Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00
F +31 70 328 09 61

TNO-rapport

TNO 2020 R10094

Evaluatie van gezondheidsaspecten door RF-velden afkomstig van de voorgenomen SMART-L radar te Herwijnen

Datum	januari 2020
Auteur(s)	[redacted]
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	[redacted]
Vastgesteld d.d.	
Titel	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Oplage	3
Aantal pagina's	56 (incl. bijlage, excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	3

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.
Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 2020 TNO

Samenvatting

Het Ministerie van Defensie heeft het voornemen om een radarinstallatie te plaatsen die door de Koninklijke Luchtmacht (KLu) gebruikt zal worden om het luchtruim boven Nederland te bewaken. Ook voor de begeleiding van eigen gevechtsvliegtuigen is dit radarsysteem van belang. Vergeleken met een ATC (Air Traffic Control) radarsysteem, waarvan er zeven in Nederland zijn opgesteld, heeft dit specifieke systeem, SMART-L genoemd, een groter afstandsbereik. Ook kan het radarsysteem van vliegende voorwerpen (gewoonlijk ‘doelen’ genoemd) die niet beschikken over een werkende transponder de hoogte bepalen, wat een ATC radarsysteem niet kan. De beoogde locatie voor deze lange-afstandsradar is Broekgraaf 1 te Herwijnen, gemeente West-Betuwe.

Omwonenden hebben tijdens verschillende inspraakmomenten zorgen geuit over de mogelijk negatieve gevolgen van de plaatsing van dit radarsysteem op de gezondheid. Deze zorgen zijn begrijpelijk, elektromagnetische velden zijn immers onzichtbaar. Dit rapport beoogt deze zorgen nader uit te werken en te adresseren, gegeven de huidige wetenschappelijke inzichten.

Wetenschappelijke resultaten van onderzoeken lijken soms tegenstrijdig te zijn. Tegenstrijdige resultaten en wetenschappelijke onzekerheid kan bij het publieke de zorgen verhogen. De wens van het publiek dat wetenschappers moeten kunnen bewijzen dat een negatief gezondheidseffect uitgesloten kan worden is niet realistisch. Immers met zekerheid kunnen uitsluiten dat een bepaald fenomeen of effect niet bestaat, is onmogelijk.

Binnen Nederland is toepassing van de ICNRIP-richtlijn het toetsingskader dat wordt gebruikt om vast te stellen of de gezondheid van mensen in voldoende mate wordt beschermd. Deze richtlijn is, mede op advies van de Raad van de Europese Unie, bekrachtigd door de Raad van State. In dit rapport wordt ingegaan op het proces waarmee verschillende organen (WHO, IEEE, ICNIRP, Gezondheidsraad) blootstellingslimieten vaststellen. Ook wordt in dit document ingegaan op wetenschappelijke onzekerheid en de mogelijke toepassing van het zogenaamde voorzorgbeginsel. Het aspect van tegenstrijdige informatie wordt nader toegelicht als het gaat over de mogelijke oorzaak van de ziekte ALS (Amyotrofische Laterale Sclerose), als ook de verhoging van kans op het ontwikkelen van kanker door elektromagnetische velden.

Centraal in de toetsing aan de ICNIRP-richtlijn staat het bepalen van de totale samengestelde blootstelling van bewoners aan elektromagnetische velden, in het radiofrequente deel van het spectrum. De exacte blootstelling die iemand ondergaat is afhankelijk van de omgeving en de (hoeveelheid) radiofrequente bronnen in de buurt. Het is dus voor TNO onmogelijk om een volledige en exacte berekening van de exacte blootstelling te geven. TNO heeft de blootstelling voor de woning die het dichtst bij de voorgenomen radarinstallatie staat geschat. In de schattingen is ‘ruim’ afgerond, dat wil zeggen dat TNO de waarden van intensiteit naar boven, dus ongunstiger voor het resultaat van de toetsing, heeft afgerond. Op deze wijze wordt, naar het oordeel van TNO, de kans op onderwaardering van de werkelijke blootstelling zo klein mogelijk gehouden. Het omgekeerde is eerder waar. De verwachting is dat de werkelijke blootstellingsniveaus lager zullen uitvallen dan de

schattingen. De referentiemeting van de elektromagnetische veldniveaus die TŰV Rheinland (oktober 2019) heeft uitgevoerd bevestigt deze verwachting. Met andere woorden: in deze rapportage wordt een *worst-case* schatting van de dichtstbijzijnde woning gegeven.

Geconcludeerd wordt dat de voorgenomen SMART-L-radar nabij de dorpskern Herwijnen voldoet aan de blootstellingslimieten van de nu geldende ICNIRP-richtlijn, wat in dit rapport nader wordt toegelicht. Nadat de ICNIRP-richtlijn is aangepast, moet worden nagegaan of deze wijziging consequenties heeft voor conclusies en aanbevelingen van dit rapport. Geadviseerd wordt om na de realisatie van de SMART-L radarinstallatie de metingen die TŰV Rheinland heeft uitgevoerd met een werkende radarinstallatie te herhalen. Als vastgesteld is dat de installatie voldoet aan de geldende ICNIRP-richtlijn kan deze operationeel gesteld worden.

Inhoudsopgave

Samenvatting **2**

Lijst van afkortingen **5**

1 Inleiding **7**
1.1 Functionaliteit van het SMART-L radarsysteem 7
1.2 Gezondheidsaspecten 9
1.3 Opbouw van het rapport 9
1.4 Gevolgde methodiek 10

2 Inleiding blootstelling aan niet-ioniserende elektromagnetische velden **11**
2.1 Algemeen 11
2.2 Bescherming gezondheid door blootstelling aan elektromagnetische velden 12
2.3 ICNIRP 12
2.4 Amyotrofische Laterale Sclerose (ALS) en elektromagnetische velden 21

3 Wet- en regelgeving, voorzorgsbeginsel, ALARA **23**
3.1 Huidig kader in Nederland 23
3.2 Landen om ons heen 23
3.3 Voorzorgsbeginsel en ALARA 24
3.4 Wetenschappelijke onzekerheid versus beleidsvorming 27

4 Thalesrapportage SMART-L **29**

5 Locatie SMART-L Broekgraaf 1 Herwijnen **30**
5.1 Te verwachte gelijktijdige samengestelde blootstelling 30
5.2 Gelijktijdige samengestelde blootstelling 32
5.3 Blootstelling aan piek elektrische veldsterkten 39

6 Uitgevoerde referentiemetingen in Herwijnen **41**
6.1 Conclusie 42

7 Conclusies en aanbevelingen **43**

8 Referenties **44**

9 Ondertekening **48**

Bijlage(n)
A Berekening elektrische veldsterkten van radarsystemen
B IKEA-winkels en Nobelprijswinnaars
C Gedachtenexperiment van een toetst van de samengestelde blootstelling tegen afwijkende limietwaarden

Lijst van afkortingen

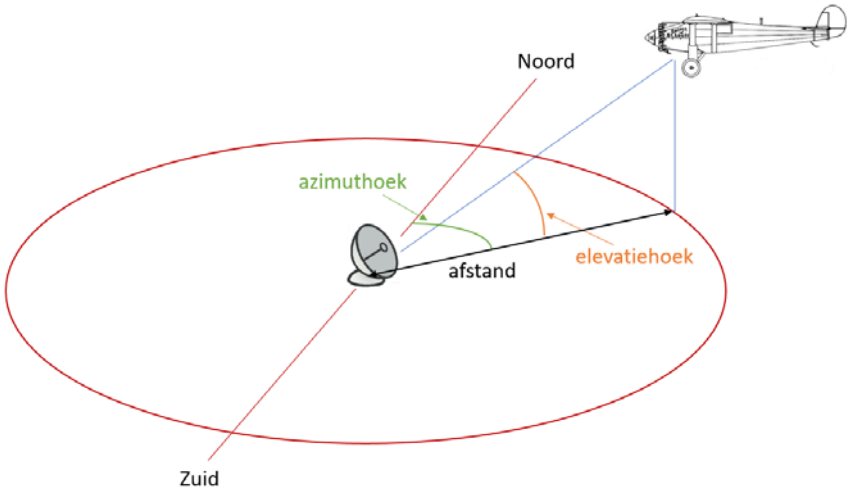
2.4G WLAN	2.4 GHz Wireless Local Area Network
3D	Drie Dimensionaal; er is een hoogte-, lengte- en breedtemaat, In het geval van radar: afstand, azimuthoek en elevatiehoek
5G	5e generatie mobiele telecommunicatie
5G WLAN	5 GHz Wireless Local Area Network
ALARA	As Low as Reasonably Achievable
ALS	Amyotrofische Laterale Sclerose
BITE	Built In Test Equipment
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
DAB+	Digital Audio Broadcasting, de + staat voor hogere geluidskwaliteit
dB	Decibel, een logaritmische schaal.
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DNA	Desoxyribonucleïnezuur; drager van erfelijke informatie
DVBT	Digital Video Broadcasting Terrestrial
EMF	Electromagnetic Fields, oftewel Elektromagnetische velden
GHz	Gigahertz, 10^9 hertz
GR	Gezondheidsraad
GSM	Global System for Mobile Communications; 2^e generatie mobiele telecommunicatie
Hz	Hertz, afgeleide SI-eenheid voor frequentie [s^{-1}]
IARC	The International Agency for Research on Cancer
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IRAS	Institute for Risk Assessment Sciences
J	Joule, afgeleide SI-eenheid voor energie [kgm^2/s^2]
kg	SI-basiseenheid van massa
kHz	kilohertz, 10^3 hertz
KLu	Koninklijke Luchtmacht
km	kilometer, 10^3 = 1000 meter
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LNT	Linear Non Threshold
LTE	4e generatie mobiele telecommunicatie
MER	Milieu effectrapportage
m	meter, SI-basiseenheid van afstand

MHz	Megahertz, 10^6 hertz
MIMO	Multiple Input, Multiple Output
MPR	Medium Power Radar
ms	Milliseconde, een duizendste seconde
MSSR	Monopulse Secondary Surveillance Radar (ook wel secundaire radar genoemd)
MV/m	Megavolt per meter, 10^6 V/m
NIR	Non-Ionizing radiation, oftewel niet-ionizerende straling
NTP	National Toxicology Program
PSR	Primary Surveillance Radar (ook wel primaire radar genoemd)
RF	Radiofrequent
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RMS	Root Mean Square
SAR	Specific Absorption Rate [W/kg]
s	SI-basiseenheid van tijd
SI	Système international d'unités
SMART-L	Signaal Multibeam Acquistion Radar for Targeting L-band
T	Tesla, magnetische fluxdichtheid
TNO	Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TŰV	Technischer Überwachungsverein
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System; 3^e generatie mobiele telecommunicatie
µT	microtesla
V	SI-eenheid voor spanning
V/m	Elektrische veldsterkte
W	Vermogen [J/s]
WHO	World Health Organization
WiFi	Wireless Fidelity

1 Inleiding

1.1 Functionaliteit van het SMART-L radarsysteem

Het Ministerie van Defensie is voornemens om een radarinstallatie te plaatsen dat door de Koninklijke Luchtmacht (KLu) gebruikt zal worden om het luchtruim boven Nederland te bewaken. Ook voor de begeleiding van eigen gevechtsvliegtuigen is het systeem van belang. Vergeleken met een ATC (Air Traffic Control) radarsysteem, waarvan er zeven in Nederland zijn opgesteld, heeft dit specifieke systeem, SMART-L genoemd, een groter afstandsbereik. Ook kan het van vliegende voorwerpen (gewoonlijk ‘doelen’ genoemd) die niet beschikken over een werkende transponder de hoogte bepalen, iets wat een ATC radar niet kan, zie figuur 1.



Figuur 1 Het SMART-L systeem is in staat om behalve afstand en azimuthoek ook de elevatiehoek te bepalen waardoor het mogelijk is hoogte te schatten.

De beoogde locatie is nabij de dorpskern Herwijnen, gemeente West-Betuwe. Een afbeelding van de antennes van het systeem wordt getoond in figuur 2.



Figuur 2 Impressie van de SMART-L radar aan de Broekgraaf 1 te Herwijnen (Bron: Thales, gebruikt met toestemming).

Het systeem heeft twee antennes. De harkachtige antenne bovenop is van de zogenaamde secundaire radar. Dit systeem communiceert met vliegtuigtransponders en is dus eigenlijk geen radarsysteem[1], maar een communicatiesysteem. Een preciezere aanduiding van dit systeem is MSSR: Monopulse Secondary Surveillance Radar. Daaronder is de antenne van de primaire radar (PSR: Primary Surveillance Radar).

Nederland heeft twee van deze radarsystemen besteld. Zij vervangen de zogenaamde MPR (Medium Power Radar) systemen die halverwege de jaren 70 van de vorige eeuw in gebruik zijn genomen. Een SMART-L systeem zal worden gepositioneerd te Wier, in Friesland. Vergeleken met de locatie Nieuw Milligen, waar nu nog een MPR staat, biedt Herwijnen betere aanvullende radardekking (minder overlap) met het systeem in Friesland. In een separate rapportage van het Rijksvastgoedbedrijf wordt daarop ingegaan.

Bij normaal gebruik draait de antenne van het systeem in 5 seconde rond, de zogenaamde ‘rondzoekmode’. Het systeem kan echter ook waarnemen in een mode waarbij de antenne stilstaat. In dat geval kan het systeem doelen buiten de dampkring waarnemen. Dit aanzienlijke afstandsbereik wordt niet zozeer bereikt door meer vermogen (in W) uit te zenden. Er worden twee mechanismen toegepast: er wordt meer gebundeld (denk aan de focusseerbare zaklamp) en er worden langere pulsen uitgezonden. In dit document komen zowel de rondzoekmode als de mode met de niet-roterende antenne (ook wel ‘starend’ genoemd) aan de orde.

In de rondzoekmode is het systeem enigszins te vergelijken met een vuurtoren, waarbij niet een lichtbundel maar een radarbundel met constante hoeksnelheid ronddraait. Echter, het systeem zendt niet continu in de tijd uit, terwijl de lamp van een vuurtoren dat wel doet. Bij deze radar is de pulsduur opgebouwd uit een

[1] Het acroniem ‘radar’ betekent: radio detection and ranging: detectie en afstandsbepaling door middel van radiogolven.

periode waarin de radar 90% van de tijd luistert en de radar gedurende die tijd niet uitzendt. De resterende 10% van de tijd gebruikt de radar om uit te zenden. Een normale waarde van deze pulsduur bedraagt van enkele milliseconden tot enkele honderden van een milliseconde. Tevens geldt dat een object, of persoon, niet altijd door de radar (dan wel de vuurtoren) wordt belicht, immers, de radarbundel (dan wel de lichtbundel) draait rond.

Het systeem functioneert onbemand en kan op afstand bediend worden. Radarwaarnemingen worden naar de commandocentrale (vooralsnog in Nieuw Milligen) gerouteerd. Systeemdegradatie wordt vastgesteld met zogenaamde *built-in-test-equipment* (BITE). De fabrikant Thales heeft in een overleg met het Ministerie van Defensie, waar TNO aanwezig was, gesteld dat onveilige situaties (zoals een antenne-zend-bundel die naar beneden is gericht), waardoor de ICNIRP-limietwaarden overschreden zouden kunnen worden, zich door de BITE niet kunnen voordoen.

1.2 Gezondheidsaspecten

Om de gezondheid van mensen te beschermen zijn de zogenaamde ICNIRP-richtlijnen opgesteld, [1]. Om te beoordelen of de installatie aan deze richtlijnen voldoet zijn de volgende aspecten van belang.

1 De vorm van de zendbundel en de antennewinst (*antenna gain*, dat wil zeggen de mate van bundeling).
2 Het uitgezonden vermogen (in Watt (W)).
3 De zogenaamde *duty-cycle*, de verhouding tussen de tijd dat er gezonden wordt en de luistertijd.
4 De frequentie waarop de radar opereert, wat in het geval van de primaire radar rond de 1300 MHz is. De secundaire radar zendt uit op 1030 MHz.

In de ICNIRP richtlijnen worden twee situaties beschouwd:

1 De tijdgemiddelde veldsterkte moet onder een specifieke limietwaarde blijven. Om dit experimenteel vast te stellen schrijft ICNIRP voor dat gedurende 6 minuten moet worden gemeten. De gedurende die periode opgenomen meetwaarden worden gemiddeld.
2 De piekveldsterkte moet onder een specifieke limietwaarde blijven. Dit representeert de (*worst-case*) situatie dat de radarbundel op de waarnemer is gericht en dat de zender aan staat.

Ook stelt ICNIRP eisen aan de zogenaamde samengestelde blootstelling: het criterium waaraan voldaan moet worden indien er verscheidene stralende bronnen zijn.

1.3 Opbouw van het rapport

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de invloed van deze niet-ioniserende elektromagnetische velden op gezondheid. Ook de rol van ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) komt in dit hoofdstuk aan de orde. Aangezien bewoners speciaal over ALS zorgen hebben geuit, wordt ook aan deze spierziekte aandacht besteed. In hoofdstuk 4 wordt aandacht besteed aan de wet- en regelgeving, niet alleen in Nederland maar ook in omringende landen. Tevens worden het voorzorgsbeginsel en ALARA (As Low as Reasonably

Achievable) behandeld. In hoofdstuk 4 wordt kort aandacht besteed aan het zogenaamde RadHaz (*Radiation Hazard*) rapport dat de radarleverancier heeft geleverd. Schattingen voor de samengestelde blootstelling (dat wil zeggen de blootstelling teweeg gebracht door verscheidene bronnen), komt aan de orde in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 7 worden de uitgevoerde referentiemetingen in Herwijnen beschreven. De conclusies zijn geformuleerd in hoofdstuk 7, referenties worden gegeven in hoofdstuk 8.

1.4 Gevolgde methodiek

De auteurs hebben beschikbare wetenschappelijk informatie geraadpleegd, op basis van eigen literatuuronderzoek en op basis van publicaties van ICNIRP, WHO, IEEE en diverse reviewartikelen. De referenties in hoofdstuk 8 geven de geraadpleegde bronnen aan. Voor een specifiek onderwerp, te weten onderzoek naar Amyotrofische Laterale Sclerose en radiofrequente velden, heeft TNO expertise van de Universiteit Utrecht geconsulteerd. De wetenschappelijke zekerheden en de wetenschappelijke onzekerheden zijn besproken waarbij het eventueel toepassen van ALARA is beschouwd. In de behandeling van de onderwerpen in deze rapportage heeft TNO kennis genomen van de gevoerde debatten in beide kamers. Ook zijn onderwerpen die waren omvat in vragen die door bewoners en de gemeente zijn ingediend zoveel als mogelijk in de onderzoeksuitvoering meegenomen.
TNO heeft bovenstaand onderzoek gedaan om te kunnen beoordelen of er aanleiding is om van het gebruikelijke toetsingskader, welke door ICNIRP als richtlijn wordt gegeven, af te moeten wijken. Artikel 4 van de TNO-wet[2] borgt dat de auteurs deze rapportage in vrijheid en zonder externe beïnvloeding hebben kunnen opstellen.

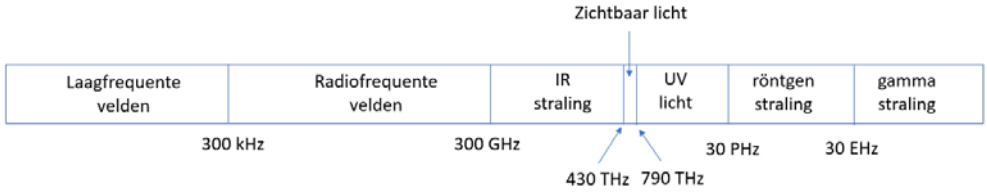
[2] https://wetten.overheid.nl/BWBR0003906/2019-01-01

2 Inleiding blootstelling aan niet-ioniserende elektromagnetische velden

2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven over wat blootstelling aan niet-ioniserende elektromagnetische straling is, en wat dat voor de mens betekent. In de hoofdstuktitel wordt niet-ioniserend met opzet zo aangegeven, om onderscheid te maken met een ander deel van het elektromagnetische spectrum, namelijk het ioniserende deel. Door het hele rapport wordt niet-ioniserend verder niet meer genoemd en wordt er de voorkeur aan geven om in plaats van niet-ioniserende elektromagnetiche straling, of überhaupt over straling, te spreken over “elektromagnetische velden”, vaak afgekort als EMF wat een afkorting is van *ElectroMagnetic Fields”*.

In figuur 3 wordt een overzicht gegeven van het zogenaamde elektromagnetische spectrum. Röntgen- en gammastraling bevindt zich in het ioniserende deel van het spectrum. Radio- en radartoepassingen bevinden zich in het niet-ioniserende radiofrequente deel van het spectrum. De distributie van elektriciteit middels hoogspanningsleidingen bevindt zich in het (extreem) laagfrequente deel van het spectrum. Onder de balk met de typeaanduidingen zijn frequenties aangegeven.[3]



Figuur 3 Afbeelding van het elektromagnetisch spectrum.

Binnen de scope van deze rapportage wordt met EMF de elektromagnetische velden bedoeld in het niet-ioniserende deel van het spectrum, daar waar het veld niet in staat is atomen te ioniseren. Een bekend gebruik van ioniserende straling is röntgenstraling. Het gedrag van ioniserende en niet-ioniserende straling is verschillend. Vanuit de fysica bekeken is dit verschil duidelijk en fysici beschrijven met behulp van de wetten van Maxwell [2] elektromagnetische velden als golfverschijnsel. Een andere beschrijving is om elektromagnetische straling te zien als deeltjes, beter bekend als fotonen. Bij het gebruik van de aanduiding “straling” moet worden aangegeven of men spreekt over ioniserende of over niet-ioniserende straling, dit onderscheid is vanwege het fysische gedrag en mogelijke schadelijke effecten namelijk erg belangrijk.

Tot slot wordt opgemerkt dat bij zorgen over mogelijke risico’s van elektromagnetische velden voor de gezondheid vaak genoemd wordt dat hogere frequenties schadelijker zouden zijn dan lagere frequenties. Mogelijk dat hier een verwarring ontstaan is met ioniserende straling. De energie van het foton is recht evenredig met de frequentie, echter is dit effect alleen relevant voor het ioniserende

[3] De golflengte, λ (m), is te berekenen met behulp van de formule $c = \lambda f$ met c de lichtsnelheid (m/s) en f de frequentie (Hz).

deel van het elektromagnetische spectrum waarbij fotonenergie een belangrijke rol speelt in de ioniserende eigenschappen van de straling.

2.2 Bescherming gezondheid door blootstelling aan elektromagnetische velden

Met betrekking tot de bescherming van de gezondheid van mensen ten gevolge van elektromagnetisch velden is het belangrijk om te vermelden dat een door een elektromagnetisch veld opgewekt biologisch effect niet noodzakelijkerwijs een gezondheidseffect veroorzaakt. Blootstelling aan te hoge intensiteit van elektromagnetische velden kan gevaarlijk zijn. Een voorbeeld hiervan is het optreden van cataract, waarbij tijdens dierexperimenteel onderzoek is waargenomen dat als het oog aan zeer hoge intensiteiten wordt blootgesteld cataract[4] optreedt [3]. Dit treedt op in zeer extreme gevallen en een heel hoge intensiteit en wordt veroorzaakt door opwarming van het oog.[5]

Om gezondheidsschade ten gevolge blootstelling van mensen aan te hoge intensiteit van elektromagnetische velden te voorkomen, worden in Nederland de blootstellingslimieten gehanteerd die zijn gegeven in de zogenaamde ICNIRP-richtlijnen. De raad van de Europese Unie heeft in document 1999/519/EG, [4], de lidstaten aanbevolen om deze blootstellingslimieten te gebruiken. Er zijn lidstaten die de aanbevolen limieten in nationale wetgeving hebben overgenomen. Ook zijn er lidstaten die geen wetgeving hebben opgesteld of soepelere limieten hebben vastgesteld. Alhoewel er een veiligheidsmarge is ingebouwd in de richtlijnen van de ICNIRP, hanteren sommige lidstaten strengere limieten [5]. Hierop wordt in paragraaf 3.2 van dit rapport nader ingegaan.

2.3 ICNIRP

ICNIRP is een onafhankelijke organisatie die, gebaseerd op wetenschappelijke inzichten, blootstellingsrichtlijnen opstelt. Regelmatig beoordeelt ICNIRP de stand van de wetenschap op het gebied van blootstelling aan elektromagnetische velden en mogelijke nadelige effecten op de gezondheid van mensen. Op de ICNIRP website [6] staat hierover:

> "*As an independent organization, the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) provides scientific advice and guidance on the health and environmental effects of non-ionizing radiation (NIR) to protect people and the environment from detrimental NIR exposure.*"

NIR staat voor "*non-ionizing radiation*", oftewel niet-ioniserende (elektromagnetische) straling.

De *World Health Organization* (WHO) heeft op haar website een pagina over "Standards and Guidelines" [7]. Op deze website erkent de WHO formeel dat bij blootstelling onder de ICNIRP blootstellingslimieten er geen nadelige effecten op de gezondheid te verwachten zijn. Daarmee bevestigt de WHO de geldigheid en autoriteit van ICNIRP als een niet-gouvernementele organisatie die de huidige

[4] Cataract is het verschijnsel waarbij de ooglens troebel geworden is, ook wel staar genoemd.
[5] Klinisch onderzoek naar het optreden van cataract tijdens een medische behandeling bekend als hyperthermie geeft aan dat langdurige blootstelling boven de ICNIRP richtlijn (zelfs met een factor 4 tot 10) nog geen cataract veroorzaakt [55].

stand van wetenschap over mogelijke effecten van niet-ioniserende elektromagnetische velden op juiste wijze toetst, zie de tekst [7]:

> "*The main conclusion from the WHO reviews is that EMF exposures below the limits recommended in the ICNIRP international guidelines do not appear to have any known consequence on health.*"

De WHO heeft op haar website een *fact-sheet no.226* gepubliceerd [8] over de blootstelling van mensen aan elektromagnetische velden afkomstig van radarsystemen.

> *"To date, researchers have not found evidence that multiple exposures to RF fields below threshold levels cause any adverse health effects. No accumulation of damage occurs to tissues from repeated low level RF exposure."*

Naar aanleiding van bovenstaande stellingname is het goed te vermelden dat er regelmatig wetenschappelijke papers in *peer-reviewed* uitgaven verschijnen die een relatie tussen blootstelling aan elektromagnetische velden en negatieve gezondheidseffecten rapporteren. Er verschijnen daarentegen ook regelmatig wetenschappelijke papers in *peer-reviewed* uitgaven die geen relatie rapporteren. De wetenschap heeft dus nog geen sluitend antwoord over de aan- of afwezigheid van langetermijneffecten.

Dat ICNIRP als entiteit de stand van de wetenschap continue weegt, blijkt uit een recente notitie [9] over twee studies uit 2018 die een mogelijke relatie tussen het ontstaan van kanker door hoogfrequent elektromagnetische velden aangeven. Naast de sterke punten die de onderzoeken hebben, zijn er ook beperkingen. De ICNIRP concludeert over radiofrequente velden (zie de samenvatting van [9]) het volgende

> "*ICNIRP concluded that these substantial limitations preclude conclusions being drawn concerning RF EMFs and carcinogenesis.*"

Het is dus voor ICNIRP onmogelijk (*preclude*) om op basis van deze onderzoeksresultaten de relatie tussen radiofrequente elektromagnetische velden en het ontstaan van kanker te bevestigen. Sommigen stellen dat ICNIRP bewijs voor relaties wegredeneert en bewijs tegen mogelijke relaties uitvergroot. Echter, het proces van wetenschapsbeoefening staat een belangrijke verandering in de huidige inzichten alleen toe als dat vergezeld gaat met solide resultaten die de toets der wetenschappelijke kritiek kunnen doorstaan. Dit impliceert ook dat er tussen wetenschappers verschillen van inzichten blijven bestaan totdat een dergelijke verandering geaccepteerd is. Dit gebeurt over de gehele linie van de wetenschap op regelmatige basis en vormt de essentie van het zelfreinigend vermogen in de wetenschapsbeoefening.

De wijze van werken van ICNIRP en de integriteit van de leden worden beschreven in [10].

2.3.1 Uitgangspunten van de ICNIRP-richtlijn

Om gezondheidsschade door blootstelling aan externe factoren te kunnen voorkomen is kennis over wanneer een effect optreedt, en wat het effect op de gezondheid zou kunnen zijn, noodzakelijk. Deze inzichten kunnen worden verkregen door middel van inzicht in een biologisch mechanisme, epidemiologische en gezondheidsstudies en/of door middel van *in-vitro* of *in-vivo* dierexperimenten. Deze lijst is niet uitputtend maar geeft aan dat de ernst van ieder effect moet worden vastgesteld om een basis te kunnen vormen om grenswaarden voor de blootstelling af te kunnen leiden. Onzekerheden in de wetenschappelijke kennis en/of omstandigheden kunnen aanleiding geven tot het introduceren van veiligheidsfactoren. Zo stelt ICNIRP vast welke limietwaarden volgens de wetenschappelijke inzichten voldoende bescherming zouden bieden.

Zonder in deze rapportage een uitgebreid en uitputtend overzicht te geven van wat momenteel gaande is, wordt voor de huidige werkzaamheden van de WHO, IEEE, Gezondheidsraad en ICNIRP verwezen naar de bijbehorende websites. Regelmatig wordt door deze organisaties de stand van de wetenschap geëvalueerd. Een nieuw inzicht kan leiden tot wijzigingen in de limieten. Een wijziging is niet noodzakelijkerwijs een verlaging (verzwaring) van een limiet, het kan ook een verhoging (verlichting) zijn. In het eerste kwartaal van 2020 wordt een herziening van de ICNIRP-richtlijn verwacht. Zodra de ICNRIP-richtlijn herzien is, wordt geadviseerd om te beoordelen of deze herziening consequenties heeft voor de conclusies en aanbevelingen gegeven in hoofdstuk 7.

Alleen geobserveerde effecten die de toets van de wetenschappelijk kritiek[6] kunnen doorstaan kunnen als basis worden gebruikt om de ICNIRP-richtlijnen te ontwikkelen. ICNIRP heeft vastgesteld dat dit de volgende effecten zijn:

- Thermische effecten
  De opwarming van het lichaam en/of plaatselijke opwarming van hoofd, armen en benen moet worden gelimiteerd.
  Dit is ook het reeds genoemde effect dat optreedt als een oogbol wordt blootgesteld aan hoge intensiteiten waardoor cataract optreedt. Dit is te vergelijken als het koken van een ei waarbij het eiwit wit kleurt. Opgemerkt wordt dat dit pas optreedt bij veel hogere intensiteiten dan de ICNIRP-richtlijn toestaat.
- Niet-thermische effecten zoals contactstromen en geïnduceerde elektrische stromen
  Voorkomen moet worden dat deze elektrische stromen in concurrentie komen met de in het lichaam aanwezige elektrische stromen. Te denken valt hierbij aan het voorkomen van onbedoelde stimulatie van zenuwbanen.
- Thermo-elastisch effect
  Dit is een gering thermisch effect beter bekend als "*RF-pulsed hearing"* of ook als *"microwave auditory effects"*. Dit is een verschijnsel dat wordt gerapporteerd bij blootstelling van het hoofd aan korte pulsen van elektromagnetische velden.

[6] Het bedrijven van wetenschap is gebouwd rond het begrijpen van observaties, het formuleren van hypothesen, het toetsen van hypothesen, eventueel bijstellen van een hypothese en weer toetsen en uiteindelijk een onafhankelijke replicatie door andere (meerdere) onderzoeksgroepen. Het zorgvuldig doorlopen van dit proces en het doorstaan van kritische analyses door collega materie-deskundige wetenschappers is een essentiële voorwaarde voor het verkrijgen van wetenschappelijke acceptatie. Op de website van de Amerikaanse universiteit Berkeley [52] is het wetenschappelijke proces op een heldere wijze nader toegelicht.

De intensiteit is afhankelijk van de gemiddelde hoeveelheid energie in een enkele puls. In [11] is onderzocht dat deze kliks alleen te horen zijn in een zeer stille omgeving. Zelfs bij piekveldsterkten tegen de ICNIRP-richtlijn ligt de opgewekte akoestische energie nog ruim onder de grens waarop gehoorschade optreedt. ICNIRP vermeldt over dit effect wel dat "*Repeated or prolonged exposure to microwave auditory effects may be stressful and potentially harmful."* De ICNIRP-richtlijn, de IEEE-standaard [12] en ook de WHO [8] stellen echter geen limietwaarden omdat, onder normale condities, deze effecten niet voor zouden komen.

CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) standaard EN50413 [13] omschrijft de methodiek die gevolgd moet worden om de blootstelling aan elektromagnetische velden te bepalen. Dat kan door middel van het uitvoeren van metingen zijn, CENELEC beschrijft het meetrecept dat uitgevoerd moet worden. Ook is het mogelijk de blootstelling met behulp van (computer)berekeningen te bepalen, uitgaand van de eigenschappen van de zendantennes en het zendvermogen. Momenteel is de standaard EN50413 in herziening en is bekend als PREN 50413 van 1 januari 2018.

Omdat blootstelling schadelijk kan zijn indien het lichaam, of delen van het lichaam, te veel wordt opgewarmd (thermisch effect), schrijft ICNIRP limietwaarden voor. Dit geldt ook voor geïnduceerde elektrische stromen als deze kunnen gaan concurreren met de stromen die van nature aanwezig zijn in een mens. De bijbehorende richtlijn is voor frequenties lager dan 100 kHz in 2010 gepubliceerd [14] en voor die frequenties van toepassing. Omdat deze rapportage primair elektromagnetische velden boven een frequentie van 100 kHz behandelt, wordt publicatie [14] niet verder in detail besproken.

Zoals eerder aangegeven veroorzaken radiofrequente elektromagnetische velden opwarming in biologisch weefsel. Daarvoor heeft ICNIRP basisrestricties opgesteld voor opwarming, vermogensdichtheid van het elektromagnetische veld en geïnduceerde stromen, zie pagina 508 in [1]. Voor opwarming zijn deze basisrestricties gegeven als *Specific Absorption Rate* [W/kg] wat een maat is voor de hoeveelheid elektromagnetisch vermogen dat wordt geabsorbeerd per kilogram gewicht. ICNIRP kent twee typen SAR waarden als basisrestrictie. Een voor het hele lichaam, bekend als *whole body SAR* en de andere is lokale SAR, *localized SAR*, gegeven voor hoofd, romp, armen en benen (extremiteiten). Voor de *whole body SAR* is de basisrestrictie 0,08 W/kg. Voor hoofd en romp is de *localized SAR* basisrestrictie 2 W/kg en voor de extremiteiten 4 W/kg. Deze drie basisrestricties gelden voor het algemene publiek.

In de vaststelling van de basisrestricties en de daarvan afgeleide waarden van blootstellingslimieten is een veiligheidsmarge verwerkt die wordt toegepast op die waarde van blootstellingintensiteit waarop biologische effecten zijn gevonden. In het kader van de discussie over ALARA verderop in dit rapport, is deze blootstellingintensiteit te zien als een drempelwaarde. In de richtlijn wordt deze drempelwaarde, de SAR-waarde voor radiofrequente velden, genomen als een waarde waarop mogelijk gezondheidseffecten kunnen optreden. Voor de vaststelling van de blootstellingslimiet voor het algemene publiek, is deze waarde met een veiligheidsmarge van een factor 50 verlaagd. Deze factor 50 is gekozen

om rekening te houden met verschillen in menselijke lichaamsbouw, met kwetsbare groepen zoals ouderen, kinderen en/of mensen met een zwakke gezondheid.

De blootstellingslimieten worden als functie van de frequentie van de elektromagnetische straling gegeven, een gegeven dat voor niet-ingewijden verwarrend kan zijn. Zo geldt voor een hoogspanningsleiding op 50 Hz een andere limiet dan voor een radar op 1 GHz, of voor een WiFi-router die op 2,4 GHz en/of 5,8 GHz werkt.

Opgemerkt moet worden dat in de ICNIRP-richtlijn een middelingstijd van 6 minuten wordt voorgeschreven voor het vaststellen van de tijdgemiddelde blootstelling. Een incidentele, en kortdurende, overschrijding van de ICNIRP-limietwaarde zal derhalve niet vaak tot een overschrijding van de tijdgemiddelde ICNIRP-limietwaarde leiden. Tevens wordt opgemerkt dat voor de piekwaarden van de elektrische veldsterkte de ICNIRP- richtlijn limietwaarden stelt (zie linker kolom, twee onderdeel op blz. 513 van [1]).

Belangrijk is te vermelden dat volgens de huidige inzichten ‘onder de ICNIRP-limiet’ betekent dat aan de mens voldoende bescherming wordt geboden tegen negatieve effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden.

De ICNIRP-richtlijn [1] is in 2009 door ICNIRP herbevestigd, zie het volgende citaat: “*However, it is the opinion of ICNIRP that the literature published since the 1998 guidelines has provided no evidence of any adverse effects below the basic restrictions and does not necessitate an immediate revision of its guidance on limiting exposure to high frequency electromagnetic fields.*” [15].

2.3.2 Commissie Elektromagnetische Velden van de Gezondheidsraad

Naast de ICNIRP buigt ook de Commissie Elektromagnetische Velden (EMV) van de Gezondheidsraad zich regelmatig over de stand van de wetenschap. Over het algemeen kan gesteld worden dat in de adviezen van de Gezondheidsraad de wetenschappelijke analyse en uitkomsten van de ICNIRP worden bevestigd waarbij de Commissie van de Gezondheidsraad zelfstandig een eigen afweging maakt.

Ook de commissie stelt dat voor het bestaan van lange-termijn effecten tot op heden geen consistent wetenschappelijk bewijs is gevonden. In een recent advies heeft de gezondheidsraad over de vermoedelijke relatie tussen het gebruik van mobiele telefoons aan het hoofd en tumoren op pagina 11 het volgende gerapporteerd [16] (letterlijk citaat):

> *“Naar haar oordeel kan niet worden gesteld dat er een bewezen verband is tussen langdurig en frequent gebruik van een mobiele telefoon en een verhoogd risico op tumoren in de hersenen of het hoofd-hals gebied. Op basis van de zeggingskracht van de beschikbare gegevens kan volgens de commissie slechts worden geconcludeerd dat zo’n verband niet valt uit te sluiten. De commissie acht het onwaarschijnlijk dat blootstelling aan radiofrequente velden, die samenhangt met het gebruik van een mobiele telefoon, kanker veroorzaakt. Gegevens uit dierexperimenten wijzen op de mogelijkheid dat blootstelling aan dergelijke velden de ontwikkeling van tumoren stimuleert. Het is echter onduidelijk of hiermee de toegenomen kans op tumoren in de hersenen en het hoofd-halsgebied, die in sommige*

epidemiologische onderzoeken is waargenomen, kan worden verklaard. De commissie vindt het waarschijnlijker dat een combinatie van verstoring, vertekening en toeval de verklaring vormt voor de epidemiologische bevindingen."

2.3.3 National Toxicology Program (NTP) study 2019

Zoals in paragraaf 2.3 vermeld dient de stand van wetenschap regelmatig getoetst te worden, zoals ICNIRP met de publicatie van [17] laat zien. In een recente publicatie, bekend als NTP-studie, van oktober 2019 [18] wordt de carcinogeniteit van GSM en UMTS velden gerapporteerd. Opvallend is dat tijdens de blootstelling de laagst toegepaste SAR waarde (*whole body*) tijdens dit dierexperimenteel onderzoek 1,5 W/kg bedraagt. Deze laagste waarde is een factor 18,75 hoger dan de ICNIRP basisrestrictie (*whole body*). Hoewel Smith-Roe en collega's veronderstellen dat tijdens de studie de lichaamstemperatuurstijging niet hoger is geweest dan 1ºC, geven ze ook aan dat het precieze mechanisme waarmee elektromagnetische velden tot de door hun gevonden DNA-schade zou veroorzaken niet bekend is. Het is daarbij ook de vraag in hoeverre dierexperimentele onderzoeksresultaten kunnen worden vertaald naar de humane situatie. Vooral omdat tijdens de experimentele omstandigheden de proefdieren over het gehele lichaam zijn blootgesteld en op een heel andere wijze zijn blootgesteld aan elektromagnetische velden dan hoe een mens tijdens het bellen wordt blootgesteld, namelijk met de telefoon aan een kant van het hoofd. Smith-Roe en collega's zijn over hun gevonden resultaten voorzichtig, dat blijkt uit "*Thus, whether the findings in the NTP animal studies (e.g. ….) indicate a potential for adverse health outcomes in humans remains a question*" (see "Discussion" of [18]). Of de resultaten van deze NTP-studie tot een herziening van de eerder genoemde stellingname door de Gezondheidsraad zal gaan leiden, moet worden afgewacht.

2.3.4 Samengestelde blootstelling (accumulatie)

Tijdens door de Gemeente georganiseerde hoorzittingen is door bewoners naar voren gebracht dat in het Thales-rapport [19] niet wordt ingegaan op het accumulerend effect veroorzaakt door meerdere stralingsbronnen. Dit is een juiste constatering. Specifiek werden daar genoemd mobiele telefonie, de weerradar van het KNMI en navigatieradars aan boord van scheepvaart op de Waal. Accumulatie is, bij nader inzien, niet de juiste term hoewel dit recent wel is gebruikt, zie onder andere [20]. Er treedt in de tijd gezien namelijk geen ophoping (accumulatie) op van straling, zoals wel met ioniserende straling het geval is. De opwarmingseffecten tellen wel op waardoor de totale opwarming het gevolg is van de gelijktijdige samenstelling van al de afzonderlijke bijdragen. In deze rapportage geeft TNO daarom de voorkeur eraan niet over accumulatie te spreken maar over samengestelde blootstelling (van meerdere bronnen).

De ICNIRP-richtlijn schrijft een methodiek voor om te controleren of samengestelde blootstelling aan meerdere stralingsbronnen de limietwaarde overschrijdt. Deze methodiek verdisconteert verscheidene stralingsbronnen, met mogelijk verschillende frequenties. Om te toetsen of aan de ICNIRP blootstellingslimiet wordt voldaan, moet de volgende som worden bepaald:

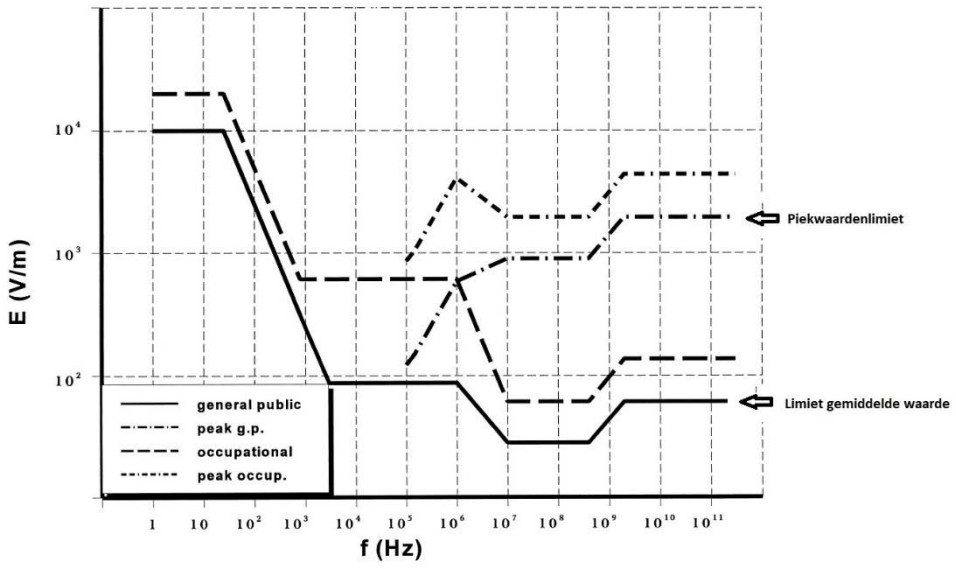
$$L^2 = \sum_{i=100\ kHz}^{300\ GHz} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}}\right)^2 \leq 1$$

waarbij E_i (in de teller) de elektrische veldsterkte is die wordt gemeten, of is berekend, voor frequentie *i*. $E_{L,i}$ (in de noemer) is het elektrische veldsterkte referentieniveau die voor frequentie "*i*" in de ICNIRP als maximum wordt opgegeven. L , berekend door de wortel te nemen van de gesommeerde reeks, geeft de fractie van de totale ICNIRP blootstellingslimiet weer. L vermenigvuldigd met 100 geeft het percentage van de limiet aan.

Om voor de gecombineerde blootstelling het percentage van de totale limiet uit te rekenen, moet de wortel van bovenstaande som worden genomen. Het toepassen van de vierkantswortel is consistent met de situatie als er maar één frequentie voorkomt, dan levert de hier gehanteerde berekening voor gelijktijdige samengestelde blootstelling de oorspronkelijke verhouding $L = \frac{E}{E_L}$ weer op. Voor alleen de toetsing of de samengestelde blootstelling aan de ICNIRP blootstellingslimiet voldoet, is de toets of de gesommeerde reeks kleiner dan of gelijk aan 1 voldoende. Daarmee is het wel of niet toepassen van de vierkantswortel niet belangrijk.

2.3.4.1 Verschillende bronnen van elektromagnetische velden

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de samengestelde blootstelling van elektromagnetische velden. De limietwaarden die de ICNIRP-richtlijn aangeeft zijn afhankelijk van de frequentie. ICNIRP legt naast de tijdgemiddelde waarde van het elektromagnetische veld ook een beperking op als het over de piekwaarde van een gepulst veld gaat. figuur 1 geeft de limietwaarden voor het elektrisch veld weer volgens de ICNIRP-richtlijn [1]. De afhankelijkheid van de frequentie is hier duidelijk in te herkennen.



Figuur 1 Limieten voor het elektrische veld volgens ICNIRP1998. De pijlen geven de limietwaarden aan voor het algemene publiek. De bovenste pijl is de limietwaarde voor de piekveldsterkte van een gepulst signaal. De onderste pijl geeft de tijdgemiddelde veldwaarde.

Tijdens dagelijkse bezigheden worden mensen blootgesteld aan elektromagnetische velden afkomstig van verschillende bronnen, zoals mobiele

telefoons, Bluetooth apparaten, WiFi accesspoints, anti-diefstalpoortjes, (garage)deuropeners, Smart-keys, draadloos betalen, enzovoorts. De exacte blootstelling varieert en is afhankelijk van het type van de bronnen, de afstand tot iedere bron en het gebruik. De blootstelling van een mobiele telefoon tijdens gebruik aan het hoofd is anders dan wanneer een handsfree oorsetje wordt gebruikt.

In deze rapportage kan dan ook geen exacte berekening worden gemaakt van wat iedere bewoner aan samengestelde blootstelling zal krijgen. In deze rapportage zal TNO wel op hoofdlijnen een verwachting geven van wat de te verwachte blootstelling zal zijn, onder verschillende veronderstellingen. Bij het maken van deze veronderstellingen zal TNO eerder een waarde kiezen waardoor de berekening hoger uitvalt (*worst-case* schatting), dan een waarde waardoor de samengestelde blootstelling ten opzichte van de limietwaarde gunstiger uitvalt. TNO heeft in een eerder memorandum geadviseerd [20] om door metingen, voorafgaand aan het operationeel stellen van de SMART-L radar, te verifiëren of de radarinstallatie voldoet aan de dan geldende ICNIRP-richtlijn. Door de berekeningen zodanig uit te voeren dat niet per bron naar de gunstigste waarde wordt gezocht wordt een bovengrens van de te verwachte samengestelde blootstelling verkregen. In hoofdstuk 5 wordt voor de dichtstbijzijnde locatie ten opzichte van de SMART-L radar deze berekening specifiek gegeven.

In het dagelijks gebruik worden mensen blootgesteld aan diverse radiofrequente bronnen, zoals:

- omroepuitzendingen (analoog, DVBT, DAB+);
- mobiele telefonie basisstations;
- WiFi, een of meerdere draadloze routers, en overige apparatuur die gebruik maakt van WiFi zoals computers (met name laptops), draadloze camerasystemen, mobiele telefoons, tablets, fotocamera's;
- eigen draagbare apparaten zoals bluetooth, bijvoorbeeld aanwezig in draadloze koptelefoons, mobiele telefoons, tablets en laptops;
- DECT-huistelefoon.

Bovenstaande lijst is niet uitputtend maar geeft een indruk waaraan men zoal kan worden blootgesteld in een Nederlands huishouden. In [21] heeft het RIVM voor typische omstandigheden de blootstelling van burgers aan elektromagnetische velden en velden onderzocht en stelt dat in het algemeen de aanbevolen ICNIRP-blootstellingslimieten (in [21] referentieniveaus genoemd) niet worden overschreden.

Met betrekking tot de berekening zal in hoofdstuk 5 rekening worden gehouden met de volgende vast-opgestelde bronnen.

- weerradar van het KNMI;
- de primaire radar (PSR) van het SMART-L systeem;
- de secundaire radar (MSSR) van het SMART-L system.

Tevens wordt met de volgende mobiele bronnen rekening gehouden:

- scheepsnavigatieradars op de Waal;
- mobiele telefonie en omroep, waarbij gebruik gemaakt is van metingen uitgevoerd door het Agentschap Telecom [22].
  Hierbij wordt opgemerkt dat de metingen van het Agentschap Telecom

betrekking hebben op de bijdragen van de basisstations en omroepzendmasten. De bijdragen van de persoonsgedragen mobiele telefoons, DECT-telefoons en WiFi apparatuur zijn niet in deze metingen meegenomen. TNO heeft een schatting gemaakt van de te verwachten bijdrage in de blootstelling van deze radiofrequente bronnen.

2.3.5 Ontwikkelingen op 5G

Een onlangs aan de voorzitter van de Tweede Kamer verstrekte brief betreffende 5G en gezondheid, afkomstig van de staatsecretaris van Economische Zaken en Klimaat en de Minister voor Medische Zorg en Sport, [23], is in dit kader informatief. In het stuk wordt geconcludeerd (letterlijk citaat):

> "*Uit alle inmiddels afgeronde onderzoeken en de Gezondheidsraadadviezen waarin alle literatuur is meegenomen, blijkt dat er geen aanwijzingen [voor gezondheidsrisico's] zijn, zolang de blootstelling beneden de blootstellingslimieten blijft*."

De website van het kennisplatform Elektromagnetische Velden geeft op het gebied van 5G extra informatie [24]. Op het moment van schrijven van dit rapport is de ontwikkeling van 5G in Nederland nog bezig. Voor meer informatie wordt verwezen naar de website van het Antennebureau [25].

Omdat 5G nog in ontwikkeling is, is in het kader van deze rapportage nog weinig te melden over wat de uiteindelijke bijdragen van 5G aan de samengestelde blootstelling in Herwijnen zal betekenen. Eerste metingen van de elektrische veldsterkten bij de experimentele locaties laten zien dat de maximale veldsterkten de waarde van 3 V/m niet overschrijden, waarmee de te verwachte blootstelling aan 5G onder de ICNIRP-richtlijn ligt [26]. Het Agentschap Telecom houdt echter een slag om de arm, zoals in de conclusie te lezen is:

> *"Zoals valt te verwachten bij experimenten met testopstellingen worden de resultaten van de metingen sterk beïnvloed door de instellingen van de installaties zoals gekozen door de operators; bij elke testopstelling is een verschillend uitgestraald zendvermogen gebruikt. De gemeten veldsterktes geven daarom alleen een indicatie in verhouding tot de uiteindelijk toegepaste 5G systemen."*

Een ander aspect is dat de verwachting is dat door de bandbreedte van 5G en de korte vertragingstijden het karakter van het gebruik zal veranderen, waaronder het gebruik in autonome systemen. Ook dit zal effecten hebben op de toekomstige blootstelling wat momenteel nog niet voldoende nauwkeurig in kaart te brengen is.

2.3.6 Conclusie gelijktijdige samengestelde blootstelling

Een exacte waarde voor iedere bewoner van de dorpskern Herwijnen in de gemeente Nieuw Betuwe is niet te geven. De precieze blootstelling is erg afhankelijk van het aantal bronnen van elektromagnetische velden, het type en effectief uitgestraald vermogen per bron, de modulatievorm en de afstand tot die bron. In het bijzonder vormen de eigen apparaten voor onzekerheden in "wat de exacte blootstelling" precies zou zijn.

Voor het perceel dat het dichtste bij de voorgenomen radarinstallatie staat, is de samengestelde blootstelling in hoofdstuk 5 nader toegelicht, waarbij rekening is gehouden met de SMART-L, mobiele telefonie en omroep als ook de navigatieradars op de Waal.

2.4 Amyotrofische Laterale Sclerose (ALS) en elektromagnetische velden

Amyotrofische Laterale Sclerose (ALS) is een progressieve zenuw/spierziekte. Deze ziekte leidt tot spierzwakte en verlamming die vaak op termijn van 2 tot 5 jaar na de eerste klachten fataal afloopt ([27] en [28]). De oorzaak van ALS is vandaag de dag niet helder. Een relatie tussen genetische eigenschappen en omgevingsfactoren wordt wel gezien als een belangrijke factor die de ontwikkeling van ALS veroorzaakt. Een review artikel uit 2015 van Ingre *et.al.* [27] geeft hiervan een overzicht.

2.4.1 Mogelijke oorzaken van de ziekte ALS

Omgevingsfactoren die vermoedelijk betrokken zijn bij het ontstaan van ALS zijn divers, zie bijvoorbeeld Ingre *et.al.* [27]. Vermoed wordt dat bepaalde genetische expressies door omgevingsfactoren worden gestimuleerd waardoor ALS zich kan gaan ontwikkelen. Om hier meer inzicht in te krijgen wordt volop wetenschappelijk onderzoek verricht en uit een recent proefschrift [29] blijkt dat de wetenschap hier nog geen sluitende antwoorden op heeft.

De Gezondheidsraad verwacht in het eerste kwartaal van 2020 een advies te publiceren over laagfrequente elektromagnetische velden en ALS.

2.4.2 ALS en laagfrequent elektromagnetische velden

In [30] is een wetenschappelijke literatuur review en meta-analyse gegeven over ALS en blootstelling in de werksituatie. Daarin is ook een vermoedelijke relatie tussen laagfrequente elektromagnetische velden en ALS aangegeven. Hetzelfde geldt voor elektrische schokken. Het is belangrijk aan te geven dat als er een statistisch significant verband is dat een dergelijk verband niet betekent dat laagfrequent elektromagnetische velden de ziekte ALS veroorzaakt. Ook geldt deze statistisch significant relatie voor blootstelling binnen de uitvoering van het beroep elektricien of lasser. Vanwege het grote verschil in blootstelling aan laagfrequent elektromagnetische velden tussen deze beroepsgroep en bewoners is het resultaat niet zondermeer toepasbaar op een woonsituatie.

2.4.3 ALS en radiofrequente elektromagnetische velden

Een literatuuronderzoek heeft aangetoond dat er nauwelijks onderzoek is verricht naar een mogelijk verband tussen radiofrequente elektromagnetische velden en ALS. Recent is een artikel van Luna *et.al* [31] gepubliceerd waar een mogelijk verband tussen wonen in de buurt van GSM basisstation-antennes en een statistisch significante verhoging van het relatieve risico op het ontwikkelen van ALS wordt gerapporteerd.

Hoewel de auteurs zelf voorzichtig zijn door te stellen dat hun studie geen causaliteit aangeeft en concluderen dat meer studies nodig zijn om een mogelijk verband tussen radiofrequent elektromagnetische velden en neurodegeneratieve ziekten aan te tonen, blijkt er het nodige mis te zijn met deze studie, namelijk:

- Het belangrijkste probleem is dat Luna en collega's geen kennis hebben over de woonlocaties van de controlegroep. Op basis van gebouwlocaties hebben ze de controlegroep uniform verdeeld over gebouwen. Van de ALS-cases waren wel de woonadressen bekend. De veronderstelling dat de analyse correct is door voor de controlegroep een uniforme verdeling te nemen terwijl van de ALS-patiënten wel de juiste adressen gebruikt zijn is niet juist.
- Mobiele telecomproviders ontwerpen hun netwerk zodanig om hun klanten voldoende capaciteit te bieden. Dat houdt in dat hoe dichter een oppervlakte bevolkt is, des te meer basisstations er te verwachten zijn. Het is onduidelijk of de controlegroep onder een soortgelijke bevolkingsdichtheid leeft.
- Een bijkomend probleem is dat over de onderzoeksperiode de bevolkingsblootstelling is veranderd, naast GSM (2G) is UMTS (3G) ook uitgerold en vrij recentelijk LTE (4G). Ook is de wijze van gebruik van mobiele telefoons over de tijd drastisch veranderd. Dit soort veranderingen over de tijd maakt het uitermate ingewikkeld om voor één specifieke blootstelling een relatie naar een effect te vinden.
- Een veel voorkomend probleem bij dergelijk onderzoek is het gevaar op misclassificatie van de blootstelling. De auteurs hebben eenvoudige vrije-veld rekenmodellen gebruikt en omgevingsfactoren zoals bebouwing verwaarloosd. Ze geven aan dat metingen en berekeningen elkaar niet tegenspreken terwijl adequaat blootstellingsonderzoek niet is uitgevoerd.

2.4.4 Wetenschappelijke beoordeling artikel van Luna et.al. [31]

Het onderzoek van Luna *et.al.* [31] is methodologisch inadequaat opgezet waardoor over een mogelijk verband tussen elektromagnetische RF-velden en het ontwikkelen van ALS niets te concluderen valt.[7]

Tot slot wordt in dit verband opgemerkt dat een statistisch significante relatie niet per definitie een causaal verband betekent, zie bijlage B.

[7] TNO heeft experts van de Universiteit Utrecht (IRAS) geconsulteerd om [31] op kwaliteit en betekenis te beoordelen [49].

3 Wet- en regelgeving, voorzorgsbeginsel, ALARA

3.1 Huidig kader in Nederland

Om gezondheidsschade ten gevolge blootstelling van mensen aan te hoge intensiteiten van elektromagnetische velden te voorkomen, worden in Nederland de blootstellingslimieten gegeven in de ICNIRP-richtlijnen gehanteerd. De raad van de Europese Unie heeft in document 1999/519/EG, [4], de lidstaten aanbevolen om deze blootstellingslimieten te hanteren. Over de jaren heen heeft de Raad van State vastgesteld dat voor de toetsing naar blootstelling aan elektromagnetische velden de ICNIRP blootstellingslimieten moeten worden gehanteerd, namelijk in de uitspraken 200102167/1, 200508031/1, 200506514/1, 200800497/1, 201506265/1/A1, 201006187/1/H1, 201801062/1/A1, 201803436/1/A1.

Bovenstaande lijst is geen uitputtend overzicht, maar heeft tot doel aan te geven dat inmiddels over een geruime periode van 2001-2018 de ICNIRP-richtlijn door de Raad van State als toetsingskader wordt gebruikt. Een inhoudelijke analyse van deze uitspraken valt buiten de scope van dit onderzoek.

3.2 Landen om ons heen

In de RIVM rapportage [5] wordt geïnventariseerd of en in hoeverre nationale richtlijnen, mogelijk in wetgeving vastgelegd, afwijken van de ICNIRP-richtlijnen. Zoals reeds gesteld, kan een nationaal standpunt afwijken van de aanbeveling van de raad van de Europese Unie (document 1999/519/EG, [4]). Het vaststellen van limietwaarden is een soevereine zaak en iedere lidstaat kan er een eigen standpunt op na houden. Ook moet worden opgemerkt dat er geen uniformiteit aanwezig is in de gehanteerde afwijkingen waardoor een onderlinge vergelijking lastig is. Tevens valt op dat de afwijkende standpunten veelal rondom de aanwezigheid van mobiele telefonie basisstations en omroepzendinstallaties georganiseerd is.

In het rapport van het RIVM zijn in het vergelijken van de verschillende limieten drie groepen van clusters gedefinieerd, namelijk:

<u>Groep 1</u>
In Groep 1 zijn de landen opgenomen die de aanbeveling van de raad van de Europese Unie (document 1999/519/EG, [4]) in nationale regelgeving hebben overgenomen.

<u>Groep 2</u>
In Groep 2 zijn de landen opgenomen die de aanbeveling van de raad van de Europese Unie (document 1999/519/EG, [4]) **niet** in nationale regelgeving hebben overgenomen. Nederland hoort tot deze groep waarbij in het rapport opgemerkt wordt dat telecombedrijven de ICNIRP-richtlijn op publieke plaatsen respecteert.

<u>Groep 3</u>
In groep 3 zijn de landen opgenomen die strengere blootstellingslimieten hanteren dan de aanbeveling van de raad van de Europese Unie (document 1999/519/EG, [4]). Met betrekking tot groep 3, rapporteert het RIVM het volgende:

> "*In the third group of member states, there are stricter reference levels and/or basic restrictions based on the precautionary principle and/or due to public pressure.*
> *The limits chosen are sometimes based on the principle 'as low as reasonably achievable without endangering service'. One practical choice for stricter limits can be to adopt the lower limit for interference in the European standards for electromagnetic compatibility (for example in Belgium). In other countries the reasons for particular limits are unclear or arbitrary (for example in Greece and Italy). In some member states the stricter reference levels are applied as exposure limits that may not be exceeded. Since there is a great diversity in particular rules and limits, a summary is given per member state.*"

Er blijkt dus een grotere diversiteit van het gevoerde beleid tussen de diverse lidstaten te zijn. In de volgende secties in dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan het voorzorgsbeginsel (*precautionary principle*) en aan ALARA, wat in de overwegingen van de lidstaten in groep 3 waarschijnlijk een rol heeft gespeeld. Deze landen zijn België, Bulgarije, Kroatië, Griekenland, Italië, Litouwen, Luxemburg, Polen en Slovenië. Een toets of de huidige en toekomstige situaties in het kader van dit onderzoek wel of niet aan de door bovengenoemde landen wel of niet zouden voldoen, is niet eenduidig te geven. Een voorbeeld hiervoor is België, een land dat vaak genoemd wordt als referentie in het toepassen van het voorzorgbeginsel. De maximaal toegestane elektrische veldsterkten in België variëren van 3 V/m per antennelocatie tot maximaal 21 V/m in een samengestelde blootstelling. Echter de regelgeving verschilt per gewest. In Brussel wordt de laagste limiet gehanteerd. In Wallonië en Vlaanderen wordt in de publieke ruimte een limiet van 3 V/m per antenne-inrichting gehanteerd met een limiet voor de totale blootstelling van 20,6 V/m (op 900 MHz). In Brussel wordt een limiet van 6 V/m voor de totale blootstelling voor alle publiek toegankelijke plaatsen gehanteerd (zie voetnoot 3 van [5]) [8] .

Opgemerkt moet worden dat het Brussels hoofdstedelijk gewest de zogenaamde 'ordonnantie' [32] niet van toepassing heeft verklaard op onder andere de elektromagnetische velden van toestellen gebruikt door particulieren. De eigen systemen zullen in de beschouwing van samengestelde blootstelling in Bijlage C van dit rapport dan ook buiten beschouwing worden gehouden.

3.3 Voorzorgsbeginsel en ALARA

Op 28 september 2008 heeft de Gezondheidsraad aan de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer een advies "Voorzorg met rede" [33] aangeboden. Dit advies is opgesteld door de toenemende wens om het voorzorgsbeginsel (beleidsmatig) toe te passen. De commissie geeft na een wetenschappelijke analyse advies wat het voorzorgbeginsel in haar ogen inhoudt en hoe het zou kunnen worden gebruikt. Dit advies van de commissie is primair bedoeld voor beleidsmakers, doch de commissie stelt dat het advies ook voor alle bij besluitvorming betrokken partijen nuttig is.

[8] In Bijlage C wordt ingegaan hoe de gelijktijdig samengestelde blootstelling zou uitkomen indien de strengste Belgische situatie (Brussel) gehanteerd zou worden.

De commissie ziet het voorzorgsbeginsel niet als een beslisregel die algemeen gebruikt kan worden voor situaties met onzekerheden. Volgens de commissie is het voorzorgsbeginsel een strategie om

> "*alert, zorgvuldig, redelijk, transparant en op de situatie toegesneden met onzekerheden om te gaan.*"

Tevens is de commissie van oordeel

> "*dat (mogelijk) negatieve gevolgen niet per definitie zwaarder moeten wegen dan (mogelijke) positieve.*"
>
> (beide citaten uit [33] op pagina 15).

Als illustratie voor het tweede oordeel: het gegeven dat dankzij mobiele telefonie mensenlevens gered worden is een positief effect dat zeker wel in overweging zou moeten worden genomen.

Het voorzorgsbeginsel is van toepassing op vraagstukken waarbij (grote) onzekerheid aanwezig is. De onzekerheid zodanig zijn dat dit een belemmering voor de besluitvorming vormt. Binnen het besluitvormingsproces geeft de commissie aan dat het denken over risico's de laatste decennia veranderd is van nagenoeg uitsluitend het domein van de technische- en natuurwetenschappelijke aanpak naar een veld waarbij ook aandacht is voor psychologische en sociologische aspecten over de risicoperceptie van burgers. De commissie adviseert dan ook om bij de uitvoering van het risicobeleid al in een vroeg stadium relevante maatschappelijke partijen te betrekken. Openheid en transparantie moeten daarbij centraal staan (zie pagina 17 van [33]).

De commissie geeft in haar advies een strategie aan die kan worden opgevat als voorzorgsbeginsel waarmee met eventuele onzekerheden kan worden omgegaan. Het voorzorgsbeginsel kan een nuttige strategie zijn om de kans te verkleinen dat *early warnings* onopgemerkt blijven en de mogelijkheid om schade zoveel als mogelijk te beperken door tijdig ingrijpen (*learning by restricted error*). Het voorzorgsbeginsel is geen garantie dat de samenleving voor onaangename verrassingen behoedt kan worden.

Een goed voorbeeld van een bewuste omgang met onzekerheden is te vinden in de ioniserende stralingsbescherming. Onder invloed van het ALARA-beginsel is een cultuur ontstaan waar het bewust omgaan met onzekerheden en risico's gemeengoed is geworden. Regelmatig wordt het ALARA-beginsel aangehaald als een manier om het voorzorgsbeginsel in te vullen. Of dit daadwerkelijk de meest voor de hand liggende weg is, is afhankelijk van de redelijkheid van de te nemen maatregelen in relatie tot de kennis over mogelijk risico's en inzicht in onzekerheden.

3.3.1 As Low As Reasonably Achievable

Het ALARA-beginsel is niet identiek aan het voorzorgsbeginsel, zie bijlage E in [33]. Het ALARA-beginsel vindt zijn oorsprong in de bescherming tegen ioniserende straling. Binnen dit werkveld van stralingsbescherming is een vaststaand feit dat blootstelling aan ioniserende straling de kans op het ontwikkelen van kanker

verhoogt. De onzekerheid hierbij is dat niet ieder individu bij dezelfde dosis[9] een tumor ontwikkelt. Mogelijk ontwikkelt het ene individu bij een bepaalde dosis helemaal geen tumoren terwijl een ander individu dat wel doet. Bij de risicovaststelling per individu zit een stochastisch element en dat levert onzekerheid op. Wel is uit theoretische overwegingen en onderzoeksresultaten de conclusie te trekken dat bij een afnemende dosis de kans op het ontwikkelen van tumoren ook afneemt. Dit wordt aangeduid als een lineair verband zonder drempelwaarde: LNT (*Linear Non Threshold*). In het LNT model is de veronderstelling dat (bij lage stralingsdoses) iedere dosis groter dan nul de kans op kanker lineair toeneemt. Omdat er geen grenswaarde is en tevens de onzekerheid bestaat over de mogelijk nadelige gevolgen van iedere vorm van de blootstelling aan ioniserende straling op de gezondheid, is het ALARA-beginsel een logische stap om het voorzorgsbeginsel invulling te geven. De omgekeerde redenering gaat niet op, dat wil zeggen dat toepassen van het voorzorgsbeginsel niet automatisch inhoudt dat ALARA moet worden toegepast.

3.3.2 ALARA en elektromagnetische velden

Hoewel het ALARA-beginsel uit de bescherming tegen nadelige gezondheidseffecten van ioniserende straling stamt, is ALARA als implementatie van het voorzorgbeginsel ook goed toe te passen op andere vormen van blootstelling aan mogelijk schadelijke omgevingsfactoren. Hierbij kan gedacht worden aan blootstelling aan chemische stoffen of aan ziektemakers. Deze blootstellingsaspecten vormen geen onderdeel van de scope van dit onderzoek en worden in deze rapportage verder niet besproken.

De mogelijke toepassing van ALARA en blootstelling aan elektromagnetische velden wordt in deze paragraaf nader besproken. Daartoe wordt een onderscheid gemaakt tussen laagfrequente elektromagnetische velden, lager dan 300 Hz, en hoogfrequent elektromagnetische velden in het frequentiegebied van 10 MHz tot 300 GHz. Het frequentiegebied tussen 300 Hz en 10 MHz wordt in deze rapportage gezien als een overgangsgebied en gezien de scope van het onderzoek waar de RF-bronnen zich tussen 80 MHz tot 12 GHz bevinden is dit onderscheid gerechtvaardigd.

3.3.2.1 Laagfrequente (<300 Hz) elektromagnetische velden

ALARA wordt toepast om de blootstelling van mensen aan niet-ioniseerde straling in het laagfrequente deel van het spectrum te beperken. Deze problematiek gaat over hoogspanningsleidingen en is van een geheel andere orde dan van radiofrequente (radar)signalen. Onbegrepen in de wetenschap is dat er wel een duidelijk statistisch significante associatie, maar geen oorzakelijk verband, is tussen laagfrequent magnetische velden sterker dan 0,4 µT en de incidentie van kinderleukemie. Het betreft volgens de statistiek hierbij voor 1 extra sterfgeval per 2 jaar, gemiddeld worden er in Nederland jaarlijks ongeveer 135 nieuwe gevallen van kinderleukemie vastgesteld [34]. Voor laagfrequent magnetische velden sterker dan 100 µT zijn wel biologische effecten gevonden maar het blijft een wetenschappelijke uitdaging om te begrijpen waarom epidemiologische onderzoeksresultaten een verhoogd risico op met name kinderleukemie aangeeft voor tijdgemiddelde blootstelling groter dan 0,4 µT. Een biologisch mechanisme is

[9] Dosis: de som van alle perioden van stralingsintensiteit, vermenigvuldigd met de blootstellingstijd,

niet met zekerheid vastgesteld en binnen dit onderzoeksveld is men nog op zoek naar dit biologisch mechanisme, zie een reviewartikel [35].

Belangrijk in dit kader is te herhalen dat blootstelling aan laagfrequent elektromagnetische velden een geheel ander interactie geeft dan blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden.

De minister van Economische Zaken en Klimaat heeft op 1 oktober 2019 het advies "Voorzorgbeleid Hoogspanning en Gezondheid" aan de Tweede Kamer gestuurd [36]. In het kader van de discussie over voorzorgbeginsel en ALARA in de vorige paragraaf 3.3.1, is toepassing van ALARA op blootstelling aan laagfrequent elektromagnetische velden als implementatie van het voorzorgbeginsel misschien niet nodig maar wel nuttig om maatschappelijke onrust en mogelijk disproportionele maatregelen te voorkomen. In het nieuwe advies wordt de grens van 0,4 µT losgelaten, evenals het onderscheid tussen oude en nieuwe situaties. De komende tijd zal de minister van Economische Zaken en Klimaat in overleg met belanghebbenden ALARA-maatregelen vaststellen.

3.3.2.2 Hoogfrequente elektromagnetische velden (10 MHz tot 300 GHz)

Voor RF is er geen duidelijk en consistente statistisch significante associatie met kanker; er is alleen voor langdurig mobiel bellen een licht verhoogt risico gevonden [37]. In [37] wordt de suggestie gegeven om op grond van deze nieuwe wetenschappelijke inzichten de IARC classificatie van 2B (mogelijk carcinogeen) naar 1 (carcinogeen) te veranderen. ICNIRP heeft in een recente *short note* het volgende over RF-velden en mogelijke carcinogeniteit aangegeven:

> "*ICNIRP concluded that these substantial limitations preclude conclusions being drawn concerning RF EMFs and carcinogenesis.*" [9]

Het wetenschappelijke debat is daarmee nog niet geslecht. Voor de volledigheid wordt hier aangegeven dat de blootstelling die met het voorgenomen radarsysteem een andere blootstelling betreft dan voor lange tijd bellen met een mobiele telefoon aan het hoofd geeft.

3.4 Wetenschappelijke onzekerheid versus beleidsvorming

In het advies van de Gezondheidsraad uit 2016 over mobiele telefoons en kanker [16], formuleert de raad in haar conclusie het volgende:

> *"Uit de zojuist geformuleerde conclusies vloeit voort dat onduidelijk is welke waarde maatregelen hebben om de blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden te verminderen. Toch wil de commissie haar eerdere aanbeveling herhalen: pas het ALARA-principe toe. Dat wil zeggen: houd de blootstelling zo laag als redelijkerwijs mogelijk is (As Low As Reasonably Achievable). Het is bijvoorbeeld onnodig dat apparatuur met een groter vermogen of gedurende een langere tijdsperiode uitzendt dan noodzakelijk is om een goede verbinding te hebben. De commissie stelt zich hiermee achter de aanbevelingen uit het advies Voorzorg met rede van de Gezondheidsraad."* [33]

Ook stelt de commissie, op basis van de in de conclusie geformuleerde onzekerheid [16], het volgende.

> *"Het is echter onduidelijk of hiermee de toegenomen kans op tumoren in de hersenen en het hoofd-halsgebied, die in sommige epidemiologische onderzoeken is waargenomen, kan worden verklaard."*

Het advies is om blootstelling aan mensen niet hoger te maken dan voor de werking van een of meerdere systemen nodig is. De gezondheidsraad doelt in haar advies bijvoorbeeld ook op het gebruik van oortjes in plaats van de telefoon aan het hoofd te houden. Niet omdat er wetenschappelijke aanwijzingen zijn dat dit beter voor de gezondheid zou zijn, maar om de blootstelling van het hoofd, indien de gebruiker (m/v) dit om welke reden wenst, zo laag als mogelijk te maken hetgeen toepassing van het ALARA-beginsel is. Erg belangrijk in dit kader is op te merken dat dit advies van de Gezondheidsraad is gegeven voor het gebruik van mobiele telefoons en dat bij de epidemiologische studies gekeken is naar mensen die (veel) bellen, met de telefoon aan het hoofd. De blootstelling is in een dergelijk geval heel anders dan voor bronnen die verder weg staan zoals een basisstation, radarinstallatie, enzovoorts.

Over het nut en de noodzaak over de toepassing van ALARA, zoals recent voor de hoogspanningslijnen is gedaan, bestaat er vanuit een wetenschappelijk perspectief echter geen reden om voor radiofrequente elektromagnetische straling de toepassing van ALARA te adviseren. De toepassing van de veiligheidsfactor 50 (voor publiek) kan worden opgevat als implementatie van het voorzorgsprincipe. De in dit rapport kort besproken wetenschappelijke onzekerheden zouden, ondanks de vigerende ICNIRP-richtlijn, beleidsmakers kunnen aanzetten tot toepassing van ALARA en verlaging van de toegestane blootstellingslimieten. Eventuele toepassing van ALARA op radiofrequente elektromagnetische velden reikt in dit geval verder dan specifiek alleen voor de voorgenomen plaatsing van de SMART-L radar in Herwijnen. Mogelijk dat voor eventuele beleidsvorming de *WHO Backgrounder on Cautionary Policies* [38]" behulpzaam zou kunnen zijn, evenals de adviezen met betrekking tot communicatie over elektromagnetische velden en gezondheid [39]. Ook geeft het RIVM [21] verschillende handelingskaders.

4 Thalesrapportage SMART-L

De rapportage van de radarfabrikant Thales, [19], biedt inzicht in de blootstelling van de primaire radarcomponent van het SMART-L systeem. Thales verschaft in het document inzicht in de veilige posities (in hoogte en in afstand) tot de radarantenne. Dit zijn de posities waarbij voldaan wordt aan de ICNIRP richtlijn die geldt voor ‘Algemeen publiek’. Het document is geschreven voor technisch experts zoals een *safety-engineer* en is, naar de mening van TNO, in deze vorm minder geschikt als bijlage voor bijvoorbeeld een milieu effectenrapportage (MER) of voor publieksvoorlichting.

Op verzoek van het Rijksvastgoedbedrijf heeft TNO de rapportage van de fabrikant, alsmede de onderliggende technische informatie, beoordeeld en een audit uitgevoerd. Deze beoordeling is in 2017 door middel van een briefrapportage aan het Ministerie van Defensie aangeboden [40]. Op basis van de beschikbaar gestelde documenten en informatie, in combinatie met de discussies tijdens de audit, heeft TNO geen aanleiding gehad te veronderstellen dat door de voorgenomen radarinstallatie de elektromagnetische veldsterkten op het terrein buiten de grenzen van de inrichting de maximale grenswaarden, zoals gegeven in de ICNIRP-richtlijn [1], zullen overschrijden. Deze conclusie geldt alleen voor de primaire radar van SMART-L (als enige bron) en voor de in de rapportages berekende configuraties. (De analyse voor samengestelde blootstelling wordt in deze rapportage gegeven.)

In het najaar van 2019 is een nieuwe versie van het Thales-rapport verschenen, [41]. Er zijn significante verschillen met de eerste versie [19], zo blijken voor de mode met de niet-roterende antenne de *boresight* veilige afstanden (hoger dan 24 m ten opzichte van het maaiveld) met meer dan een kwart te zijn toegenomen. In de mode met roterende antenne zijn de veilige afstanden ter hoogte van de antenne echter kleiner geworden, maar op lagere niveaus is het patroon grilliger. De conclusie dat het systeem voldoet aan de gestelde eisen blijft gehandhaafd.

Deze nieuwe gegevens zijn door TNO op plausibiliteit getoetst en realistisch bevonden. Deze nieuwe informatie is in hoofdstuk 5 gebruikt en hebben geleid tot een nauwkeurigere bepaling van, met name voor de starende modus, de elektrische veldsterkten dan TNO in een recent memorandum [20] heeft gebruikt.

4.1.1 Relatie met samengestelde blootstelling

De analyse van Thales is opgesteld vanuit het enkele radarsysteem omdat de fabrikant geen rekening kan houden met onbekende omgevingsfactoren. Primair is de fabrikant, net als een fabrikant van een mobiele telefoon, verantwoordelijk om de eventuele gevaren voor de gezondheid te analyseren en eventueel de gebruiker te informeren over noodzakelijke mitigerende maatregelen.

5 Locatie SMART-L Broekgraaf 1 Herwijnen

5.1 Te verwachte gelijktijdige samengestelde blootstelling

In dit hoofdstuk wordt het aspect gecombineerde blootstelling nader onderzocht. De SMART-L is geplaatst op Broekgraaf 1 te Herwijnen. De dichtstbijzijnde woning is op 450 m van de SMART-L zoals gegeven in [42] (figuur 6). Alle berekeningen van samengestelde blootstelling is voor deze woning uitgevoerd. Op een locatie die verder verwijderd is van de SMART-L radar zal door de propagatiedemping een lagere (piek)veldsterkte heersen dan op 450 m afstand.

Het is niet mogelijk een samengestelde blootstelling eenduidig te definiëren. Mensen worden blootgesteld aan verschillende bronnen, die met betrekking tot intensiteit over de tijd gezien variëren. Ook vormen eigen systemen een (niet onbelangrijke) bijdrage deze gelijktijdige samengestelde blootstelling. Hierbij valt te denken aan de eigen mobiele telefoon, de DECT-telefoon en de WiFi-router. Het is derhalve onmogelijk om samengestelde blootstelling met precisie vast te stellen. Wel zal een analyse worden uitgevoerd om de orde van grootte aan te geven.

Eerst wordt een overzicht gegeven van de bronnen die bij de bepaling van de samengestelde blootstelling worden verdisconteerd. Daarna zal een schatting worden gemaakt wat de te verwachte bijdragen zijn van de verschillende bronnen. Tot slot wordt de samengestelde blootstelling bepaald en vergeleken met de ICNIRP-richtlijn [1].

Naar aanleiding van de debatten die in beide kamers zijn gevoerd is de wens geuit inzichtelijk te hebben wat toepassing van andere limieten dan de ICNIRP-richtlijn zou betekenen. Dit is als gedachtenexperiment in bijlage C gegeven. Belangrijk is op te merken dat deze bijlage puur informatief bedoeld is.

5.1.1 Vast opgestelde radarbronnen

In de nabijheid van de dorpskern Herwijnen staat de weerradar van het KNMI. Deze radar wordt als vaste bron gezien. Ook wordt de voorgenomen SMART-L radarinstallatie als vaste bron gezien, die bestaat uit twee systemen: de PSR en de MSSR. In de berekeningen voor de SMART-L, die bestaat uit een PSR en de MSSR, is rekening gehouden dat indien de SMART-L in niet-roterende (starende) mode gebruikt wordt, de MSSR wordt uitgeschakeld.

5.1.2 Eigen WiFi-routers/APs, DECT- en mobiele telefoons

In dezeparagraaf wordt een schatting gegeven over de te verwachte blootstelling van eigen systemen zoals WiFi Router, DECT- en mobiele telefoons. Deze schattingen zullen als typische waarden worden meegenomen in de berekening van de gelijktijdige samengestelde blootstelling.

Opgemerkt wordt dat de bijdrage van eigen systemen zeer sterk afhangt van het gebruik ervan. In de berekeningen zal geen rekening worden gehouden met telefoons die aan het hoofd worden gehouden. Dit is een heel andere blootstelling en is niet te vergelijken met de verre-veld referentiewaarden die in de ICNIRP-richtlijn genoemd worden. De fabrikant is verplicht om in de documentatie te

vermelden in welke mate hun mobiele telefoon voldoet aan de lokale SAR-waarden die de ICNIRP-richtlijn voorschrijft.

Voor de mobiele telefoons worden de radiofrequente vermogens aangehouden die voor 4G en 5G in de standaarden gegeven zijn, namelijk in [43] en in [44]. De in hoofdstuk 6 van deze standaarden gegeven vermogens bedragen 200 mW (23 dBm). Deze zijn vergelijkbaar met de waarden van 2G (250 mW) en 3G (125 mW).

5.1.3 Navigatieradars van scheepvaart op de Waal

Scheepvaart op de Waal kan gebruik maken van navigatieradars. Deze bijdrage wordt ook in de samengestelde blootstelling meegenomen. Omdat de scheepvaart in intensiteit sterk kan variëren, is de veronderstelling dan een minimale bijdrage van één navigatieradar en maximaal tien navigatieradars. Om in de worst-case benadering een bovengrens te krijgen, worden deze tien navigatieradars bij dezelfde dichtstbijzijnde locatie geconcentreerd. Indien een navigatieradar van een schip verder weg is, veroorzaakt de afstand dat de veldsterkte lager wordt zodat dit als een *worst-case* benadering gezien kan worden.

5.1.4 5G

De website van het kennisplatform Elektromagnetische Velden geeft op het gebied van 5G extra informatie, zie [24]. Op het moment van schrijven van dit rapport is de ontwikkeling van 5G in Nederland nog bezig. Voor meer informatie wordt verwezen naar de website van het Antennebureau [25].

Omdat 5G nog in ontwikkeling is, is in het kader van deze rapportage nog weinig te melden over wat de bijdragen van 5G aan de samengestelde blootstelling in Herwijnen zal betekenen.

Eerste metingen van de elektrische veldsterkten bij de experimentele locaties laten zien dat de maximale veldsterkten de waarde van 3 V/m niet overschrijden waarmee de te verwachte blootstelling aan 5G onder de ICNIRP-richtlijn ligt [26]. Het Agentschap Telecom houdt echter een slag om de arm waar het gaat om de zeggingskracht van de gemeten veldsterktewaarden. Een recent artikel [45] over de te verwachte blootstelling van 5G geeft aan dat dit onderwerp nog volop bestudeerd wordt. In onze analyse houden we, met dezelfde slag om de arm, de gemeten waarden van het Agentschap Telecom met betrekking tot de bijdrage van 5G aan de samengestelde blootstelling aan.

In de bepaling van samengestelde blootstelling met de mogelijke bijdrage van 5G hieraan, is gebruik gemaakt van de in tabel 1 [26] gespecificeerde waarden.

Tabel 1 Metingen van het Agentschap Telecom in 2019 aan experimentele 5G installaties.

Locatie	Type Antenne	Frequentie	Meetafstand	Technologie	Veldsterkte
Groningen	Statisch 'massive MIMO'	2605 MHz	53 m	LTE	3 V/m
Maastricht	Dynamisch 'massive MIMO'	3465 MHz	140 m	5G New Radio	1,1 V/m
Rotterdam	Dynamisch 'massive MIMO'	3675 MHz	170 m	5G New Radio	2,6 V/m

5.2 Gelijktijdige samengestelde blootstelling

In deze paragraaf wordt de samengestelde blootstelling berekend. De afstand van de radar tot de bebouwde kom van Herwijnen bedraagt circa 1 km. De dichtstbijzijnde woning, ten zuidoosten van de radarlocatie, bevindt zich op circa 450 m afstand. De samengestelde blootstelling is voor die dichtstbijzijnde woning bepaald.

De ICNIRP-richtlijn schrijft een methodiek voor om te controleren of gecombineerde (tijdgemiddelde) blootstelling aan meerdere stralingsbronnen de limietwaarde overschrijdt. TNO heeft volgens deze methodiek de blootstellingswaarden bepaald. In dit hoofdstuk zijn de resultaten gegeven. De aanduidingen “minimaal” en “maximaal” horen bij de niveaus van elektromagnetische velden waarbinnen de werkelijke blootstelling zich waarschijnlijk zal bevinden. In de berekening heeft TNO verschillende uitgangspunten aangehouden waarbij de voorkeur is gegeven om de “slechtst” mogelijk veldsterkte te kiezen. De gerapporteerde waarden zijn daarmee een bovengrens.

In bijlage A is de formule gegeven waarmee een schatting elektrische veldsterkte, gegeven een afstand en uitgezonden vermogen. Deze relatie is:

$$E = \frac{\sqrt{30 * 1{,}64 * P_{ERP}}}{R} = \frac{\sqrt{30 P_{EIRP}}}{R}$$

E [V/m] is de absolute waarde van de elektrische veldvector, P_{ERP} [W] is het effectief uitgezonden vermogen ten opzichte van een afgestemde dipoolantenne, P_{EIRP} [W] is het effectief uitgezonden vermogen ten opzichte van een isotrope straler en R [m] is de afstand tussen het punt van de bron en het punt van de observatie. Met deze parameters is een schatting te maken van de elektrische veldsterkte die kan worden verwacht van een radiofrequente bron. Opgemerkt wordt dat de factor 1,64 overeenkomt met de *gain* van een afgestemde dipool ten opzichte van een isotrope straler, namelijk 2,15 dBi.

In de berekeningen is voor de eigen mobiele telefoon de kortste afstand genomen waarbij bovengenoemde formule kan worden gebruikt om de veldsterkte te kunnen bepalen. Dat is de afstand waarbij het veldgedrag verre-veld condities heeft. De vuistregel is dat bij draadantennes deze condities vanaf een golflengte afstand aanwezig zijn. De laagste frequentie is 700 MHz, waarbij de golflengte 43 cm

bedraagt. Voor gebruik van een telefoon aan het hoofd gelden heel andere bepalingen of de telefoon aan de ICNIRP-richtlijn voldoet. Hiervoor moet de lokale SAR worden bepaald. Iedere fabrikant heeft de verplichting om de documentatie te vermelden wat deze SAR-waarde in relatie tot de lokale SAR is.

Voor de eigen WLAN-routers en DECT-telefoon basisstation is een afstand van 200 cm (2 m) aangehouden. Opgemerkt wordt dat deze afstanden arbitrair gekozen zijn en dienen om een globale indruk te geven van de afzonderlijker bijdrage aan het totaal. Van iedere bron is namelijk ook de procentuele bijdrage ten opzichte van de ICNIRP-blootstellingslimiet uitgerekend en gerapporteerd.

Vanwege het zeer lage vermogen van Bluetooth-applicaties (normaal gebruik 2,5 mW) zijn deze bronnen buiten de berekeningen gehouden.

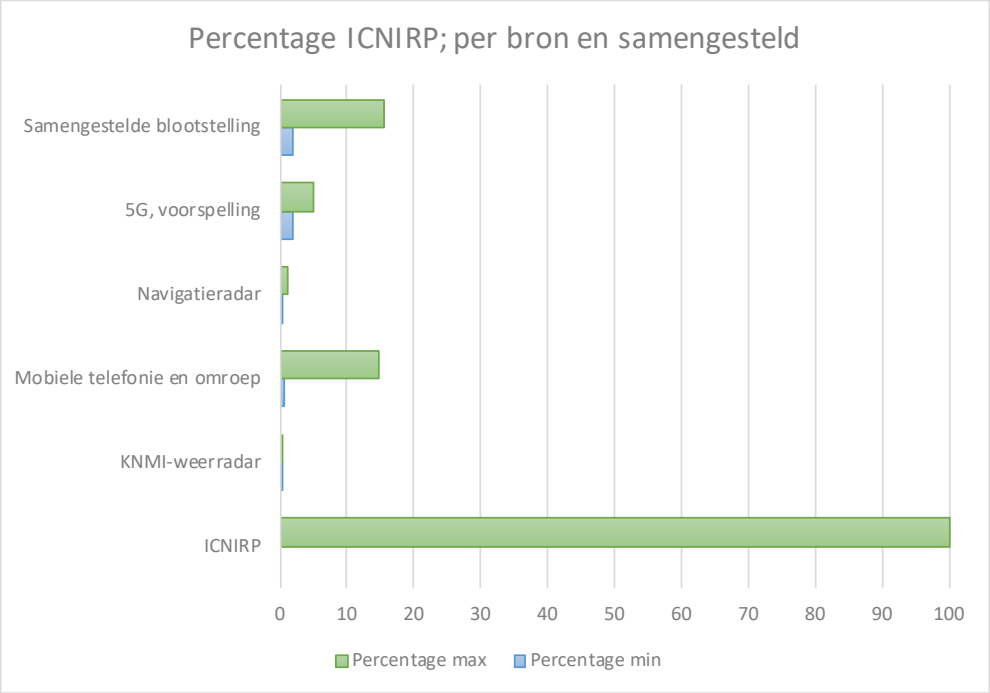
De te verwachte blootstelling aan 5G is in dit hoofdstuk als extra factor meegenomen, met alle benoemde onzekerheden en voorbehouden beschreven in 5.1.4. Echter, de verwachting is dat bij de introductie van 5G op de markt, de oudere standaarden (2G en 3G) verlaten gaan worden. Dat betekent dat een deel van de blootstelling die nu in “Mobiele telefonie en omroep” wordt meegenomen overvloedig is. Het is op dit moment niet mogelijk om de consequenties voor de introductie van 5G nauwkeuriger te verdisconteren.

5.2.1 Samengestelde blootstelling zonder SMART-L en zonder eigen RF-bronnen

In deze paragraaf is de samengestelde blootstelling van de volgende bronnen gegeven:

- KNMI-weerradar;
- huidige RF-blootstelling ten gevolge van mobiele telefonie en omroep;
- te verwachte 5G infrastructuur (zie 5.1.4);
- navigatieradars op de Waal.

In figuur 4 is het overzicht gegeven wat de te verwachte samengestelde blootstelling zou kunnen zijn voor de KNMI-weerradar, mobiele telefonie en omroep en navigatieradars. Uit deze figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 1,9% en 15,5% van de ICNIRP-richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 8,2 tussen de hoogste en laagste waarden.

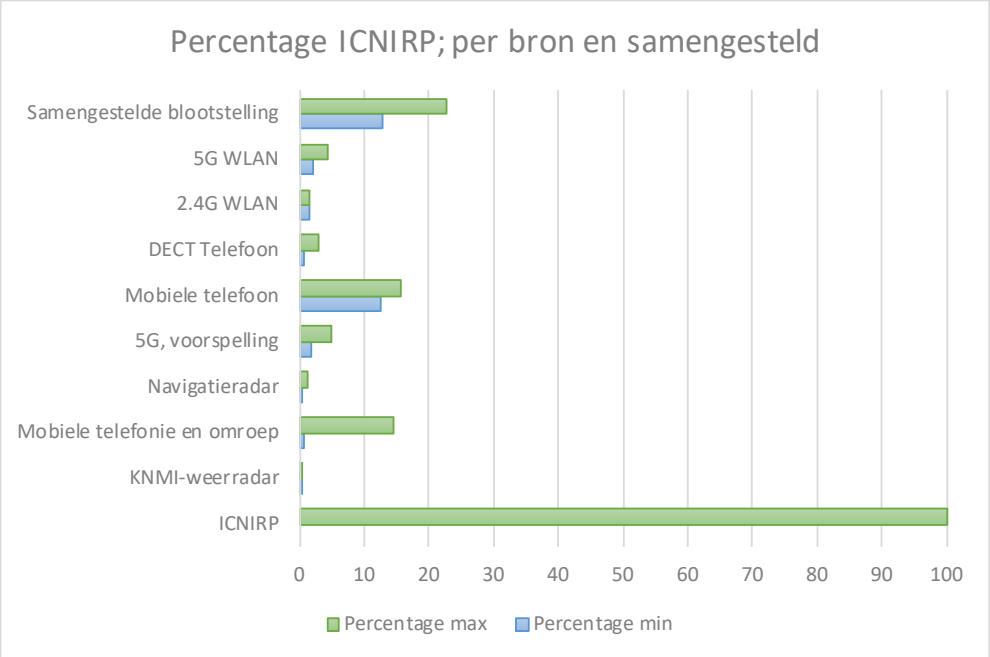


Figuur 4 Samengestelde blootstelling zonder SMART-L en zonder eigen RF-systemen. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

5.2.2 Samengestelde blootstelling zonder SMART-L en met eigen RF-bronnen

In deze paragraaf wordt een schatting gegeven van de bijdragen die eigen systemen (WLAN, DECT en mobiele telefoon) aan de samengestelde blootstelling opleveren.

Voor de samengestelde blootstelling waarbij alleen de eigen RF-systeem zijn verdisconteerd is de samengestelde blootstelling gegeven in figuur 5. Uit deze figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 12,8 % en 22,8 % van de ICNIRP-richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,78 tussen de hoogste en laagste waarden. Ook deze situatie voldoet aan de grenswaarden gesteld in de ICNIRP-richtlijn.



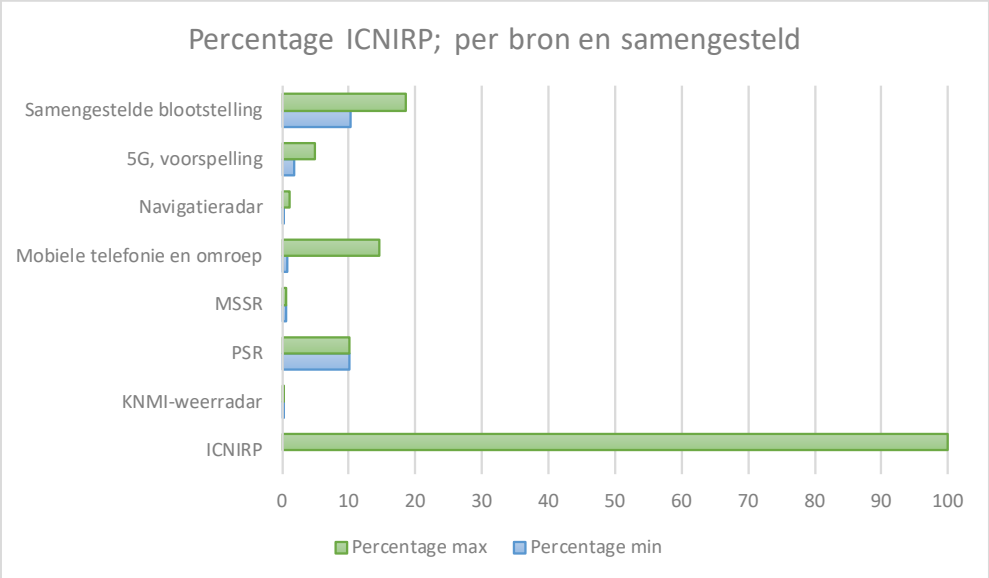
Figuur 5 Samengestelde blootstelling zonder SMART-L en met de eigen RF-systemen. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

5.2.3 Samengestelde blootstelling met de SMART-L en zonder eigen RF-bronnen

In deze paragraaf is de samengestelde blootstelling van de volgende bronnen gegeven:

- KNMI-weerradar;
- PSR, zowel met roterende antenne als met niet-roterende antenne (starende mode);
- MSSR. Opgemerkt wordt dat in de niet-roterende mode de MSSR wordt uitgeschakeld;
- huidige RF-blootstelling ten gevolge van mobiele telefonie en omroep;
- te verwachte 5G infrastructuur (zie 5.1.4);
- navigatieradars op de Waal.

In figuur 6 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de antenne van SMART-L roteert, wat de meest gebruikelijke situatie zal zijn. De bijdrage van de eigen RF-systemen is hierbij niet meegerekend. Uit deze figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling van alleen externe bronnen tussen 10,4 % en 18,5 % van de ICNIRP-richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,78 tussen de hoogste en laagste waarden. Ook deze situatie voldoet aan de grenswaarden gesteld in de ICNIRP-richtlijn.

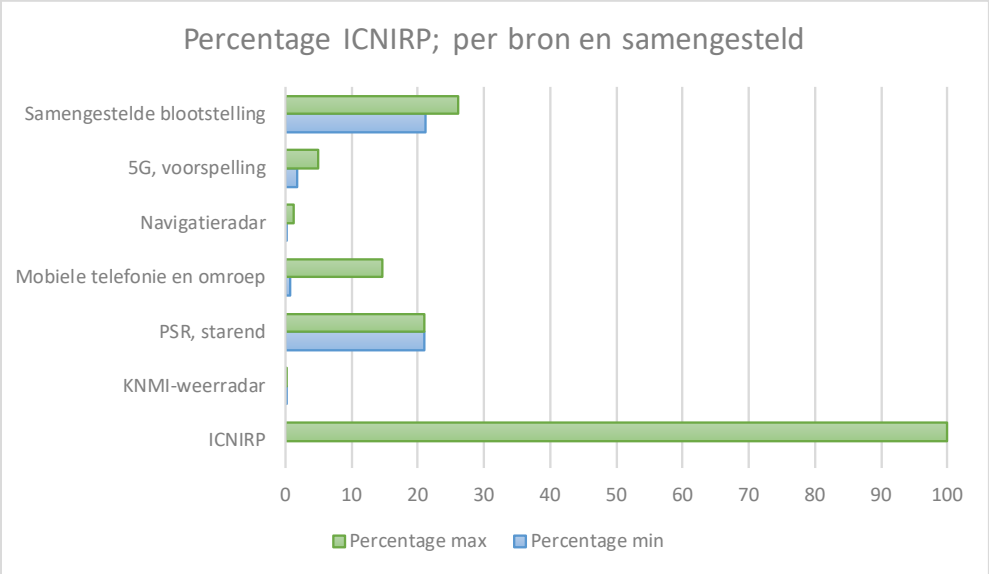


Figuur 6 Samengestelde blootstelling met de SMART-L en zonder eigen RF-systemen. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

In figuur 7 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de antenne van SMART-L niet roteert (starende mode). De bijdragen van de eigen RF-systemen is hierbij niet meegerekend. Uit deze figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 21,1 % en 26,1 % van de ICNIRP-richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,24 tussen de hoogste en laagste waarden. Ook deze situatie voldoet aan de grenswaarden gesteld in de ICNIRP-richtlijn.[10] Opgemerkt dient te worden dat deze situatie zich voordoet als de SMART-L precies net over de dichtstbijzijnde woning op 450 m heen “kijkt”.

In deze berekening is uitgegaan van een continue blootstelling. Omdat de ICNIRP-richtlijn een 6 minuten tijdmiddeling toestaat, is instantaan een hogere piekveldsterkte toegestaan. De ICNIRP-richtlijn stelt echter ook een limietwaarde voor de piekveldsterkte, namelijk 32 maal de tijdgemiddelde elektrische veldsterkte. In de huidige ICNIRP-richtlijn [1] is die waarde voor de SMART-L 1506 V/m. Zolang deze piekveldsterkte en de gemiddelde veldsterkte over 6 minuten niet wordt overschreden, voldoet de radar aan de grenswaarden gegeven in de ICNIRP-richtlijn.

[10] Naar aanleiding van recentelijk door de radarleverancier verstrekte gegevens is de bijdrage van de SMART-L in starende mode nauwkeuriger te bepalen geweest en daarom naar beneden bijgesteld.



Figuur 7 Samengestelde blootstelling met SMART-L in starende modus en zonder eigen RF-systemen. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

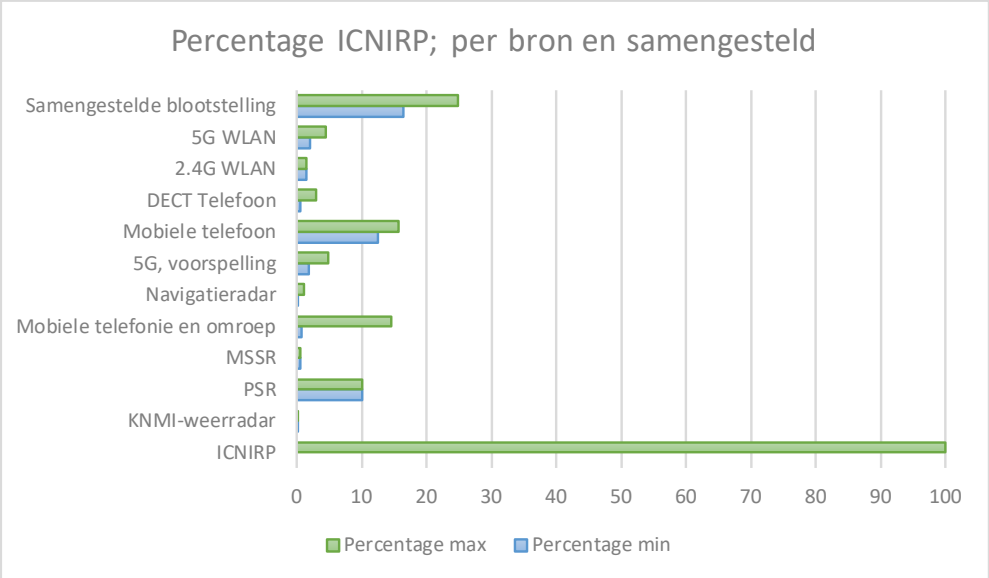
5.2.4 Samengestelde blootstelling roterende SMART-L inclusief de eigen RF-bronnen

In deze paragraaf is de samengestelde blootstelling van de volgende bronnen gegeven:

- KNMI-weerradar;
- PSR, zowel in normaal bedrijf als in starende mode;
- MSSR;
- huidige RF-blootstelling ten gevolge van mobiele telefonie en omroep;
- te verwachte 5G infrastructuur (zie 5.1.4);
- navigatieradars op de Waal.

Ook wordt een schatting gegeven van de bijdragen die eigen systemen (WLAN, DECT en mobiele telefoon) aan de samengestelde blootstelling geven.

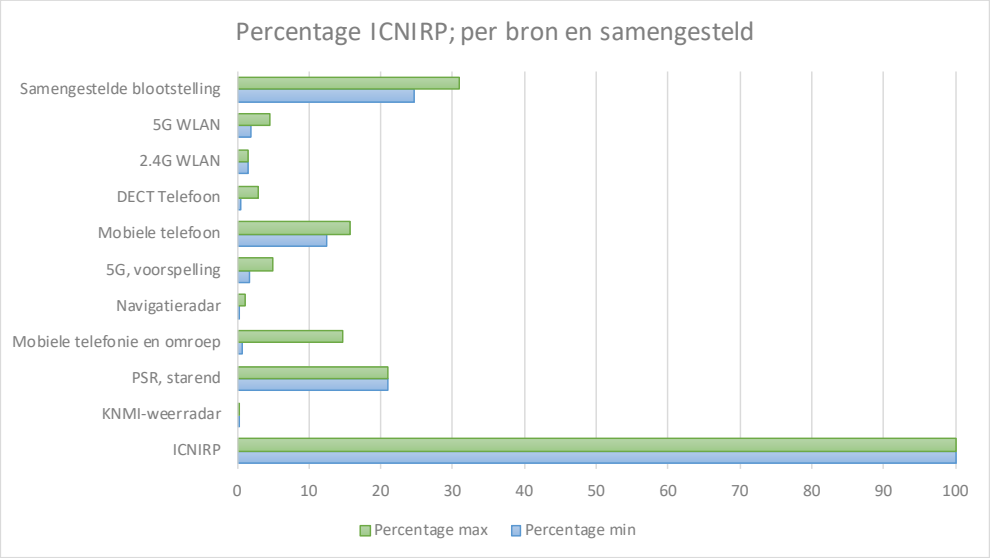
In figuur 8 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de antenne van SMART-L ronddraait. Uit deze figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 16,4 % en 24,9 % van de ICNIRP-richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,52 tussen de hoogste en laagste waarden. Ook deze situatie voldoet aan de grenswaarden gesteld in de ICNIRP-richtlijn.



Figuur 8 Samengestelde blootstelling met de SMART-L en met de eigen RF-systemen. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

In figuur 9 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de SMART-L in starende mode staat. De bijdragen van de eigen RF-systemen zijn hierbij ook meegerekend. Uit deze figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 24,6 % en 30,9 % van de ICNIRP-richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,56 tussen de hoogste en laagste waarden. Ook deze situatie voldoet aan de grenswaarden gesteld in de ICNIRP-richtlijn. Opgemerkt dient te worden dat deze situatie zich voordoet als de SMART-L precies over het dichtstbijzijnde pand op 450 m afstand heen “kijkt”. Als het doel zich maar net boven de rand bevindt, zal door de hoge richtwerking van de antenne deze blootstelling aanzienlijk verlaagd worden.

In deze berekening is uitgegaan van een continue blootstelling. Omdat de ICNIRP-richtlijn een 6 minuten tijdmiddeling toestaat, is instantaan een hogere piekveldsterkte toegestaan. De ICNIRP-richtlijn stelt echter ook een limietwaarde voor de piekveldsterkte, namelijk 32 maal de tijdgemiddelde elektrische veldsterkte. In de huidige ICNIRP-richtlijn [1] is die waarde voor de SMART-L 1506 V/m. Zolang deze piekveldsterkte en de gemiddelde veldsterkte over 6 minuten niet wordt overschreden, voldoet de radar aan de grenswaarden gegeven in de ICNIRP-richtlijn.



Figuur 9 Samengestelde blootstelling de SMART-L in starende modes en met de eigen RF-systemen. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

5.2.4.1 Conclusie samengestelde blootstelling perceel Broekgraaf 1A te Herwijnen.

Zoals uit bovenstaande tabellen valt te concluderen, valt de samengestelde blootstelling van de te verwachte externe bronnen inclusief de SMART-L binnen de blootstellingslimiet zoals deze zijn gesteld in de ICNIRP-richtlijn [1].

5.3 Blootstelling aan piek elektrische veldsterkten

ICNIRP schrijft voor dat de over een periode van 6 minuten de tijdgemiddelde samengestelde blootstelling de limietwaarde van 1 (=100%) niet mag overschrijden. Dat is hierboven onderzocht.
Daarnaast schrijft de ICNIRP-richtlijn voor dat de piekveldsterkte (van gepulste systemen zoals een radar) niet meer mag bedragen dan 32 maal de voorgeschreven limietwaarde. Deze limietwaarde is frequentieafhankelijk en in tabel 2 is weergegeven wat dat voor de dorpskern Herwijnen betekent.

Tabel 2 Overzicht van piekveldsterkten vergeleken met de ICNIRP-richtlijn. De kolom "percentage" geeft de te verwachten piekveldsterkteblootstelling aan ten opzichte van de ICNIRP-richtlijn.

Bron	Frequentie (GHz)	E_{piek} (V/m)	E_{Limiet} (V/m)	Percentage
MSSR	1	12,20	1391,40	0,88
KNMI-weerradar	5,6	60,30	1952,00	3,09
Navigatieradar	10	7	1952,00	0,36
PSR	1,2	108	1524,20	7,09
PSR starende mode	1,2	31,6	1524,20	2,07
Totaal				12,6

Uit tabel 2 valt op te merken dat de te verwachten de blootstelling van piekveldsterkten van de verschillende gepulste RF-systemen, deze ruimschoots onder de ICNIRP-richtlijn blijft. Ook indien men ervoor zou kiezen om alle bijdragen

bij elkaar op te tellen, wat niet door de ICNIRP-richtlijn wordt voorgeschreven, dan blijft die totale bijdrage onder 13%.

6 Uitgevoerde referentiemetingen in Herwijnen

Op 15 oktober 2019 is in opdracht van het Rijksvastgoedbedrijf een meting geweest van de elektromagnetische veldsterkten in het radiofrequente spectrumbereik van 300 kHz-18 GHz. Naast breedbandige metingen tussen 300 kHz – 18GHz zijn tevens frequentieselectieve metingen tussen 30 MHz en 6 GHz uitgevoerd. De metingen zijn uitgevoerd door TÜV Rheinland Nederland B.V gevestigd te Leek. TÜV Rheinland heeft de metingen gerapporteerd in een meetrapport [46].

Het doel van deze metingen is geweest vast te stellen wat de huidige achtergrondniveaus zijn van de elektromagnetische omgeving in de dorpskern Herwijnen. Een subdoel van deze veldmeting is om een nulmeting om een referentie beschikbaar te hebben om te kunnen vergelijken met eventuele verschillen voor en na plaatsing van de voorgenomen radarinstallatie.

TÜV Rheinland heeft op drie verschillende locaties gemeten, namelijk op de Boutlaan, op de Schotensteeg en op de Waaldijk. Er is gemeten in vijf tijdsegmenten van 6 minuten lang. Dit is gedaan omdat de vigerende ICNIRP-richtlijn een middelingstijd van 6 minuten voorschrijft, terwijl de verwachting is dat in de herziene ICNIRP-richtlijn de middelingstijd 30 minuten wordt.

De beknopte resultaten zijn in tabel 3 gegeven. Meer details en de resultaten van de frequentieselectieve metingen zijn te vinden in de rapportage van TÜV Rheinland [46].

Tabel 3 Elektrische veldsterkten (RMS) over 300 kHz-18 GHz gemeten op drie locaties (15 oktober 2019) in de dorpskern Herwijnen.

Locatie	Maximum gemiddelde veldsterkte (6 min) [V/m]	Gemiddelde veldsterkte (30 min) [V/m]	Maximum piekveldsterkte [V/m]
Waaldijk	0,3	0,3	2,1
Schoutensteeg	0,3	0,2	1,4
Boutlaan	0,7	0,7	1,8

Zoals uit tabel 3 valt op te maken liggen de veldsterkteniveaus ruim onder de INCIRP-blootstellingslimiet (de laagste blootstellingslimiet bedraagt 27,5 V/m). De piekveldsterkte is (uiteraard) hoger dan de gemiddelde veldsterkte maar ook die valt onder de ICNIRP-richtlijn. Op de Waaldijk is de gemiddelde veldsterkte in dezelfde orde van grootte dan elders. De piekveldsterkte is iets hoger wat waarschijnlijk de bijdrage van een scheepsradar op de Waal is.

Op de Boutlaan is, met zicht op de KNMI-weerradar, een speciale optie van de meetapparatuur gebruikt om de piekwaarde van de radar te kunnen meten. Dit is de “Extra Max-Fast RMS Measurement”-optie van het meetinstrument de Wavecontrol SMP2. Over een korte tijdperiode van 4 ms wordt de RMS-waarde bepaald. Over ieder interval van 500 ms wordt de maximale waarde gepresenteerd. Deze waarde bedroeg 2,6 V/m en is naar alle waarschijnlijkheid toe te schrijven aan de KNMI-weerradar.

6.1 Conclusie

De metingen van TÜV Rheinland [46] die op 15 oktober 2019 uitgevoerd zijn, zijn op de eerste plaats bedoeld als een referentiemeting. Tevens tonen de metingen aan dat de huidige gemiddelde elektrische veldsterkten (van verschillende bronnen, dus gecombineerd) overeenkomen met de veldsterkteniveaus zoals het Agentschap Telecom [22] in Nederland op verschillende andere locaties heeft gemeten. De hoogst gemeten waarde (op de Boutlaan) van 0,7 V/m RMS voldoet ruimschoots aan het laagste ICNIRP-referentieniveau van 27,5 V/m RMS.

De bijdrage van persoonlijke apparaten zoals DEC telefoons, mobiele telefoons, Bluetooth apparatuur en WiFi-routers zijn niet meegenomen in deze metingen.

Na realisatie van de voorgenomen radarinstallatie wordt geadviseerd om deze metingen te herhalen om zeker te stellen dat de referentieniveaus in de dan geldende ICNIRP-richtlijn niet worden overschreden.

7 Conclusies en aanbevelingen

Indien aan de ICNIRP-richtlijn voldaan wordt, wordt de gezondheid van mensen tegen de mogelijke nadelige gevolgen van elektromagnetische velden voldoende beschermd. Eventuele plaatsing van de SMART-L te Herwijnen is tegen de huidige ICNIRP-richtlijn [1] getoetst. Indien deze ICNIRP-richtlijn wordt herzien, moet worden beoordeeld of deze herziening consequenties heeft voor de in dit hoofdstuk geformuleerde conclusies en aanbevelingen.

Uit de toetsing blijkt dat de SMART-L voldoet aan de blootstellingslimieten die de ICNIRP-richtlijn [1] voorschrijft. Ook indien andere radiofrequente bronnen worden meegerekend, zoals de KNMI weerradar, mobiele telefonie basisstations en omroep wordt aan de ICNIRP-richtlijn voldaan. Dit verandert niet wanneer eigen RF-systemen zoals de mobiele telefoon, WiFi routers en DECT-telefoon worden meegerekend. Dan wordt ook aan de richtlijn voldaan.

TNO is in de berekeningen uitgegaan van het meest ongunstigste geval. Als er schattingen gemaakt moesten worden, zijn de blootstellingswaarden naar boven afgerond. Op deze manier kan worden voorkomen dat uiteindelijk de daadwerkelijke situatie te gunstig is vastgesteld.

In oktober 2019 heeft TŰV-Rheinland metingen uitgevoerd naar de elektromagnetische veldensterkten. Geadviseerd wordt om deze metingen als referentiemetingen te beschouwen en na eventuele plaatsing van de SMART-L de metingen met de SMART-L in roterende en starende mode opnieuw uit te voeren. Geverifieerd moet worden of de SMART-L aan de dan geldende ICNRIP-richtlijn voldoet.

In 3.3 is het voorzorgbeginsel en ALARA nader toegelicht. Over het nut en de noodzaak over de toepassing van ALARA, zoals recent voor de hoogspanningslijnen is gedaan, is er vanuit een wetenschappelijk perspectief echter geen reden om voor radiofrequente elektromagnetische velden de toepassing van ALARA te adviseren. De toepassing van de veiligheidsfactor 50 (voor publiek) kan worden opgevat als implementatie van het voorzorgsprincipe. De in dit rapport kort besproken wetenschappelijke onzekerheden zouden, ondanks de vigerende ICNIRP-richtlijn, beleidsmakers kunnen aanzetten tot toepassing van ALARA en verlaging van de toegestane blootstellingslimieten. Eventuele toepassing van ALARA op radiofrequente elektromagnetische velden reikt in dit geval verder dan specifiek alleen voor de voorgenomen plaatsing van de SMART-L radar in Herwijnen.

8 Referenties

[1] ICNIRP, „ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300GHz),” *Health Physics,* vol. 4, nr. 74, pp. 494-522, 1998.

[2] J.C. Maxwell, A treatise on Electricity and Magnetism, Vol.1 & 2, Dover Publications Inc. New York, 1954.

[3] J.A. Elder, „Ocular Effects of Radiofrequency Energy,” *Bioelectromagnetics,* vol. Supplement 6, pp. 148-161, 2003.

[4] EU, „AANBEVELING VAN DE RAAD van 12 juli 1999 betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz — 300 GHz (1999/519/EG),” De Raad van de Europese Unie, 1999.

[5] R. Stam, „Comparison of international policies on electromagnetic fields,” RIVM rapport, documentnummer 010344 , De Bilt, 2018.

[6] ICNIRP, „Home page,” International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, [Online]. Available: https://www.icnirp.org/en/home/index.html. [Geopend 11 10 2019].

[7] WHO, „Electromagnetic Fields (EMF): Standards and Guidelines,” World Health Organization, [Online]. Available: https://www.who.int/peh-emf/standards/en/. [Geopend 11 10 2019].

[8] WHO, „Electromagnetic fields and public health: radars and human health,” WHO, [Online]. Available: https://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs226/en/. [Geopend 5 11 2019].

[9] ICNIRP, „ICNIRP Note: Critical Evaluation Of Two Radiofrequency Electromagnetic Field Animal Carcinogenicity Studies Published In 2018,” *Health Physics Society,* vol. 118, nr. DOI: 10.1097/HP.0000000000001137, 2019.

[10] ICNIRP, „Home page,” [Online]. Available: https://www.icnirp.org/en/home/home-read-more.html. [Geopend 11 10 2019].

[11] J. Elder en C. Chou, „Auditory Response to Pulsed Radiofrequency Energy,” *Bioelectromagnetics,* nr. Supplement 6, pp. 162-173, 2003.

[12] IEEE, „IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz,” IEEE Standards Coordinating Committee 39 , New York, USA, 2019.

[13] CENELEC, „EN 50413: Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz),” CENELEC, 2018.

[14] ICNIRP, „Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric And Magnetic Fields (1 Hz – 100 kHz),” *Health Pysics,* vol. 99, nr. 6, pp. 818-836, 2010.

[15] ICNIRP, „ICNIRP statement on the "guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz),” *Health phycics,* vol. 97, nr. 3, pp. 257-258, 2009.

[16] Gezondheidsraad, „Mobile phones and cancer; Part 3. Update and overall conclusions from epidemiological and animal studies," Gezondheidsraad 2016/06, Den Haag, 2016.

[17] ICNIRP, „High Frequency 100 kHz - 300 GHz," 2019. [Online]. Available: https://www.icnirp.org/en/frequencies/high-frequency/index.html. [Geopend 8 10 2019].

[18] S.L. Smith-Roe, M.W. Wyde, M.D. Stout, J.W. Winters, C.A. Hobbs, K.G. Shepard, A.S. Green, G.E. Kissling, K.R. Shockley, R.R. Tice, J.R. Bucher en K.L. Witt, „Evaluation of the genotoxicity of cell phone radiofrequency radiofrequency radiation in male and female rats and mice following subchronic exposure," *Environmental and Molecular Mutagenesis,* 2019.

[19] THALES, „Engineering Analysis Report SMART-L EWC GB, RADHAZ SITE REGULATION WIER AND HERWIJNEN TOWER," Thales Nederland BV, Hengelo, 2016.

[20] A. Theil en A.P.M. Zwamborn, *Stralingsbelasting Radarinstallatie Herwijnen,* Den Haag: TNO 2019 M10833, 2019.

[21] R. Stam, M.J.M. Pruppers en J.F.B. Bolte, „Bronnen van elektromagnetische velden en blootstelling van burgers, rapport 2014-0132," RIVM, De Bilt, 2014.

[22] T. Tuhehay, „Rapport project EMV," Agentschap Telecom, Amersfoort, 2017.

[23] M.C.G. Keijzer en B.J. Bruins, *5G en gezondheid,* Den Haag: DGBI-DE / 19098282, 2019.

[24] Kennisplatform, „Wat is 5G?," [Online]. Available: https://www.kennisplatform.nl/wat-is-5g/. [Geopend 21 10 2019].

[25] Antennebureau, „5G en antennes," [Online]. Available: https://www.antennebureau.nl/antennes-en-techniek/5g-en-antennes. [Geopend 21 10 2019].

[26] Agentschap_Telecom, „Veldsterktemetingen op 5G-testlocaties," Agentschap Telecom, September 2019.

[27] C. Ingre, P.M. Roos, F. Piehl, F. Kamel en F. Fang, „Risk factors for amyotrophic lateral sclerosis," *Clinical Epidemiology,* vol. 7, nr. DOI: 10.2147/CLEP.S37505, pp. 181-193, 2015.

[28] O. Hardiman, L.H. vd. Berg en M.C. Kieman, „Clinical diagnosis and management of amyotrophic lateral sclerosis," *Nat. Rev. Neurol.,* vol. 7, pp. 639-649, 2011.

[29] J.P.K. Rooney, *The Environmental Epidemiology of Amyotrophic Lateral Sclerosis in Europe,* Dublin: Trinity College Dublin, September 2018.

[30] L.G. Gunnarsson en L.Bodin, „Occupational exposures and neurodegenerative diseases—a systematic literature review and meta-analyses," *International Journal of Environmental Research and Public Health,* vol. 16 (3), nr. DOI: 10.3390/ijerph16030337, pp. 1-22, 2019.

[31] L. Luna, J.P. Leleu, C. Preux, P. Corcia, P. Couratier, B. Martin, F. Boumediene en F. Consortium, „Residential exposure to ultra high frequency electromagnetic fields emitted by Global System for Mobile (GSM) antennas and amyotrophic lateral sclerosis incidence: A geo-epidemiological population-based study," *Environmental Research,* vol. 176, nr. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108525, 2019.

[32] Belgisch-Staatsblad, „30-4-2014, Belgisch Staatsblad," [Online]. Available: https://docplayer.nl/65650781-Belgisch-staatsblad-moniteur-belge.html. [Geopend 20 11 2019].

[33] Gezondheidsraad, „Voorzorg met rede," GR Nr. 2008/18, 2008.

[34] Gezondheidsraad, „Hoogspanningslijnen en gezondheid deel I: kanker bij kinderen," Gezondheidsraad nr. 2018/08, Den Haag, 2018.

[35] J. Juutilainen, M. Herrala, J. Luukkonen, J. Naarala en P.J. Hore, „Magnetocarcinogenesis: is there a mechanism for carcinogenic effects of weak magnetic fields?," *Proc. R. Soc. B 285: 20180590.,* nr. http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.0590, 2018.

[36] E.D. Wiebers, *Voorzorgbeleid Hoogspanning en Gezondheid,* Den Haag: 29023-250, 2019.

[37] B.M. Miller, L.L. Morgan, I. Udasin en D.L. Davis, „Cancer epidiology update, following the 2011 IARC evaluation of radiofrequency electromagnetic fields (Monogaph 102)," *Environmental Research,* vol. 167, nr. https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.06.043, pp. 673-683, 2018.

[38] WHO, „Backgrounders," World Health Organization, 2000. [Online]. Available: https://apps.who.int/iris/handle/10665/57268. [Geopend 9 10 2019].

[39] L. Claasen, A. Bostrom en D.R.M. Timmermans, „Focal points for improving commmunications about electromagnetic fields and health: a mental models approach," *Journal of Risk Research,* 2014.

[40] A.P.M. Zwamborn, „Evaluatie Thalesdocumentatie over de gezondheidsrisicoanalyse van de SMART-L locaties Herwijnen en Wier," TNO DHW-TS-2017-0100309759, Den Haag, 2017.

[41] THALES, „Engineering Analysis Report SMART-L EWC GB RADHAZ SITE REGULATION WIER AND HERWIJNEN TOWER," Thales Nederland BV, Hengelo, 2019, Document number 9505301286_EAR_715_NLD Version 02.

[42] Rijksvastgoedbedrijf, „Locatieonderzoek zuidelijke SMART-L radar," Den Haag, December 2019.

[43] ETSI, „LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 14.5.0 Release 14)," 3GPP, Sophia Antipolis Cedex, 2017.

[44] ETSI, „5G; NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone (3GPP TS 38.101-1 version 15.3.0 Release 15)," 3GPP, Sophia Antipolis Cedex, 2018.

[45] K.H., „On The Assessment Of Human Exposure To Electromagnetic Fields Transmitted By 5g Nr Base Stations," *Health Physics,* vol. 117, nr. 5, pp. 541-545, 2019.

[46] W. Brouwer, „EMC measurements results, test report number 19092603.e01," TÜV Rheinland , Leek, 2019.

[47] F.H. Messerli, „Chocolate Consumption, Cognitive Function, and Nobel Laureates," *The New Engeland Journal of Medicine,* vol. 367, nr. 16, pp. 1562-1564, October 18, 2012.

[48] P. Maurage, A. Heeren en P.M., „Does Chocolate Consumption Really Boost Nobel Award Chances? The Peril of Over-Interpreting Correlations in Health Studies," *The Journal of Nutrition,* vol. 143, nr. doi:10.3945/jn.113.174813, p. 931–933, 2013.

[49] A. Huss, *Response to TNO-section on ALS and RF-EMF,* email communication, 2019.

[50] WHO, „What are electromagnetic fields?," World Health Organization, [Online]. Available: https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index4.html. [Geopend 9 10 2019].

[51] WHO, „What are electromagnetic fields? Precautionary approaches," World Health Organization, [Online]. Available: https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index5.html. [Geopend 9 10 2019].

[52] „How Science Works 101," Berkeley University, [Online]. Available: https://undsci.berkeley.edu/article/intro_01. [Geopend 17 10 2019].

[53] A.P.M. Zwamborn, „RADHAZ_presentatie_TNO-V1-Deel-ICNIRP," Den Haag, 21 augustus 2018.

[54] G.M.J. van Leeuwen, J.J.W. Lagendijk, B. van Leersum, A.P.M. Zwamborn, S. T. Hornsleth en A. N. T. J. Kotte, „Calculation of change in brain temperatures due to exposure to a mobile phone," *Physics in Medicine and Biology,* vol. 44, nr. 10, 1999.

[55] F. Adibzadeh, G.C. v. Rhoon, G.M. Verduijn, N.C. Naus-Postema en M.M. Paulides, „Absence of acute ocular damage in humans after prolonged exposure to intense RF EMF," *Physics in Medicine & Biology,* vol. 61, p. 488-503, 2016.

[56] Ministerie-van-Defensie, „Radarstations," [Online]. Available: www.defensie.nl/onderwerpen/radarstations. [Geopend 16 10 2019].

9 Ondertekening

Den Haag, januari 2020

[redacted]

Research Manager

TNO
Electronic Defence

[redacted]

Auteur

A Berekening elektrische veldsterkten van radarsystemen

Om te toetsen of aan de ICNIRP-richtlijn wordt voldaan moeten voor verscheidene stralingsbronnen de piekveldsterkte en de tijdgemiddelde veldsterkte worden bepaald. Met name voor radarsystemen die pulsen uitzenden zal er een aanzienlijk verschil zijn tussen deze twee grootheden. De verhouding tussen de pulsduur en de pulsherhalingstijd wordt duty-cycle genoemd, doorgaans aangeduid met de Griekse letter η (èta): $\eta = \tau / T$, τ is de pulsduur (s), T is pulsherhalingstijd (s). Voorts is bij radar ook het scanpatroon en het antennepatroon van belang. Bij een zogenaamde rondzoekradar, zoals een scheepsradar en ook de te plaatsen radar van de Koninklijke Luchtmacht in de rondzoekmode, draait de antenne met constante hoeksnelheid rond. Gedurende de omwentelingstijd, vaak enkele seconden, wordt een waarnemer een enkele keer door de hoofdlus van de antenne aangestraald. De belichtingstijd is afhankelijk van de omwentelingssnelheid van de antenne, en van de bundelbreedte. Als de antenne niet gericht is op de waarnemer, dan zal de veldsterkte ter plekke van de waarnemer zeer veel lager zijn, mogelijk zelfs verwaarloosbaar. Deze constatering doet de WHO ook in *fact sheet* 226 [8].

De KNMI weerradar heeft een ander scanpatroon. De antenne van de KNMI weerradar maakt een helix-patroon dat zich iedere 4 minuten plus 30 seconden herhaalt. De consequentie is dat gedurende 32% van de tijd in de laagste elevatiehoek wordt gemeten. Met een bundelbreedte van 1˚ wordt een waarnemer op de grond gedurende slechts 0,08% van de tijd door de flank van de hoofdlus belicht.

Ook de afstand tot de radarantenne is van belang. De grootheid vermogensdichtheid (in W/m^2) is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand. De elektrische veldsterkte (in V/m) is omgekeerd evenredig met de afstand. Deze regels gelden indien de afstand tot de antenne groter is dan de zogenaamde verre-veld afstand.

TNO heeft bij de analyse van de samengestelde blootstelling rekening gehouden met de systemen waarvan de eigenschappen zijn samengevat in tabel 4.

Tabel 4 Systeemgegevens. d is de afstand naar de woning, θ_{az} is de azimutbundelbreedte, P is het piekvermogen, η is de duty cycle, G is de maximale antennewinst. Vertrouwelijke gegevens zijn niet vermeld (min-teken).

Systeem	d (m)	θ_{az} (˚)	P (kW)	η (%)	G (dBi)
SMART-L MSSR	450	2,2	2	7	27
KNMI weerradar	510	1,0	500	0,12	45
Navigatieradar	1910	4,0	6	1	30
SMART-L PSR draaiende antenne	450	-	-	-	-
SMART-L PSR stilstaande antenne	450	-	-	-	-

De veldsterktes gedurende ontvangst van de radarpuls, de over het pulsherhalingsinterval gemiddelde veldsterkte en de over langere tijd gemiddelde veldsterkte zijn in tabel 5 vermeld.

Tabel 5 Overzicht van veldsterkte op 450 m afstand en op 9 m hoogte van de SMART-L installatie. E_p is de veldsterkte gedurende ontvangst van een radarpuls, E_{PRI} is de veldsterkte tijd-gemiddeld over het pulsherhalingsinterval, E is de veldsterkte gemiddeld over langere tijd.

Systeem	E_p (V/m)	E_{PRI} (V/m)	E (V/m)
SMART-L MSSR	12,2	3,2	0,25
KNMI weerradar	60,3	2,1	0,06
Navigatieradar	7,0	0,7	0,07
SMART-L PSR draaiende antenne	108,3	34,2	4,84
SMART-L PSR stilstaande antenne	31,6	10,0	9,99

Voor het toetsen aan de ICNIRP richtlijnen zijn de veldsterkten E_p en E gebruikt.

Voor het berekenen van de tijd-gemiddelde veldsterkte, E, moet rekening gehouden worden met het feit dat de radarbundel een scannende beweging maakt. Daartoe is van belang de fractie in de tijd dat de bundel van het systeem op de waarnemer gericht is. Deze fractie wordt aangeduid met ξ en worden per systeem in tabel 6 gegeven. Hierbij is uitgegaan van de veronderstelling dat de maximale antennewinst over de -3 dB punten van het enkelwegs-antennepatroon gehandhaafd blijft, terwijl de antennewinst daarbuiten verwaarloosbaar is.

Tabel 6 Belichtingsduurfracties voor de verscheidene systemen.

Systeem	ξ (%)
SMART-L MSSR	0,6
KNMI weerradar	0,1
Navigatieradar	1,1
SMART-L PSR draaiende antenne	2,0
SMART-L PSR stilstaande antenne	100,0

De rekenmethodiek die TNO in dit rapport toepast verschilt van de methodiek die de leverancier van de radarinstallatie (Thales) in het zogenaamde RadHaz-rapport, [41], toepast. Thales gebruikt voor zijn berekeningen de eigenschappen (uitgezonden vermogen en antennepatroon) van de individuele stralende elementen, terwijl TNO uitgaat van het netto uitgestraald vermogen en van het antennezendpatroon van de complete array antenne. Vanzelfsprekend mogen de resultaten niet substantieel afwijken. Om dit te controleren moet de veilige afstand die in het Thales rapport staat omgerekend worden naar de veldsterkte die TNO heeft berekend op 450 m afstand van de PSR/MSSR. In de mode met de niet-roterende antenne vermeldt Thales in tabel 5 een veilige afstand van 226 m voor het geval dat de waarnemer door de eerste zijlus naast de hoofdlus wordt belicht. Deze afstand geldt voor ‘algemeen publiek’, de piekvermogensdichtheid moet volgens de ICNIRP-richtlijn minder zijn dan 6500 W/m^2 (veldsterkte minder dan 1565 V/m, zie A.1), de tijd-gemiddelde vermogensdichtheid moet minder zijn dan 6,5 W/m^2 bedragen (veldsterkte minder dan tabel 4, Thales rapport), de bijbehorende veldsterkte is dan 49,5 V/m). De laatstgenoemde waarde extrapoleren naar 450 m resulteert in 24,9 V/m. De TNO bevinding (31,6 V/m) valt dus ongunstiger uit maar wijkt niet substantieel af.

A.1 Gebruikte vergelijkingen

De piek-vermogensdichtheid, Φ_p (W/m^2) op een specifieke afstand tot de antenne, *d* (m), wordt gegeven door

$$\Phi_p = \frac{G P_p}{4\pi d^2} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Met *G* de antennewinst, P_p het piekvermogen (W). De tijdgemiddelde vermogensdichtheid, Φ (V/m), wordt gegeven door

$$\Phi = \eta \Phi_p$$

Aangezien vermogensdichtheid het product is van de elektrische veldsterkte, *E*, en de magnetische veldsterkte, *H* (A/m), en $H = E/Z_0$ met $Z_0 = 120\pi$ de impedantie van de vrije ruimte, geldt:

$$E_p = \frac{\sqrt{30GP_p}}{d} \text{ (V/m)}$$
$$E = \sqrt{\eta} E_p \text{ (V/m)}$$

Veldsterkte en vermogensdichtheid kunnen in elkaar omgerekend worden: $E = \sqrt{120\,\pi\,\Phi}$.

B IKEA-winkels en Nobelprijswinnaars

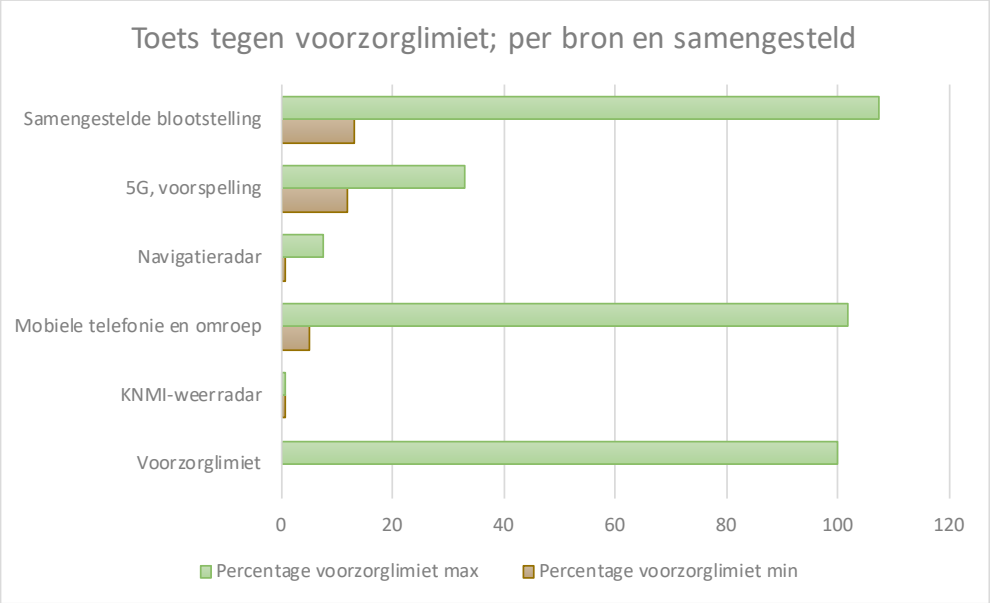
Een sprekend voorbeeld dat een gevonden statistisch significante relatie die niet noodzakelijkerwijs een causaal verband hoeft weer te geven is de statistisch significante relatie tussen chocoladeconsumptie en de hoeveelheid Nobelprijswinnaars [47]. In [48] is naar mogelijke verklaringen gezocht en de auteurs rapporteren die niet gevonden te hebben. In dit paper [48] wordt ook een andere interessante statistisch significante relatie gevonden, namelijk tussen de hoeveelheid IKEA-winkels en Nobelprijswinnaars. Ook hiervoor is door de auteurs geen oorzakelijk verband gevonden [48].

Het is lastig te begrijpen waarom het aantal IKEA-winkels bevorderlijk zou zijn voor het verstandelijk vermogen van bewoners in een land. Het gaat de auteurs van publicatie [48] erom dat correlatie niet hetzelfde is als causaliteit. Welvarende landen hebben onderwijs- en onderzoekinstellingen van hoger niveau, en dan mag worden verwacht dat daardoor meer Nobelprijswinnaars in dat land aanwezig zijn. In welvarende landen is, per inwoner, het aantal IKEA-winkels en de chocoladeconsumptie groter.

Het overwaarderen van een statistisch significante relatie tussen een onderzochte factor en een geobserveerde gebeurtenis is vaak een valkuil. Stellige conclusies over oorzakelijke verbanden zonder dat een plausibel verklaring aanwezig is, moeten dan ook met voorzichtigheid worden benaderd zoals de hier genoemde voorbeelden aangeven.

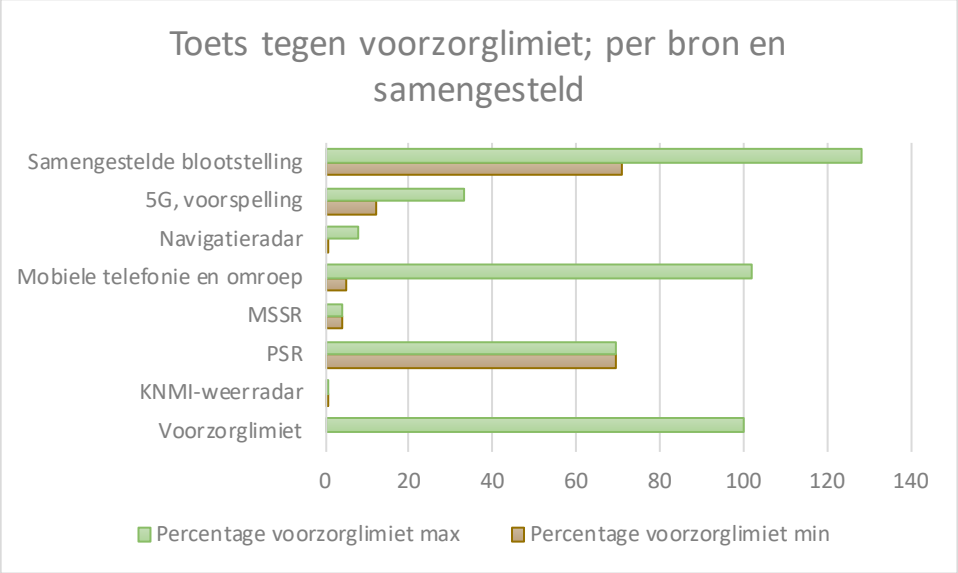
C Gedachtenexperiment van een toetst van de samengestelde blootstelling tegen afwijkende limietwaarden

In deze bijlage wordt een gedachtenexperiment uitgevoerd: wat als binnen Nederland het toetsingskader gelijk is aan het Belgische model volgens het Brussels Hoofdstedelijk gewest? Opgemerkt moet worden dat het Brussels hoofdstedelijk gewest de ordonnantie [32] niet van toepassing heeft verklaard op onder andere de *niet-ioniserende stralingen* van toestellen gebruikt door particulieren. De eigen systemen zullen derhalve in deze beschouwing van samengestelde blootstelling buiten beschouwing worden gehouden. Hieronder is de situatie voor de samengestelde blootstelling verder uitgewerkt indien de ordonnantie van het Brussels Hoofdstedelijk gewest wordt toegepast. Geconstateerd wordt dat ook zonder de eventuele bijdrage van de SMART-L installatie er een kans bestaat dat bij de dichtstbijzijnde woning de limiet die in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest wordt gehanteerd al wordt overschreden, de maximale blootstelling bedraagt immers 107,8%.



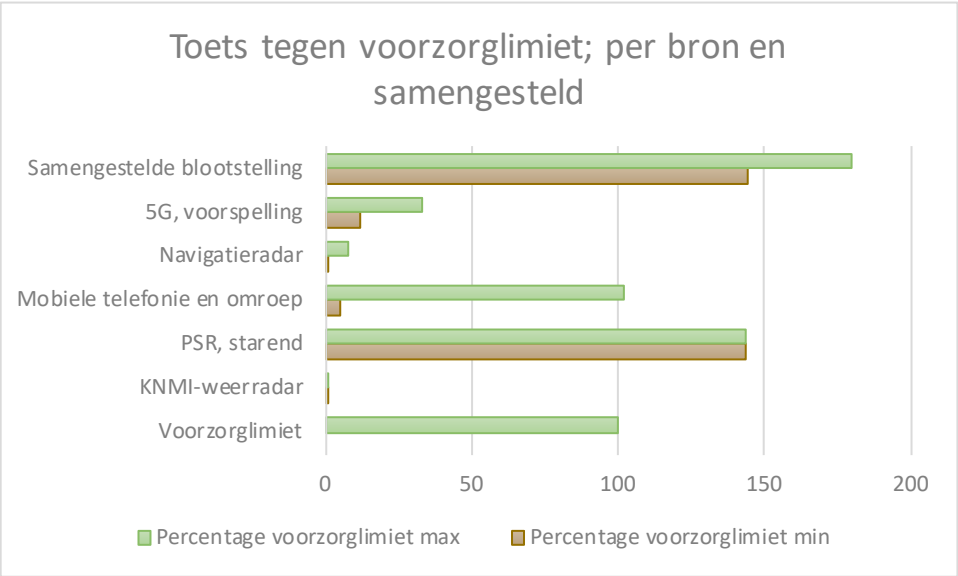
Figuur 10 Samengestelde blootstelling conform Brussels Hoofdstedelijk Gewest, zonder de SMART-L in roterende mode.

Indien de SMART-L in roterende mode wordt toegevoegd aan het overzicht, dan volgt daaruit dat in dit gedachtenexperiment de kans toeneemt dat de limiet voor samengestelde blootstelling wordt overschreden, zoals figuur 11 aangeeft.



Figuur 11 Samengestelde blootstelling conform Brussels Hoofdstedelijk Gewest, inclusief de SMART-L in roterende mode.

In figuur 12 is de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval de SMART-L in niet roterende (starende) mode wordt gebruikt. De toets naar de ordonnantie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest geeft aan dat deze waarde hoger uitkomt dan 100% dus in dit gedachtenexperiment niet is toegestaan.



Figuur 12 Samengestelde blootstelling conform Brussels Hoofdstedelijk Gewest, inclusief de SMART-L in starende mode.

C.1 Conclusie gedachtenexperiment toepassen van ordonnantie Brussels Hoofdgewest op SMART-L

Indien de ordonnantie van het Brussels Hoofdgewest in Nederland zou worden gehanteerd, dan volgt uit de evaluatie dat plaatsing van de SMART-L met een woning op 450 m afstand niet is toegestaan, zoals figuur 11 en figuur 12 aangeven. Uit figuur 12 is moeilijk af te lezen dat voor de SMART-L in starende mode dat de samengestelde blootstelling tussen de 144,4% en 179,4% komt te liggen.

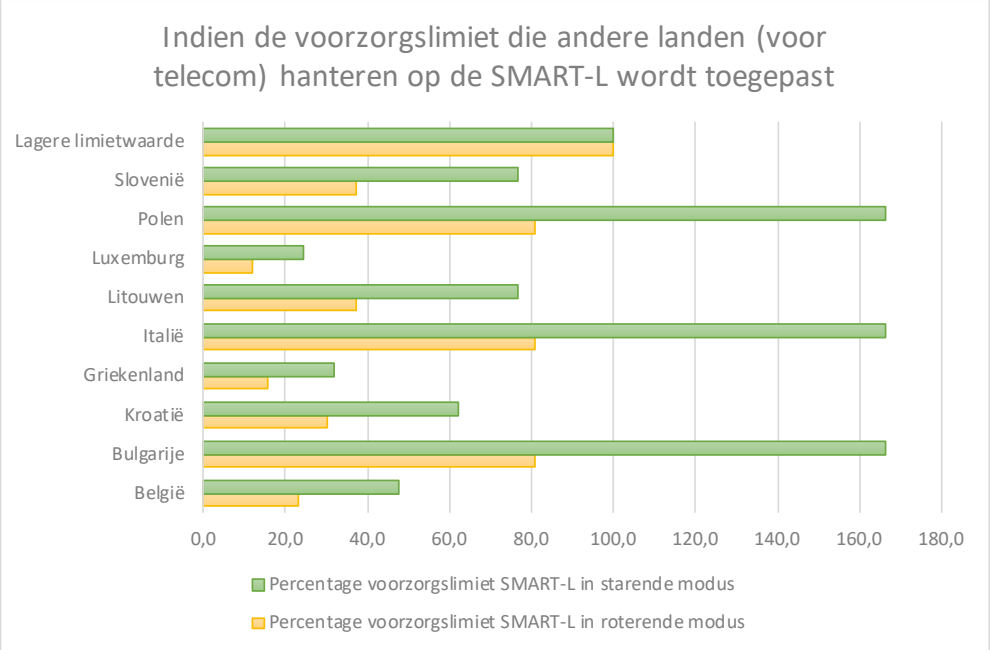
C.1.1 Gedachtenexperiment bij plaatsing in Europese landen met afwijkende (strengere) blootstellingslimieten dan ICNIRP.

Voor de volledigheid wordt in deze paragraaf kort ingegaan op wat de plaatsing van de SMART-L in andere landen zou betekenen. Dit overzicht beoogt geen volledige analyse te geven, zoals in de vorige paragraaf over de ordonnantie Brussels Hoofdgewest. Gekozen is om de SMART-L in de starende mode, dus waarbij lokaal de hoogste intensiteit gehaald wordt, als toets te gebruiken. De resultaten zijn gegeven in tabel 7. Zoals verwacht zal de SMART-L in starende mode niet overal worden toegestaan indien er op 450m afstand een woning is. De toets is voor België, Kroatië, Griekenland, Litouwen, Luxemburg en Slovenië positief, zie tabel 7. Voor Bulgarije, Italië en Polen komt de toets boven de 100% uit. Zoals eerder gezegd, is dit een gedachtenexperiment en moet worden gezien als een indicatieve schatting zonder diepgaande analyse. Voor de Nederlandse situatie moet worden getoetst tegen de ICNIRP-richtlijn, zoals in 5.2 is uitgewerkt.

Tabel 7 SMART-L in starende mode getoetst tegen voorzorgslimieten van enkele Europese landen.

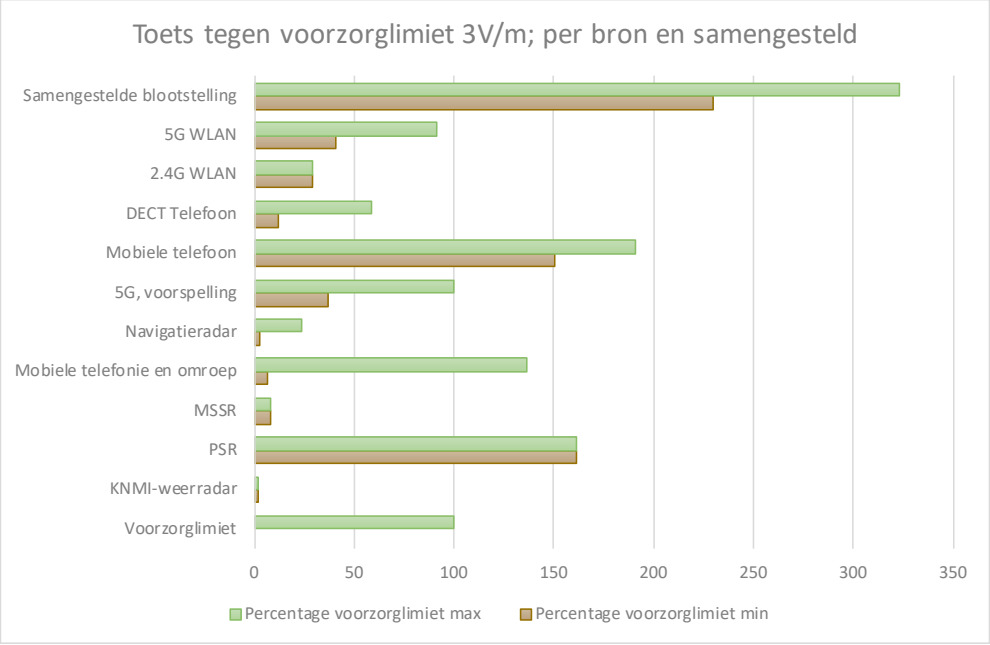
Land	Voorzorg Limiet (V/m)	Percentage voorzorgslimiet SMART-L in roterende modus	Percentage voorzorgslimiet SMART-L in starende modus
België	21	23,0	47,6
Bulgarije	6	80,7	166,5
Kroatië	16,1	30,1	62,1
Griekenland	31,2	15,5	32,0
Italië	6	80,7	166,5
Litouwen	13	37,2	76,8
Luxemburg	41	11,8	24,4
Polen	6	80,7	166,5
Slovenië	13	37,2	76,8

Om de leesbaarheid van de informatie te verbeteren is tabel 7 omgezet naar een stavendiagram.



Figuur 13 Een gedachtenexperiment waarbij de afzonderlijke voorzorglimieten van verschillende landen worden toegepast op de SMART-L.

Voor de volledigheid wordt in figuur 14 tegen een fictieve (voorzorg)limiet van 3 V/m, die als extreem laag mag worden beschouwd, getoetst. De SMART-L is in dit geval in roterende modus genomen.



Figuur 14 Samengestelde blootstelling conform een fictieve limiet van 3 V/m. In dit overzicht zijn de eigen en externe RF-bronnen inclusief de SMART-L in roterende mode beschouwd.

REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL)	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO
		TNO 2020 R10094
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO	**5. CONTRACT NO**	**6. REPORT DATE**
060.42151		January 2020
7. NUMBER OF PAGES	**8. NUMBER OF REFERENCES**	**9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED**
57 (incl 3 appendices, excl RDP & distribution list)		Final

10. TITLE AND SUBTITLE

Evaluatie van gezondheidsaspecten door RF-velden afkomstig van de voorgenomen SMART-L radar te Herwijnen

11. AUTHOR(S)

[redacted]

12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)

TNO, P.O. Box 96864, 2509 JG Den Haag, The Netherlands
Oude Waalsdorperweg 63, Den Haag, The Netherlands

13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)

14. SUPPLEMENTARY NOTES

The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.

15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE))

Health aspects as a consequence of RF-fields emitted by the SMART-L radar systems are discussed. This radar system is planned to be installed in The Netherlands, close to the town Herwijnen. It is concluded that the ICNIRP guidelines will not be violated. Furthermore, it is advised to perform in-situ field strength measurements in order to verify the calculated values.

16. DESCRIPTORS	IDENTIFIERS

17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
Ongerubriceerd	Ongerubriceerd	Ongerubriceerd

18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)
Subject to approval MOD-NL	Ongerubriceerd

Distributielijst Rapport TNO 2020 R10094

Ten behoeve van de distributie binnen Defensie

Dynamisch Informatie Beheer, DMO *MPC 55A (Kromhoutkazerne)*	*cd*

DEFENSIE

Geadresseerde	**Soort**
DMO/Directie Projecten Projectbegeleider [redacted]	pdf
NLDA/Projectbureau K&I [redacted] MPC 71C (Kasteel)	hardcopy
DMO/Joint IV Commando/C4I&I/ Informatie-Beheer/PDB MPC 55A (Kromhoutkazerne)	pdf

TNO

Geadresseerde	**Soort**
Referent, Roadmap Directeur [redacted]	email-alert
Projectleider [redacted]	email-alert
Research manager projectleider [redacted]	email-alert
[redacted]	email-alert email-alert email-alert
Centraal Archief locatie DHW	hardcopy
Centraal Archief locatie DHW	cd