

# Samenvatting proefschrift

## Uitdagingen en ontwikkelingen in radiofrequente elektromagnetische velden blootstellingsbeoordeling voor de milieu-epidemiologie

Luuk van Wel<sup>1</sup>

Mobiele apparaten zijn niet meer weg te denken uit ons dagelijks leven. Van smartphones tot smartwatches, ze gebruiken allemaal radiofrequente elektromagnetische velden (RF-EMV) om te communiceren. Wijdverspreide mobiele communicatienetwerken, van 2G tot 5G, maar ook WiFi, Bluetooth en vele andere protocollen worden gebruikt om onze mobiele apparaten van informatie te voorzien. Het gevolg hiervan is dat we vrijwel ononderbroken aan RF-EMV worden blootgesteld. Er zijn dan ook zorgen geuit over de mogelijke gezondheidseffecten die deze blootstelling zou kunnen veroorzaken. Om deze zorgen te adresseren, is een accurate en biologisch relevante blootstellingsbeoordeling nodig. Dit is geen gemakkelijke taak, gelet op de vele factoren die RF-EMV-blootstelling beïnvloeden.

RF-EMV-bronnen kunnen opgedeeld worden in bronnen die dichtbij (near-field) en verder weg (far-field) zijn. Voor de near-field bronnen (vaak persoonlijke mobiele apparaten) willen we weten:

- [a] hoe vaak en hoe lang ze gebruikt zijn,
- [b] waarvoor (bijv. bellen, browsen),
- [c] de hoeveelheid verzonden data per gebruik,
- [d] de locatie ten opzichte van het lichaam en
- [e] het gebruikte communicatienetwerk.

Voor far-field bronnen (bijv. zendmasten, WiFi-netwerken) willen we de sterkte van de zender weten en de locatie van de zender ten opzichte van de persoon wiens blootstelling onderzocht wordt. Daarnaast willen we een aantal persoonlijke eigenschappen weten: leeftijd, geslacht, BMI en hoeveelheid vetweefsel. Dit zijn factoren die de hoeveelheid RF-EMV beïnvloeden die uiteindelijk aankomt op een anatomische locatie (bijv. de hersenen).

De bovenstaande informatie kan verzameld worden met behulp van vragenlijsten over gebruik van mobiele apparaten, door een blootstellingsmeter in te zetten, of door blootstellingsniveaus te modelleren. Elke methode heeft voor- en nadelen. Wanneer alle benodigde informatie is verzameld, kan de volgende stap gezet worden: een integratieve blootstellingsbeoordeling waarbij blootstelling van meerdere losse RF-EMV-bronnen samengevoegd wordt tot één enkele dosis die de totale RF-EMV-blootstelling van een individu omvat. In epidemiologische studies kunnen deze individuele blootstellingsbeoordelingen gekoppeld worden aan potentiële gezondheidseffecten. Dit proefschrift had als doel de uitdagingen van RF-EMV-

blootstellingsbeoordeling te benadrukken door de eerdergenoemde methoden van dataverzameling nader te bekijken. Met de resultaten is een nieuw integratief blootstellingsbeoordelingsmodel ontworpen. Daarnaast is een methode ontwikkeld waarmee acute potentiële gezondheidseffecten onderzocht kunnen worden.

Allereerst hebben we het gebruik van blootstellingsmeters onderzocht in 102 basisscholen in Amsterdam (Nederland). Er zijn puntmetingen uitgevoerd, waarbij één locatie 14-20 minuten werd bemeaten, tussen juli 2011 en juli 2012 in twee klaslokalen van vrijwel iedere school. 48% van alle basisscholen in Amsterdam zijn meegenomen in deze metingen. De gevonden vermogensdichtheid was gemiddeld  $70,5 \mu\text{W m}^{-2}$  ( $0,16 \text{ V m}^{-1}$ ), waarbij de frequentiebanden “mobiele telefoon downlink” en “DECT” (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) de grootste bijdrage leverden aan de totale blootstelling. De gevonden waarden waren over het algemeen genomen laag, met hoge variabiliteit in de relatieve bijdrage van de verschillende frequentiebanden aan de totale vermogensdichtheid. Hoewel de grote hoeveelheid bemeaten scholen een duidelijk sterk punt waren van deze studie, zorgde de korte tijdsduur van de puntmetingen voor een beperkte hoeveelheid beschikbare informatie in de tijd. Doordat de metingen in 2011 en 2012 zijn uitgevoerd was er geen informatie beschikbaar over moderne 5GHz WiFi-netwerken en LTE (Long Term Evolution, 4G netwerken) aangezien deze technieken nog niet algemeen gebruikt waren destijds. Dit illustreert de snelle groei van mobiele communicatietechnologie en is iets waar rekening mee gehouden moet worden bij het interpreteren van RF-EMV-blootstellingsbeoordelingen.

Herinneringsbias speelt een rol in het navragen van de gebruikshistorie van mobiele apparaten. Het omvat zowel systematische als toevallige fouten welke voorkomen wanneer de gebruikshistorie foutief herinnerd wordt, wat leidt tot een onder- of overschatting van de daadwerkelijke gebruikshistorie. In een patiënt-controleonderzoek kan bovendien differentiële herinneringsbias optreden, waarbij patiënten een andere bias hebben dan de controlegroep. In de MOBI-Kids studie hebben we een retrospectieve validatiestudie uitgevoerd om patronen en verschillen in herinnering tussen patiënten en controles te onderzoeken. We vergeleken zelfgerapporteerde gebruikshistorie van mobiele telefoongebruik met gegevens

<sup>1</sup> Promotie instituut: Universiteit Utrecht; promotiedatum: 21 januari 2020

van mobiele netwerk operatoren voor 702 kinderen en jongvolwassenen (10-24 jaar). Voor een aantal deelnemers waren gegevens tot twee jaar terug beschikbaar. Er was geen indicatie voor differentiële herinneringsbias, maar er zijn wel systematische en toevallige fouten geobserveerd. Het aantal telefoongesprekken werd onderschat, terwijl de totale duur van telefoongesprekken overschat werd. Dit kan risicoschattingen beïnvloeden en het onderscheidend vermogen van studies verlagen.

Gegevens van mobiele netwerk operatoren zijn als gouden standaard gebruikt in de bovengenoemde validatiestudie. In werkelijkheid zijn deze gegevens echter vaak incompleet. In de MOBI-EXPO-validatiestudie, onderdeel van de grotere MOBI-Kids studie, zijn daarom softwarematig aangepaste telefoons (SMPs) gebruikt. Op deze telefoons is een applicatie geïnstalleerd die de aantallen en duur van telefoongesprekken, tekstberichten, en datagebruik registreert. Voor ieder telefoongesprek worden lateraaliteit (hoe wordt de telefoon tegen het hoofd gehouden), handenvrij gebruik, en het type netwerk geregistreerd. Voor 466 deelnemers, 10-24 jaar oud, werd gevonden dat adolescenten en jongvolwassenen zich hun gebruikshistorie redelijk kunnen herinneren. De kwaliteit van de herinnering was afhankelijk van hoe vaak de telefoon werd gebruikt. Deelnemers met een laag gebruik onderschatten hun eigen gebruik en deelnemers met een hoog verbruik overschatten dit. Deze bevindingen zijn in lijn met de eerdergenoemde validatiestudie waarin data van mobiele netwerk operatoren werd gebruikt. Ook hier zijn zowel systematische als toevallige fouten gevonden.

We hebben een uitgebreid RF-EMV-dosis-schattingsmodel ontwikkeld in de vorm van het Integrated Exposure Model (IEM), waarbij gegevens van zowel vragenlijsten, blootstellingsmeters als modellen worden gebruikt om individuele RF-EMV doses te schatten. Het model omvat tien verschillende RF-EMV-bronnen in zowel het near-field als het far-field en kan schattingen geven voor 64 anatomische locaties, waaronder het gehele lichaam en de gehele hersenen. Het model schat niet alleen de totale dosis, maar het geeft ook weer welke bijdrage de verschillende bronnen aan de totale dosis geven. Dankzij de modulaire opbouw van het model kunnen nieuwe technologieën in de toekomst geïncorporeerd worden. Voor 1755 volwassenen uit vier verschillende Europese landen werden individuele blootstellingsniveaus geschat. Deze schattingen werden gebruikt om een momentopname van de populatieblootstelling te vormen, waarbij een mediane dosis van 183,7 mJ/kg/dag en 204,4 mJ/kg/dag werden gevonden voor respectievelijk het hele lichaam en de hersenen. Gesprekken met mobiele telefoons over 2G netwerken waren verantwoordelijk voor het leeuwendeel van de blootstelling aan de hersenen. Voor de blootstelling aan het hele lichaam speelden far-field bronnen en diverse near-field bronnen eveneens een belangrijke rol. De resultaten kunnen gebruikt worden voor het ontwikkelen van strategieën om blootstelling te verlagen.

Er zijn meldingen geweest waarbij individuen acute gezondheidseffecten (bijv. hoofdpijn, concentratieverlies) toeschrijven aan RF-EMV-blootstelling. De gemelde effecten komen vaak snel op na een blootstelling. We hebben een methode ontwikkeld waarbij een constante stroom van gegevens van een blootstellingsmeter continu verwerkt wordt door een smartphone applicatie. Indien aan bepaalde, vooraf ingestelde, voorwaarden werd voldaan (bijv. plotselinge piek in RF-EMV-blootstelling) stelde de applicatie vragen gerelateerd aan het welzijn en de gezondheid van de deelnemende proefpersoon. Deze methode is gebaseerd op zogeheten context-sensitive ecological momentary assessments (CSEMA), oftewel kortstondige momentane beoordeling gebaseerd op contextuele factoren (de blootstellingsmeter). De hoeveelheid ingevulde vragenlijsten is in een pilotstudie onderzocht, waar in 34 complete datasets 74% van de vragenlijsten werd voltooid. Nieuwe manieren om RF-EMV gerelateerde gezondheidseffecten, maar ook van andere omgevingsfactoren, te onderzoeken worden mogelijk gemaakt dankzij deze methode.

In dit proefschrift zijn diverse uitdagingen die komen kijken bij de blootstellingsbeoordeling van radiofrequente elektromagnetische velden nader bekeken. De doorlopende technische ontwikkelingen en innovaties zorgen ervoor dat we onze beoordelingsmethoden constant moeten verbeteren en vernieuwen. Tegelijkertijd worden de diverse onzekerheden in onze methoden steeds groter doordat er meer en meer factoren meegenomen moeten worden. Daardoor blijft de vraag of deze onzekerheden de blootstellingsmisclassificaties zodanig groot maken dat we potentiële gezondheidseffecten van RF-EMV-blootstelling niet meer kunnen detecteren. Wetenschappelijk onderzoek tot nu toe heeft nog geen sluitend bewijs gevonden dat deze gezondheidseffecten bestaan, zelfs in tijden dat oudere draadloze technieken gebruikt werden die door hun hogere RF-EMV-blootstelling beter gekarakteriseerd konden worden. Daar staat tegenover dat andere aspecten van mobiele apparaten geassocieerd worden met gezondheidseffecten als verminderde slaapkwaliteit, stress, en verminderde geestelijke gezondheid. Door de focus te verschuiven van RF-EMV-blootstelling naar deze aspecten kan mogelijk een grotere bijdrage geleverd worden aan de verbetering van de publieke gezondheid.