordt warm', zagezegd. Ook bij radiofrequente velden zal sprake zijn van enige opwarming, hoe gering ook. We weten uit het overzicht van Henry Lai (1994) dat sommige mensen een rondzweepende radarstraal kunnen 'horen' als een soort klinkgeluid. Men heeft kunnen bepalen dat dit geluid het gevolg is van een thermo-elastische uitzetting van het vocht in de cochlea van het gehoororgaan. Dat komt doordat de radarbundel een opwarmend effect heeft van een miljoenste graad Celsius. Dat wordt hoorbaar.

De publieke discussie richt zich op de vraag, waarom zo veel mensen last hebben van laag- of hoogfrequente EMV, terwijl de Richtlijnen van de ICNIRP aangeven, dat er geen sprake kan zijn van schadelijke effecten, zolang men onder de gestelde limieten blijft. En die limieten liggen buitengewoon hoog, meerdere orden van grootte hoger dan we ze op basis van ziektegevoel zouden willen zien. Daarom moet er iets ontbreken aan de biologische factoren die bekeken zijn toen die limieten werden opgesteld. Er kan een factor in het spel zijn, die de ICNIRP niet kent, niet wil weten, of niet kan meten. Dat laatste is het waarschijnlijkst. Aangezien de richtlijnen zijn opgesteld met als achtergrond het opwarmend effect van hoogfrequente velden op weefsel (het *thermische effect*), blijft er een breed gebied aan biologische effecten over die daarom met *non-thermische* effecten worden aangeduid.

ICNIRP sluit niet uit dat non-thermische effecten kunnen bestaan. Het gaat er alleen om de juiste experimenten uit te voeren om het bestaan ervan ondubbelzinnig aan te tonen. In het rapport *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)* uit 1998 wordt dat uitgelegd en in de recentere toelichting daarop (ICNIRP statement) wordt dat nog eens bevestigd. Men vindt de huidige wetenschappelijke gegevens zo complex en verwarrend en vindt de relevantie voor de menselijke gezondheid zo onzeker, dat daar geen nieuwe richtlijnen voor non-thermische effecten op zijn te baseren. Let wel, men zegt niet dat het niet kan. Het wachten is nu dus op scherp gedefinieerde biologische probleemstellingen die meetbare effecten van EMV op complexe systemen laat zien. En dat wordt moeilijk, als we bedenken dat de typische EHS verschijnselen een samenspel zijn van allerlei factoren die vanuit het zenuwstelsel worden aangestuurd: slaap, concentratievermogen, stemmingsveranderingen enzovoort. Ook endocriene en immunologische regelfuncties spelen een rol. Dat is een stuk complexer dan het volgen van een opwarmingsproces, eenvoudigweg door er een thermometer in te steken.

## 10. Biologische effecten van EMV

In 2010 is er onder leiding van Giuliani en Soffriti in Italië een speciaal symposium gewijd aan het vraagstuk van non-thermische EMV effecten. David Gee (2011) heeft daarover een samenvatting geschreven met verhelderende standpunten over onze lacunes in kennis. Men kan onderscheid maken tussen 'thermische', 'non-thermische' en 'a-thermische' effecten. Bij de non-thermische effecten gaat het om de stimulering van biologische processen bij een temperatuurverhoging die ligt (ver) onder die welke door ICNIRP als acceptabel wordt beschouwd. Zo zijn er op cel- en subcellulair niveau processen die al door 0,001 graad Celsius worden beïnvloed. Op moleculair niveau is door de Rus Zhadin (2001) aangetoond dat de geleidbaarheid van aminozuren in oplossing door nog geringere temperatuurverhoging kan worden beïnvloed, mits de juiste frequentie wordt toegepast. Effectieve veldsterkten liggen daarbij in de orde van nanoTesla's.

### **Non-thermisch is normaal voor complexe fysiologische processen**

In een recente beschouwing leggen Panagopoulos en medeauteurs (2013b) het verschil uit tussen natuurlijke en door de mens gemaakte EMV. Terwijl de natuurlijke velden in feite wat chaotisch zijn en in alle richtingen uitstralen, zijn de kunstmatige velden juist sterk geordend: men noemt ze *coherent*. De golven gaan van een bron uit en gaan op een vast punt in de ruimte steeds in dezelfde richting. Ze kunnen een netto verplaatsing van partikels als geladen moleculen en ionen bewerkstelligen, wanneer die partikels 'geraakt' worden door een veld van de juiste sterkte, richting en polarisatiehoek. De partikels hebben maar heel weinig energie nodig om in een staat van resonantie of oscillatie te komen, veel minder energie dan overvloedig beschikbaar is in de velden om ons heen. Er kan geen sprake van zijn, zo rekent men voor, dat er door die velden weefsel wordt opgewarmd. De effecten zijn dus in wezen puur non-thermisch.

In de literatuur zijn honderden effecten van EMV op cellen en weefsels beschreven. De vraag is daarom naar welk cellulair of moleculair proces we eigenlijk moeten kijken om te weten waar de absorptie van energie uit dat veld plaatsvindt. Nu zijn er talrijke processen te vinden die op de een of andere manier gebruik maken van geladen moleculen en ionen. Veel van de effecten kunnen uitgelegd worden als een gevolg van een vergrote doorlaatbaarheid van de celmembraan voor de  $Ca^{++}$ ,  $Na^{+}$  en  $K^{+}$  ionen, bijvoorbeeld bij de *voltage-gated ion channels* in iedere celmembraan. Een argument dat daarbij speelt is dat elk proces dat men bestudeert onderhevig lijkt te zijn aan specifieke veldeigenschappen, zoals het frequentie 'venster', de veldsterkte, het polarisatievlak en de signaalcontinuïteit. Zo is gevonden dat alleen frequenties binnen zekere boven- en ondergrenzen biologisch effect kunnen hebben, dat gepulste velden effectiever zijn dan ongepulste, en dat - afhankelijk van de oriëntatie van het betreffende celonderdeel - alleen velden in een bepaald trillingsvlak effectief zijn. Weefsel als geheel is meestal zeer transparant voor magnetische wisselvelden van lagere frequenties, maar specifieke celonderdelen kunnen onderling sterk verschillen in het vermogen energie uit het veld te benutten voor vergroting van de mobiliteit.

Deze beschouwingen mogen duidelijk maken dat SAR waarden, hoewel onmisbaar om de opwarming van weefsel te volgen, ongeschikt zijn om de moleculaire prestaties van celonderdelen te bewaken. Want het gaat helemaal niet om opwarming, maar om migratie van vrije ionen in de matrix van cytoplasma.

Om mensen tegen ongewenste effecten van velden te beschermen zou er een maat gevonden moeten worden die geënt is op cellulaire reacties die kunnen leiden tot

## 10. Biologische effecten van EMV

kardinale verstoringen van de celfysiologie, waardoor het grotere organisme - zoals de mens - zich ziek gaat voelen. We zijn momenteel nog heel ver af van een dergelijke moleculaire monitoring, omdat we nog niet eens weten waar we binnen een cel op moeten letten, waar het afwijkingen van normale processen betreft. Daarom is er nog veel fundamenteel biologische werk te verzetten voordat een sleutelproces kan worden opgewerkt tot een bruikbaar instrument om de veldeffecten te kwantificeren. Zoals elders in dit boek wordt uitgelegd, wordt naar die vraag maar heel mondjesmaat gekeken; fondsen voor dergelijk wetenschappelijk onderzoek zijn schaars.

Terwijl de SAR waarde totaal ongeschikt is om de mogelijke gevaren voor de mens te kwantificeren, is er momenteel geen andere maat om het menselijk welzijn aan af te meten. We zijn daarvoor afhankelijk van mondelinge rapportages van mensen met EHS problemen. Dat is geen erg betrouwbare methode, maar er is niets beters. Ook de huisarts gaat normaal gesproken uit van wat de patiënt hem vertelt; dat is een goede basis voor veel medicatie. Voor EHS zal het hopelijk op het spreekuur van de arts dezelfde kant op gaan.

### 10.3. Genotoxische effecten van EMV

Er zijn veel studies gewijd aan de effecten van EMV op het DNA molecuul. DNA komt voor in alle cellen en is drager van de erfelijke eigenschappen in alle levende wezens. Het is een zeer groot gespiraliseerd molecuul dat in uitgerekte staat ongeveer 2 meter lang is. Het DNA molecuul bevat de chemische codes op basis waarvan alle stoffen in de cel zijn samengesteld. Eiwitten voor celstructuren, enzymen en nog veel meer celproducten worden gesynthetiseerd nadat RNA de genetische code heeft afgelezen van het DNA. Als het DNA door wat voor oorzaak ook kapot gaat, of van vorm verandert, is de cel ten dode opgeschreven. Maar in de praktijk worden dan onmiddellijk reparatiemechanismen opgestart die het DNA weer herstellen. Dat is een natuurlijk proces; volgens Pacher (2007) gaat DNA altijd 'spontaan' een beetje stuk, onder andere door kosmische straling, of door toxische verbindingen die vrijkomen wanneer de cel veel arbeid moet verrichten. Bij metabolisch zeer actieve cellen komen er uit de mitochondriën 'vrije radicalen' vrij die een verwoestende uitwerking hebben op DNA en andere complexe verbindingen. Onder invloed van oxiderende stoffen als waterstofperoxide ontstaat uit stikstof monooxyde (NO) het reactieve peroxynitriet (ONOO<sup>-</sup>). Door de lange halfwaardetijd van dit molecuul kan het veel schade aanrichten aan o.a. enzymen, waaronder die welke verantwoordelijk zijn voor DNA reparatie (zie onder). Deze en andere vrije radicalen worden doorgaans weer onder controle gehouden door 'anti-oxidanten': verbindingen als het hormoon melatonine. Ook in groenten komen die anti-oxidanten voor. Men gaat er van uit dat ze een beschermende werking hebben en de vorming van kanker kunnen voorkomen of vertragen. Veel groene groenten eten, is het advies van kankerdeskundigen. Bij celdelingen moet het DNA zich vermenigvuldigen om de erfelijke eigenschappen over de dochtercellen te kunnen verdelen. Die deling en de timing daarvan staan onder strikte controle van cellulaire regelmechanismen. Waar DNA beschadigd wordt, waar reparatiemechanismen hun werk niet goed doen, of waar het delingsritme door andere oorzaken wordt verstoord kan DNA onbelemmerd gaan vermenigvuldigen. Celdelingen worden dan onbeheersbaar. Kankervorming treedt op en natuurlijke remmingen zijn er niet meer.

Het is onduidelijk of EMV kankervorming initiëren, dan wel kankergroei bevorderen;

## 10. Biologische effecten van EMV

waar precies het aangrijppingspunt ligt is onbekend. Of ze rechtstreeks aangrijpen op de DNA integriteit, de genactiveringen, de vertaalslagen naar eiwitten door RNA, de reparatiemechanismen voor DNA schade, of andere mechanismen die ingrijpen in het programma van celdelingen is niet bekend. Niet alle cel- of weefseltypen zijn even gevoelig voor kanker- of tumorvorming. In het bijzonder zijn bloedvormende weefsels in het beenmerg gemakkelijke kandidaten voor EMV schade, omdat daar veel celdelingen en DNA replicatie bij de bloedcelvorming komt kijken. Bij de ziekte kinderleukemie is de oorzaak vaak een blootstelling van kinderen aan extreem laagfrequente velden van hoogspanningsleidingen.

Verder zijn de gliacellen in de hersenen gevoelig voor EMV; die cellen hebben een heel sterk metabolisme omdat ze de zenuwcellen van energie en bouwstoffen moeten voorzien. Ook delen ze sterk. Daardoor worden in die cellen veel vrije radicalen gevormd die kankervorming in de hand kunnen werken. *Glioma's* zijn de meest voorkomende tumorvorm in de hersenen bij blootstelling aan hoogfrequente velden van mobieltjes, zoals het onderzoek van Hardell in Zweden aannemelijk heeft gemaakt.

Zenuwcellen delen zich heel zelden en kennen verder ook geen grote metabolische activiteit. Daardoor vertonen die weinig tumorvorming. Uitzonderingen zijn de *neuroma's* van de gehoorzenuw. Die lijken eveneens door hoogfrequente velden geactiveerd te worden, maar zijn verder niet kwaadaardig. Men kan er alleen op lange termijn doof van worden.

Dat EMV niet alleen in het levende organisme een DNA-beschadigend effect hebben, blijkt uit het REFLEX project dat in de jaren 2000-2004 werd geëntameerd door 12 onderzoeksteams uit 7 landen en dat gesponsord werd door de Europese Unie. Vanuit verschillende disciplines werden de invloeden van hoog- en laagfrequente EMV onder leiding van professor Franz Adlkofer (2005) op cellen in weefselkweken gevolgd. Men zag bij bestraling van de cellen dat het DNA werd beschadigd. Bij de opzuivering van DNA na beëindiging van het experiment wordt gebruik gemaakt van chromatografische 'dunne-laag' technieken. Door het aanbrengen van een elektrische gelijkstroom in één richting worden de verschillende componenten in een mengsel uit elkaar getrokken. Bij zuiver DNA uit onbehandelde cellen bestaat DNA uit een enkele component (figuur 10-2, links). Na behandeling van cellen met röntgenstraling, echter, gaat DNA deels kapot en ontstaat er een mengsel van DNA fragmenten, die in deze proefopzet naar rechts toe een soort van 'staart' vormen. Bestraling van cellen met hoogfrequente radiofrequente velden geeft precies hetzelfde effect. Dat is een zichtbare aanwijzing voor het genotoxische effect van EMV.



**Figuur 10-2.** Links een chromatografisch opgezuiverd monster van onbehandelde cellen *in vitro*. Midden: 'staartvorming' van DNA brokstukken ontstaan door röntgenstraling; rechts: 'staartvorming' t.g.v. schade door hoogfrequente EMV. Bron: Adlkofer 2005.

Dat is een ernstige constatering, koren op de molen van degenen die wijzen op de gevaarlijke aspecten van EMV blootstelling. Maar anderzijds wijzen critici er op dat het geen kunst is om cellen te beschadigen die zonder de bescherming van een levend organisme aan pathologische factoren worden blootgesteld. Voor een deel lijkt die kritiek terecht, maar waar het om gaat is dat hoog- en laagfrequente velden op zichzelf in staat zijn schade in de cel aan te richten, die direct of indirect gerelateerd zijn aan DNA schade. Hoe erg dat feitelijk is voor de bescherming van de mens zal moeten blijken uit

## 10. Biologische effecten van EMV

meer gericht onderzoek. Er is ook wel gezien dat in de huid van muizen nieuwe eiwitten gaan ontstaan, wanneer die aan zekere velden wordt blootgesteld. Maar alweer is de fysiologisch relevantie van die proeven niet zonder meer te duiden.

### 10.4. Gerapporteerde celeffecten

Tabel 10-1 geeft een opsomming van cellulaire processen die mogelijk een rol spelen bij de vertaling van een EMV prikkel naar een lichamelijke reactie.

**Tabel 10-1. Waargenomen effecten van elektromagnetische velden in de celbiologie (in willekeurige volgorde)**

- DNA schade en breuken: genotoxische effecten.
- Genactivering: synthese heatshock en andere eiwitten.
- Activering van celstress reacties.
- Reductie van celbeweeglijkheid.
- Beïnvloeding van ionenpompen.
- Verandering van eiwitsynthese o.a. van *heat shock protein* (HSP70).
- 3-D structuur van eiwitten (chaperones - ondersteuning).
- Eiwit-eiwit interacties.
- Enzymveranderingen: Na, K- ATPase en cytochroom oxidase.
- Stop van tubuline synthese voor microtubuli.
- Mitochondriale functies (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> vorming).
- Vorming van vrije radicalen (ROS, NO<sub>x</sub>).
- Radical pair vorming.
- Verlies van beschermende functie van anti-oxidanten.
- Melatonine verstoring.
- Ontregeling cryptochroom functie in retina van vogels en schildpadden.
- Ruimtelijke verplaatsing van geladen moleculen (cyclotron resonantie).
- Uitvallen reparatiemechanismen voor DNA.
- Kernfragmentatie, vorming van gedegeneerde micro-kernen
- Ontregeling van celdelingen.

### 10.5. Plaats en werking van het EMV detectiemechanisme

Gezien de directheid van sommige EMV effecten worden in de literatuur meerdere orgaansystemen kandidaat gesteld als primair aangrijpingspunt. Tabel 10-2 geeft er een overzicht van.

**Tabel 10-2. Biologische kandidaat-systemen die mogelijk als EMV receptor fungeren.**

- De huid als drukreceptor I: EMV kunnen configuratieveranderingen in de epidermiscellen geven ten gevolge waarvan drukverschillen optreden die geregistreerd worden.
- Oppervlakte beharing: elektrische wisselvelden brengen haren in beweging waardoor de tormogene cellen aan de basis van de haren geprikkeld worden en zenuwimpulsen genereren.
- Magnetietkristallen in hersenen en andere weefsels: de magnetische kristallen kunnen bij laagfrequente magnetische velden in trilling komen en hun energie doorgeven aan receptieve moleculen.
- Retina in de ogen: zowel lichtflikkeringen als EMV beïnvloeden de optische impulsen in de visuele schors van de hersenen.
- Cryptochroomcellen in retina: kompasoriëntatie.
- Geladen en elektrogevoelige organische moleculen in de epifyse: spelen een rol bij magnetische oriëntatie bij trekvogels.
- Haarcellen in de cochlea van de gehoorgang: kunnen door elektrische wisselvelden in trilling gebracht worden en aanleiding geven tot oorsuizingen en afgeleide effecten.

## 10. Biologische effecten van EMV

Als we precies zouden weten op welke manier de energie van EMV aan het weefsel wordt afgegeven zouden we ook kunnen bedenken hoe schadelijke effecten worden veroorzaakt en hoe die kunnen worden beperkt. Echter, ondanks de vele hypothesen die er zijn is er nog geen afdoende verklaring voor de verschijnselen. Het maakt ook verschil of we het hebben over hoogfrequente (HF) of laagfrequente (LF) velden. Eerstgenoemde zouden kunnen werken via opwarming van weefsel, al is de energie van de schadelijke velden soms zo laag dat van opwarming geen sprake kan zijn. De laagfrequente velden werken doordat ze in weefsel kringstromen induceren. Deze zullen lokaal leiden tot potentiaalveranderingen ten gevolge waarvan celactiviteiten zouden worden gewijzigd.

Voor veel effecten geldt dat ze alleen voorkomen tussen zekere frequentiegrenzen (*frequentievensters*), wat samenhangt met interacties van de EMV golven met cyclische, oscillerende en resonantieprocessen die in dynamische celprocessen voorkomen. Die interferenties kunnen bij ver uiteenlopende frequenties plaatsvinden, van extreem laagfrequent tot radio- en hoogfrequente velden. Zo verlopen interacties met membraanen en enzymoscillaties in de orde van enkele tientallen tot enkele duizenden Hertz. Maar Martin Blank en Reba Goodman leggen uit dat zaken, waarbij elektronenstromen in de cel worden beïnvloed, verlopen in de MHz- tot GHz frequenties.

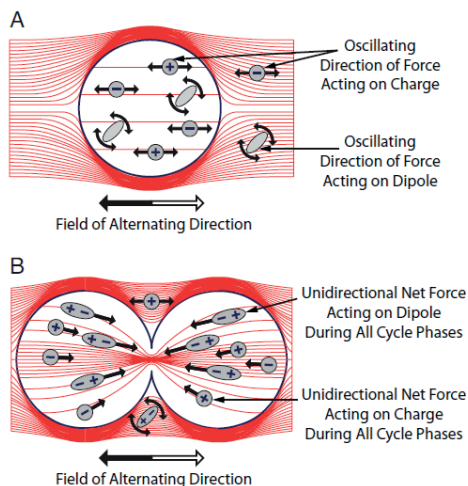
### 10.6. Non-lineariteit van EMV effecten

Tegenwoordig wordt het ideel losgelaten dat er een kwantitatief verband moet bestaan - een *lineaire dosis-effect relatie* - tussen oorzaak en gevolg. We realiseren ons nu dat de meeste processen in biologische systemen eenmalig zijn en niet-linear. Twee voorbeelden voor een begripsbepaling. 1. De bevruchting van een eicel met een spermacel is een eenmalig gebeuren en een vrouwtje wordt al of niet zwanger: een tussenweg is er niet. 2. Als een grondwerker in een uur tijd een greppel kan graven kunnen tien grondwerkers dat niet in een tiende van de tijd doen. Zo zijn ook vele biologische processen het resultaat van meerdere interacties tussen cellulaire functies. Zenuwimpulsen, hormonale stimulering en immunologische reacties zijn bij veel van de complexe lichamelijke reacties betrokken. Experimenten worden veelal uitgevoerd onder veldsterkten die in feite orden van grootte te hoog gekozen zijn. Men krijgt dan irrelevante informatie. Bij geringere veldsterkten kunnen soms wel effecten verkregen worden, die beter aansluiten bij wat we van een levend organisme mogen verwachten. In vitro experimenten geven meestal aan wat een cel of weefsel in geïsoleerde toestand kan presteren; of het EMV effect ook in een levend organisme zou optreden is soms de vraag. De beschermende werking van omliggende weefsels, reparatie- en terugkoppelingsmechanismen zijn ongetwijfeld van invloed op het effect dat we uiteindelijk waarnemen.

### 10.7. Ontregeling van celdelingen

Bestraling van cellen in weefselkweek leidt tot abnormaliteiten in het delingspatroon van de cellen. Welk celbiologisch proces wordt gestoord is niet duidelijk. Kirson (2007) veronderstelt dat er iets mis gaat met de verdeling en oriëntatie van geladen moleculen in de zone waar de deling naar dochtercellen zal plaatsvinden, zoals figuur 10-3 illustreert. In de laagfrequente wisselvelden rangschikken de moleculen zich en kunnen hun natuurlijke rol niet meer vervullen. De spoeldraden kunnen niet verder groeien waardoor de chromosomen op hun plaats blijven en zich niet over de nieuwe dochtercellen kunnen verdelen. De celdeling blijft halverwege steken en de cellen gaan later te gronde.

## 10. Biologische effecten van EMV



**Figuur 10-3.** In figuur A is een cel in rust afgebeeld. Door de hoge weerstand van de celmembraan is het veld binnen de cel uniform en geladen moleculen zullen alleen met de wisselingen in het elektrische veld oscilleren.

De membraan van een cel in deling (B) is echter plaatselijk permeabel. Er heerst binnen de cel een sterk veld waardoor geladen moleculen (feitelijk als dipolen op te vatten) naar de insnoering worden getrokken. Ze kunnen nu niet meer normaal gebruikt worden voor celfuncties als de vorming van tubuline voor de lengtegroei van spoeldraden die bij de scheiding van chromosomen essentieel zijn.

Bron: Kirson et al. 2007 (met toestemming).

Het lijkt er dus op dat het celdelingsproces één van de handvatten is waarmee wisselvelden hun werking uitoefenen. Deze speculatie heeft twee facetten:

1. Verstoringen van celdeling zullen tijd vergen en zullen zich hoofdzakelijk beperken tot delende weefsels en dito cellen. Inderdaad zijn er rapporten van mensen die stellen dat EMV bestraling sterk uitgestelde effecten kan hebben, van uren tot dagen; dat kan hiermee te maken hebben.
2. Alleen snel delende weefsels zullen kandidaat zijn voor effecten door kortdurende EMV blootstelling. Zenuwcellen lijken daarvoor niet geschikt. Bloedvormende weefsels, gliacellen en endotheelcellen lijken geschiktere kandidaten, voor zover het effecten in het hoofd betreft.

Dat roept de meer algemene vraag op of ook de gepulste velden van alle zenders voor mobiele telefonie misschien na demodulatie als laagfrequente velden in het lichaam hun werk doen. De waarschijnlijkheid van demodulatie van de velden naar de puls frequentie is eerder door mensen als Silny (2008) voorgesteld. Het is een feit dat er door de meeste elektrogevoelige personen weinig of geen verschil wordt gerapporteerd tussen effecten van laag- en hoogfrequente velden. Dat zou verklaren waarom de gezondheidseffecten bij blootstelling aan velden van zendmasten en mobieltjes of andere huishoudelijke apparatuur steeds ongeveer hetzelfde zijn. De zendervelden worden in het lichaam waarschijnlijk tot laagfrequente velden gedemoduleerd.

### 10.8. Een functie voor het oog?

Er is een reële mogelijkheid dat onze ogen betrokken zijn bij de detectie van EMV die ons ziek maken. Twee ontwikkelingen geven daartoe aanleiding:

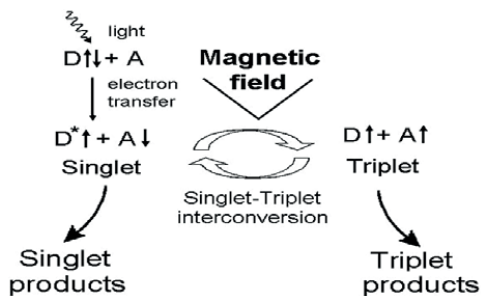
1. Blootstelling aan laagfrequente velden heeft een modulerende invloed op de signalen die de ogen - via de optische zenuw - naar de hersenen versturen. Deze kan men bij proefdieren elektrofyysiologisch afleiden. De frequentie van het magnetische wisselveld waaraan dieren waren blootgesteld kon onveranderd in de registraties van de optische zenuw worden teruggevonden. Blijkbaar beschikt het oog over een detectiemogelijkheid waarmee magnetische wisselvelden kunnen worden waargenomen. Dat is niet



## 10. Biologische effecten van EMV

onverwacht omdat Thorsten Ritz (2008) al eerder had uitgevonden dat de ogen een rol spelen bij de oriëntatie ten opzichte van de richting van het aardmagnetische veld. In heel elegante proeven met het roodborstje hebben de Wiltshko's vastgesteld dat hoogfrequente wisselvelden onder zekere omstandigheden een oriëntatie verstrend effect hebben.

2. Dit detectievermogen van het oog voor magneetvelden heeft een chemische achtergrond. Het oog -en met name het *rechter* oog- heeft de biochemische uitrusting om als magnetodetector te functioneren. Sommige cellen in de retina bevatten het eiwitachtige 'cryptochroom', een stof die gevoelig is voor (blauw) licht en magneetvelden (figuur 10-4). Onder invloed van het aardmagnetisme komt er een aggregatievorm tot stand ('tripletten') die met moleculaire zuurstof een reactie aangaan. Dat is een evenwichtsreactie. Veranderingen in het omringende magnetische veld verschuiven de dissociatie naar een enkelvoudige of naar een drievoudige vorm. Dat geeft het dier positionele informatie en weet het zijn richting ten opzichte van het aardmagnetische veld. Hoe dat kan is nog de vraag. Mogelijk hebben de beide molecuulvormen een eigen polariteit en een eigen associatie met de celmembraan, waardoor ruimtelijke veranderingen in veldrichting een specifiek effect hebben op enig detectiesysteem (mogelijk ion-kanalen).



**Figuur 10-4.** Schema van een 'radical pair mechanism': een donormolecuul absorbeert een electron en een 'singlet pair' wordt gevormd. Onder invloed van een magneetveld en blauw licht ontstaat er een triplet pair. De conversiegraad hangt af van de oriëntatie van de singlet paar in het magneetveld. Triplets zijn chemisch verschillend en spelen een rol in magnetoperceptie. Ze leven langer en zijn ook reactiever, zodat ze de cel schade kunnen toebrengen bij contact met magnetische wisselvelden van heel specifieke radiofrequente velden (Bron: Ritz 2000).

Kunstmatige magneetvelden kunnen dat proces verstoren door de evenwichtsreactie te beïnvloeden. Dat heeft consequenties voor de zintuigfysiologische signalen uit het oog en leidt tot veranderingen in de bovengenoemde actiepotentialen in de optische zenuw. De precieze omzetting van cryptochrome informatie naar zenuwactiviteit is nog onbekend.

### 10.9. Cryptochromen als EMV detector?

Er zijn onderzoekers die veronderstellen dat het eiwit *cryptochroom* wel eens een rol zou kunnen spelen in de perceptie van magnetische wisselvelden. Dit eiwit komt zowel in planten als in dieren voor - inclusief de mens - en is verantwoordelijk voor het waarnemen van vooral blauw licht. Het zit vooral in het netvlies van het oog, maar komt ook elders in het lichaam voor. Al eerder was gebleken dat de lichtperceptie en de zenuwsignalen die vanuit het oog naar de hersenen reizen gemoduleerd worden door externe magnetische velden. De opvatting is daarom dat het vermogen van een dier om een richting te bepalen berust op de richtingsgevoeligheid van cryptochroom ten opzichte van de richting van het aardmagnetische veld.

Hoewel de mens zijn noord/zuid oriëntatievermogen heeft verloren is het eiwit er nog

## 10. Biologische effecten van EMV

wel (Foley e.a. 2011). Dat het een functie heeft bij het waarnemen van EMV lijkt te volgen uit experimenten van hersenen die worden blootgesteld aan de techniek van *transcraniale magnetische stimulatie* (TMS). Hierbij wordt het hoofd gedurende een korte tijd 'bestraald' met uiterst korte en heftige magnetische pulsen, die opgewekt worden door spoelen die buiten het hoofd rondom de hersenen zijn aangebracht. Prikkeling kan beweging van ledematen geven, maar kan ook helpen bij de bestrijding van depressies. Kortekaas en medewerkers (2013) vonden dat de pijngrens bij een prikkeling van de huid met een hete sonde naar aanzienlijk hogere temperaturen opschuift, wanneer de hersenen met een bepaald regime van prikkelsterkte en frequentie worden bestraald.

Vaakgenoemde EMV effecten die optreden zijn duizeligheid, het draaiende beeld bij sommigen en het verlies aan oriëntatie. Het feit dat het oog van de mens volgens Foley precies dezelfde cryptochroom bevat is een extra argument voor de betrokkenheid bij magnetoperceptie.

Bij dit soort waarnemingen is gebleken dat de effecten in de aanwezigheid van blauw licht veel sterker zijn dan bij wit licht of in het donker. Dit kan er op wijzen dat lichtzin en magnetische zin via deze moleculen met elkaar zijn verknoot. Of daarmee de oplossing van de magnetische zin is geleverd is de vraag. De tot nu toe beschreven effecten spelen zich af bij extreem lage EMV frequenties. Omdat we weten dat EHS effecten zich bij ook veel hogere frequenties afspelen, is er wellicht nog een ander nerveus perceptiemechanisme, dat zich buiten het oog bevindt. Onderzoek moet dat uitwijzen. Cryptochromen spelen ook een rol bij de timing van dag/nachtritmes via een *biologische klok*. Het is daarom interessant na te gaan of de EHS problemen bij daglicht anders verlopen dan 's nachts. Veel elektrogevoeligen geven aan slecht te slapen; ook dat kan te maken hebben met de functie van cryptochrome in het EMV- detectieproces.

### 10.10. Rol van magnetisme

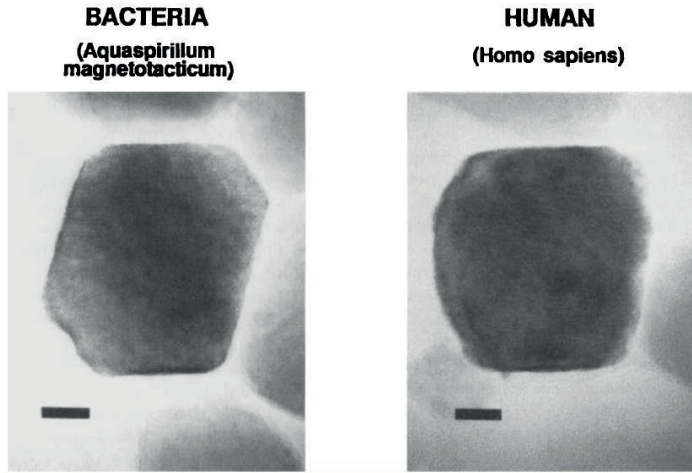
Omdat magnetische (wissel)velden een belangrijke rol spelen bij de ontwikkeling van EHS klachten is het goed om na te gaan in hoeverre ons lichaam in staat is dergelijke velden in de omgeving waar te nemen en hoe dat gebeurt. Het is daarom logisch uit te vinden over welke magnetische systemen we beschikken. We kunnen ons dan een beeld vormen van de rol van het (bio)magnetisme bij de EMV perceptie.

De onderzoeker Joseph Kirschvink (1992, 1996) is de grote animator geweest van het begrip biomagnetisme. Samen met een aantal medewerkers heeft hij veel bijgedragen aan ons inzicht in de rol die afzettingen van het biogene *magnetiet* (ijzeroxide  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) in het lichaam spelen van waarschijnlijk alle dieren, mogelijk ook bij de mens. Bij de mens is het vermogen tot magnetische oriëntatie op het aardmagnetische veld waarschijnlijk verloren gegaan, hoewel misschien latent aanwezig gebleven. In alle weefsels zijn magnetiet partikels (*magnetosomen*) gevonden die daar misschien een rol bij spelen. Vooral in botweefsel boven de neus zit veel van dat materiaal. Bij vogels speelt magnetiet in de bovensnavel een essentiële rol bij kompasoriëntatie.

Als die functie eventueel te verstoren is door externe magnetische velden, dan hebben we tenminste een ingang in de problematiek. Nu is door het promotieonderzoek van Frank de Vocht (2006) al langer bekend dat mensen die in de buurt van moderne MRI apparatuur snel door sterke gelijkstroom magneetvelden lopen, gemakkelijk omvallen wegens verstoring van hun evenwichtsgevoel. De biologische oorzaak daarvan is niet

## 10. Biologische effecten van EMV

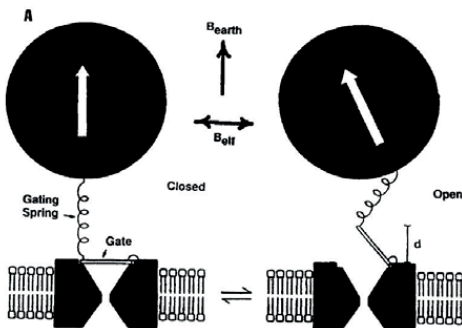
nader onderzocht, maar kan goed te maken hebben met een abnormale beweging van de magnetosomen in de mens.



**Figuur 10-5.** Magnetiet bevattende magnetosomen zoals die in cellen van bacteriën (links) en vele diergroepen (rechts) voorkomen. De fijne kristalstructuur van de ijzeroxide moleculen is bij deze vergroting niet of nauwelijks te zien. Het liggende balkje is een maatlatje van 5 nanometer lang.  
Bron: Kirschvink 1992.

Door het gebrek aan een biofysisch mechanisme blijft de manier waarop die kristallen van magnetiet (figuur 10-5) hun werking op het organisme uitoefenen; een controversieel onderwerp. De laatste tijd is daar wat duidelijkheid in gekomen, dankzij het onderzoek aan honingbijen. Dat die diertjes ook magnetiet als instrument gebruiken om de plaats terug te vinden waar het dier eerder honing heeft aangetroffen wordt aangetoond met verstoringen van het magneetveld. Door het plaatsen van sterke magneten bij de dieren verliezen ze hun oriëntatievermogen voor geruime tijd. Dat komt vermoedelijk doordat de dieren ook zelf een elektrisch veld om zich heen maken, dat dient om nectardragende bloemen te vinden. Dat veld wordt dus verstoord en de magnetosomen geven alleen nonsens informatie door.

Zoals Kirschvink betoogt gebeurt deze aanpassing bij heel zwakke velden. De meest waarschijnlijke werkingmethode is via mechanische koppeling van de magnetosomen aan de binnenkant van de membranen van de cellen waarin ze voorkomen. Mogelijk loopt die koppeling door het open of dicht zetten van de transmembraan ionenkanalen.



**Figuur 10-6.** Hypothetische functie van magnetietpartikels nabij een ion-kanaal in de celwand. Door een geringe hoekverdraaiing van het partikel door een extern magnetisch veld zou het kanaal komen 'open' te staan en ionen doorlaten. Dat zou de cel functie beïnvloeden.  
Bron: Kirschvink 92.

## 10. Biologische effecten van EMV

### 10.11. Begrijpen we de inwerking van EMV nu beter?

Dit literatuuronderzoek is begonnen om na te gaan of er ergens een *clue* te vinden was ter verklaring van het verschijnsel EHS. Hoewel er erg veel biologische effecten op organismen, organen, weefsels, cellen en subcellulaire structuren zijn te verkrijgen, *in vivo* of *in vitro*, zijn we niet dichterbij een oplossing gekomen. Het is allemaal te fragmentarisch, te weinig gericht op de hersenen of andere delen van het zenuwstelsel, hormonale en immunologische systemen. Cellen die uit hun biologische verband zijn gerukt reageren waarschijnlijk heel anders dan in het levende organisme met zijn beschermende epitheel, regulatiemechanismen voor temperatuur, energietoevoer en schadebeperkende cellulaire reacties. Bij experimenten *in vitro* zou men verwachten dat heel geringe EMV doses al duidelijke effecten geven. Dat blijkt lang niet altijd waar te zijn: veel van de gerapporteerde effecten konden alleen verkregen worden door hoge veldintensiteiten of een lange experimentele behandelingsduur.

Omdat mensen onder normale omstandigheden aan veel zwakkere velden blootstaan dan in de genoemde experimenten, moet er wat anders aan de hand zijn. Bij gebrek aan een betere maatstaf wordt de schadelijkheid van EMV afgemeten aan de mate waarin de energie van hoogfrequente golven uit o.a. mobieltjes aan het hoofd wordt afgegeven, de zg. SAR waarde. Men doet daarbij alsof de hersenmassa een ongedifferentieerde amorfe massa is, waarbij het er niet zoveel toe doet waar je de temperatuursverhoging meet. Het tegendeel is waar: hersenen zijn een zeer fijnmazig 3D-netwerk van zenuwen en daarmee geassocieerde microscopische structuren die op allerlei manieren met elkaar communiceren. Daarbij kan de activering of remming van een enkele component een groot effect hebben op de werking van het grote geheel.

Zulke basale versturende effecten op de homeostase worden helaas niet meegewogen bij de vaststelling van SAR-waarden. Daarom hebben de door ICNIRP opgestelde richtlijnen voor blootstelling aan EMV niet veel fysiologische zeggingskracht. Het zijn slechts afspraken over een niet te overschrijden temperatuurverhoging van het weefsel. Met de voortschrijdende diagnostische en beeldvormende technieken is te verwachten dat effecten op het zenuwstelsel in meer detail kunnen worden bestudeerd. Met die kennis kunnen we EMV effecten beter evalueren en nagaan hoe het komt dat sommige personen daar ziek van worden, EHS klachten krijgen, of tumoren ontwikkelen.

Bij veel zintuiglijke waarnemingen is het zo, dat een aanvankelijk ontvangen lichtprikkel in het oog, of een geurprikkel in de neus, eerst een versterkingsstap doormaakt alvorens een effect door een alert mens kan worden opgemerkt. Het lijkt aannemelijk dat zo iets ook het geval is bij de perceptie van een elektromagnetisch signaal. Pas na signaalversterking kan het dan worden opgemerkt, in de zin dat het stressmechanisme het mensvriendelijke karakter er van opmerkt en defensieve reacties op touw zet.

### 10.12. Multi-systeemeffecten

Hoe verloopt de inwerking van elektromagnetische energie op levende materie? Het is duidelijk dat mens en dier kunnen reageren op EMV waarvan de sterkte enige orden van grootte zwakker is dan de blootstellingslimieten die door ICNIRP worden gegeven. Het is ook duidelijk dat frequentie en golfvorm een belangrijke invloed hebben op het effect. We nemen een brede waaier waar van effecten op gedrag, metabolisme, voedingsgewoonten, voortplanting en andere zichtbare of meetbare activiteiten. Binnenin het organisme zien we veranderingen in orgaan- en celfuncties en in diverse

## 10. Biologische effecten van EMV

immunologische en/of hormonale regelfuncties. We kunnen dus spreken van 'multi-systeem' effecten van EMV. Uitgebreide overzichten zijn door Sage en Carpenter (2009) en door Genuis en Lipp (2011) gepubliceerd.

In dit hoofdstuk wordt het accent gelegd op de beïnvloeding van cel- en orgaanfuncties. Ondanks de talloze detailpublicaties over EMV invloeden op het hele organisme en op (sub)cellulaire structuren zijn we nog niet veel verder gekomen in het begrijpen van hoe en waar de energieoverdracht eigenlijk plaatsvindt. We zoeken al tijden naar een soort van EMV 'receptor', maar misschien is die receptor er helemaal niet. Welke structuren een rol spelen in de 'binding' van elektromagnetische energie in het organisme is nog steeds onbekend. Wel zijn er speculaties en hieronder noemen we er een paar.

Het is de vraag of verschillende EMV frequenties en golfvormen misschien ook verschillende effecten bewerkstelligen. Mogelijk is het zo dat niets van wat we waarnemen het primaire EMV bindingsproces representeert. Het is denkbaar dat we te maken hebben met een getrappt effect, dat bijvoorbeeld begint bij een verandering van een membraanpotentiaal en dat eindigt bij een verstoring van de homeostase van het neuronale systeem in de hersenen. Stressreacties kunnen daar uit voortkomen, maar ook snel optredende weefselreacties. Zo is het denkbaar dat de roodkleuring, die in het gezicht optreedt in een sterk elektrisch wisselveld, berust op een snelle afgifte van histamine uit macrofagen in de huid. Bij blootstelling aan het veld van een Dect telefoon kan bij sommige proefpersonen een versnelling van het hartritme optreden. Ook dat is een snel effect, maar vermoedelijk geen primair effect van EMV. Regulatie van de hartslag is namelijk een zaak van het autonome zenuwstelsel en dat deel van het centrale zenuwstelsel moet eerst tot activiteit worden aangezet. Zo complex verlopen sommige zaken nu eenmaal.

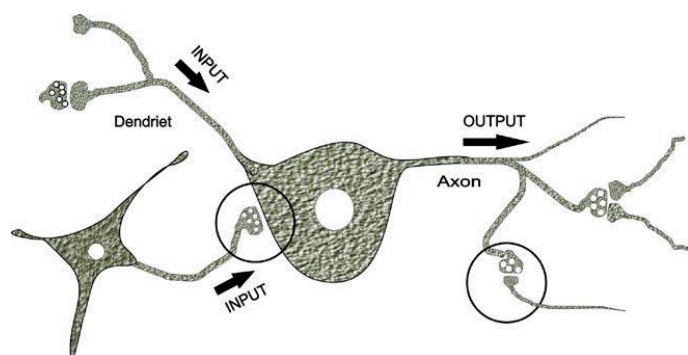
Er zijn ook langetermijneffecten. Denk aan de genotoxiciteit van hoogfrequente velden in de mobiele communicatie. Het kost tijd voordat het DNA in cellen zo vernield wordt dat de regulatie van celdelingen vervalt en kankervorming kan beginnen. Lange-termijn blootstelling van het brein kan activering van het systeem van stresshormoonproductie veroorzaken. Zo moet bij ontvangst van het stresssignaal een cascade van hersenreacties op gang komen die via de HPA as (Engelse afkorting van de hypothalamus - neurohypofyse - bijnier-as) leidt tot verhoogde stresshormonen in het bloed, zoals cortisol.

Als het zo zou zijn dat alleen hoogfrequente velden deze reacties kunnen oproepen, dan zou men kunnen gaan zoeken naar structuren die als 'ontvangstantenne' voor deze golven kunnen fungeren. Er zou dan een relatie moeten zijn tussen de afmetingen van de receptieve structuur en de golflengte van het ziekmakende signaal. Normaliter heeft een antenne een goede ontvangstmogelijkheid wanneer de lengte er van minstens een kwart bedraagt van de golflengte die het kan ontvangen. Uitgaande van een magnetronveld van 2450 MHz is de golflengte ca. 12 cm. Als de 'antenne' dan minimaal een kwart van die lengte zou hebben, dus ca. 3 cm, dan kan een optimale koppeling van antenne aan het EMV verwacht worden. Er kunnen dan resonantieprocessen op gang komen die fysiologische gevolgen hebben. Er zijn talloze structuren van die afmetingen te bedenken. Bijvoorbeeld zenuwcellen met hun begeleidend weefsels, bloedvaten, spieren, bindweefsels, epitheelvlakken en dergelijke. Aan dit type onderzoek worden nog maar sporadisch studies verricht.

### 10.13. EMV effecten op prikkelgeleiding in het zenuwstelsel

Er zijn dus meerdere speculaties over de vraag hoe EMV de functies van de hersenen kunnen beïnvloeden. Veel er van komen neer op verandering van de ionenhuishouding in de neuronwand. Hieronder wordt een model voorgesteld dat is gebaseerd op beïnvloeding van het proces van prikkel doorgifte bij synaptische contacten tussen neuronen. Hier volgt wat toelichting over de basale processen die daarbij een rol spelen.

Neuronen communiceren met elkaar via chemische synapsen. Ze staan met elkaar in verbinding, enerzijds door 'dendrieten' die signalen van andere neuronen binnen krijgen, anderzijds door sterk vertakte 'axonen' waarlangs signalen vervoerd worden naar doelneuronen. Een signaal bestaat feitelijk uit een zich snel verplaatsende depolarisatie van het axonmembraan, waarbij geladen moleculen gedurende korte tijd de cel in- en uitstromen. Het signaal is natuurkundig herkenbaar aan de kortdurende stijging van de elektrische spanning aan het axonoppervlak: de 'actiepotential'. Het zien van een 'actiepotentialen' betekent dat er een prikkel passeert.



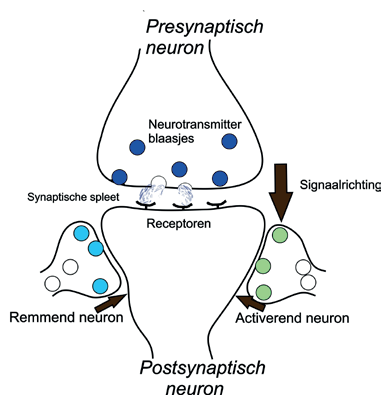
**Figuur 10-7.** Positie van een neuron in een klein neuronaal circuit. Van links af ontvangt het centrale neuron innervatie via lange dendrieten, dan wel door direct contact met een tweede neuron. Rechts gaat het uitgaande signaal via lange en sterk vertakte axonen naar doelneuronen elders. De axon terminals eindigen in synapsen: ontmoetingsplaatsen tussen vurende en informatie ontvangende neuronen (aangegeven in de cirkels). Pijlen geven de richting van de informatiestroom aan.

Een signaal verplaatst zich langs een axon en bevordert de afgifte uit het axonuiteinde van een neuroactieve transmittersubstantie in de spleet van een 'synaps' (figuur 10-8). Op het 'postsynaptische' membraan bevinden zich receptoren die de transmitterstof signaleren. Het herkenningsproces tussen receptor en transmitter leidt er toe dat het neuron zich klaar gaat maken voor het doorgeven van het signaal. Of die cel gaat vuren hangt echter af van de balans van activerende en remmende synapsen die het neuron onderhoudt met andere omgevende neuronen.

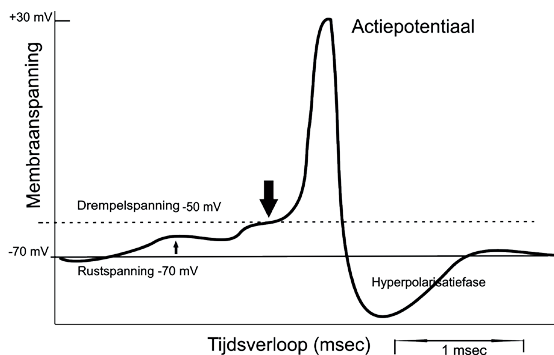
Natuurkundig gezien is het activeren van een neuron een spel van variaties in membraanpermeabiliteit, waarbij het openen en sluiten van selectieve ionkanalen een cruciale rol speelt. We kunnen het ons ook voorstellen als een spel van elkaar versterkende of verzwakkende spanningsvariaties. Alle signalen die het neuron binnen komen beïnvloeden de membraanpotential (het verschil in (gelijk)spanning tussen het binnenste en het oppervlak van een cel). Doorgaans is het verschil 60-70 mV, buiten negatief. Figuur 10-9 laat zien wat er met de membraanpotential gebeurt. Tijdens de rustfase van het neuron slingert de potential rond zijn 'rustpotential'; de rimpelingen komen door de zwakke interferentie met de andere neuronen. Wanneer echter een serie sterke actiepotentialen vanuit neuronen in de omgeving arriveert, kan de potential stijgen tot op of boven de 'drempelspanning'. Voor het

## 10. Biologische effecten van EMV

neuron is dat sterke signaal een aanleiding om zelf ook te gaan vuren. In korte tijd ontstaan daar een actiepotentiaal die de polariteit geheel kan doen omklappen en positief kan worden. Die actiepotentiaal heeft een kenmerkende korte duur en kan bij hevige stimulatie tot tientallen malen per seconde herhaald worden.



**Figuur 10-8.** Detail van een werkende synaps. Transmittersubstantie bevattende vesikels in het presynaptische neuron (boven) fuseren bij aankomst van een actiepotentiaal met de celmembraan. Daarbij komt de neurotransmitter terecht in de synaptische spleet. Receptoren herkennen die stof en zetten het postsynaptische neuron aan tot activiteit. Neuronen van andere oorsprong kunnen het ontstaan van actiepotentialen remmen of activeren. Pijlen geven de richting van de informatiestroom aan.



**Figuur 10-9.** Weergave van de elektrische spanningsveranderingen van het neuronmembraan. In rust heerst er de rustpotential (-60 tot -70 mV). Bij aankomst van stimulerende prikkels wordt de potentiaal minder negatief, tot de drempelspanning wordt gepasseerd. Dan gaat ook dit neuron vuren en ontstaat er een actiepotentiaal. Na de piek valt de spanning weer snel af en ontstaat er een 'hyperpolarisatie'; gedurende die tijd verkeert het neuron in een refractaire periode en kan niet worden geprikkeld. Het effect van een van buiten komende wisselspanning kan zijn dat de drempelspanning gemakkelijker wordt bereikt, waardoor het neuron op een ongewenst tijdstip actief wordt, met elektrostress verschijnselen als gevolg.

Externe EMV zullen effect op dit gebeuren kunnen hebben door het axon te helpen de drempelspanning te bereiken. Zekere groepen neuronen in de hersenen liggen als het ware in staat van paraatheid te wachten tot ze mogen gaan vuren en hun actiepotentiaal ligt al heel dicht onder de drempelspanning. Een extra zetje van een laagfrequent EMV kan er voor zorgen dat deze neuronen gaan vuren voordat het organisme daar feitelijk voor gereed is gemaakt. Fysiologisch heeft dat als effect dat kritisch bewaakte processen in regelcentra als de hippocampus of andere structuren in het limbische systeem gestoord worden. Als dat delen van het veronderstelde stresssysteem treft kan men verwachten dat er stressproblemen gaan ontstaan.

Een dergelijk mechanistische verklaring van EMV effecten is experimenteel ook best te onderzoeken. Alleen vergt het fijne elektrofysiologische technieken om het bestaat er van dergelijke interacties experimenteel aan te tonen. Het ligt voor de hand om met een geschikt biologisch model eens te kijken of delen van het centrale of perifere zenuwstelsel te activeren zijn door toediening van prikkels waar velen zoveel hinder van ondervinden. Dat zijn bijvoorbeeld de magnetisch of elektrisch gepulste velden uit schakelende voedingen, waarvan het uiterlijk een zekere gelijkenis vertoont met de actiepotentialen in actieve neuronen. Dat zijn prikkels met steile op- en neergaande flanken en in lage tot extreemlage frequenties.