Defensie & Veiligheid
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 R11278

Evaluatie van gezondheidsaspecten door blootstelling voorgenomen SMART-L radar te Herwijnen: aanvulling op rapportage TNO 2020 R10094

Datum	Augustus 2020
Auteur(s)	[redacted]
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	[redacted]
Vastgesteld d.d.	27 augustus 2020
Titel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Oplage	4 (2 hard copies & 2 cd's)
Aantal pagina's	51 (incl. bijlage, excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	2
Projectnummer	060.42151

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. De beoogde locatie voor deze lange-afstandsradar is Broekgraaf 1 te Herwijnen, gemeente West-Betuwe.

In januari 2020 heeft TNO een rapportage uitgebracht die ingaat op de zorgen die bewoners hebben geuit over mogelijke negatieve gevolgen op hun gezondheid die toegeschreven zou kunnen worden aan de voorgenomen radarinstallatie. TNO heeft in dat kader de te verwachten blootstelling getoetst tegen de geldende ICNIRP blootstellingslimiet.

De rapportage van TNO van januari 2020 heeft tot een aantal vragen om nadere (technische) toelichting geleid. Ook is na het uitkomen van dit rapport in maart 2020 een herziene ICNIRP-richtlijn gepubliceerd. Ondanks het feit dat deze herziene richtlijn nog niet als toetsingskader is overgenomen, zal de herziene richtlijn in deze rapportage al wel worden meegenomen. In deze rapportage beantwoordt TNO een aantal gestelde vragen. Ook publiceert TNO in deze rapportage de toets van de samengestelde blootstelling tegen de huidige en herziene ICNIRP-richtlijn. Daarbij wordt speciale aandacht gegeven aan de tijdelijke woningunit die op kortere afstand van de radar is gesitueerd. In de eerdere rapportage is alleen de permanente woning in de analyses meegenomen. Zoals de titel suggereert kan deze rapportage worden beschouwd als een aanvulling op het TNO rapport van januari 2020.

In deze aanvullende rapportage heeft TNO dezelfde uitgangspunten genomen. Ook nu heeft TNO de blootstelling geschat en in deze 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. De verwachting is dat de werkelijke blootstellingsniveaus lager zullen uitvallen dan de schattingen die TNO heeft gepubliceerd.

Geconcludeerd wordt dat de voorgenomen SMART-L-radar nabij de dorpskern Herwijnen voldoet aan de blootstellingslimieten van de nu geldende ICNIRP-richtlijn (1998) en ook aan de blootstellingslimieten van de recent gepubliceerde herziene ICNIRP-richtlijn (2020). Hoe TNO tot deze conclusie komt, wordt in dit rapport nader toegelicht.

Verwijzend naar het adagium “Meten is weten”, adviseert TNO net als in de eerdere rapportage om:
- na de realisatie van de SMART-L radarinstallatie op verschillende locaties blootstellingsmetingen uit te voeren. Deze locaties kunnen in overleg met belanghebbenden worden bepaald maar TNO adviseert om in ieder geval bij de dichtstbijzijnde woning en de tijdelijke woonunit deze metingen uit te voeren.
- totdat de herziene richtlijn is overgenomen als toetsingskader:
  - deze metingen te toetsen tegen zowel de geldende ICNIRP-richtlijn (1998) als de onlangs gepubliceerde herziene ICNIRP-richtlijn (2020),

- de radarinstallatie operationeel te stellen alleen als door metingen is aangetoond dat de radarinstallatie voldoet aan zowel de geldende ICNIRP-richtlijn (1998) als aan de herziene ICNIRP-richtlijn (2020).

Indien voor ingebruikname de herziene richtlijn als toetsingskader is overgenomen, dan kunnen de metingen alleen worden tegen de herziene ICNIRP-richtlijn (2020) worden getoetst.

Inhoudsopgave

Samenvatting **2**

Lijst van afkortingen **5**

1 Inleiding **6**
1.1 Tijdelijke woningunit aan de Nieuwe Steeg 56A te Herwijnen 6
1.2 Herziene ICNIRP-richtlijn 7
1.3 Rapportopbouw 7

2 Nadere technische toelichtingen **8**
2.1 Piekveldsterkte en tijdgemiddelde veldsterkte 8
2.2 Samengestelde blootstelling in percentages 8
2.3 Is een lager percentage beter? 9
2.4 Invloed KNMI weerradar 9
2.5 Afstand tot de radarinstallatie 9
2.6 Rondzoek en starende modus 10
2.7 Hoe kan TNO garanderen dat de analyse correct is uitgevoerd? 11
2.8 Een radar kan 2000 km ver waarnemen. Waarom zijn er twee systemen nodig? 11

3 Overeenkomsten en verschillen tussen de ICNIRP1998 en de ICNIRP2020 richtlijnen. **13**
3.1 Blootstelling aan korte perioden van hoge elektromagnetische veldsterkten 13
3.2 Blootstelling aan elektromagnetische velden: tijdgemiddelde blootstelling van het hele lichaam 14
3.3 Toetsing van de ICNIRP referentiewaarden 15
3.4 Pieklimitwaarde van de elektrische veldsterkte onder ICNIRP2020 richtlijn. 17

4 Toetsing tegen ICNIRP1998 en ICNIRP2020 ..... **18**
4.1 Toetsing op een afstand van 300 m, de erfgrens van het perceel met de tijdelijke woningunit 18
4.2 Toetsing voor de tijdelijke woningunit op een afstand van 370 m 24
4.3 Toetsing voor de woning op een afstand van 450 m tegen ICNIRP2020 29

5 Conclusies en aanbevelingen **32**

6 Bibliografie **33**

7 Ondertekening **34**

Bijlage(n)
A Limietwaarde, ICNIRP referentiewaarde en ICNIRP basisrestrictie
B ICNIRP2020 voor lokale blootstelling met een integratietijd 0 < t < 360 s

Lijst van afkortingen

2.4G WLAN	2.4 GHz Wireless Local Area Network
5G	5e generatie mobiele telecommunicatie
5G WLAN	5 GHz Wireless Local Area Network
ALARA	As Low as Reasonably Achievable
dB	Decibel, een logaritmische schaal.
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
EMF	Electromagnetic Fields, oftewel Elektromagnetische velden
GHz	Gigahertz, 10^9 hertz
GSM	Global System for Mobile Communications; 2^e generatie mobiele telecommunicatie
Hz	Hertz, afgeleide SI-eenheid voor frequentie [s^{-1}]
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
J	Joule, afgeleide SI-eenheid voor energie [kgm^2/s^2]
kg	Kilogram, SI-basiseenheid van massa
kHz	kilohertz, 10^3 hertz
KLu	Koninklijke Luchtmacht
km	kilometer, 10^3 = 1000 meter
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
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)
PSR	Primary Surveillance Radar (ook wel primaire radar genoemd)
RF	Radiofrequent
RMS	Root Mean Square
SAR	Specific Absorption Rate [W/kg]
s	Seconde, SI-basiseenheid van tijd
SI	Système international d'unités
SMART-L	Signaal Multibeam Acquistion Radar for Targeting L-band
TNO	Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
V	Volt, SI-eenheid voor spanning
V/m	Elektrische veldsterkte
W	Watt, Vermogen [J/s]

1 Inleiding

In januari 2020 heeft TNO een rapport uitgebracht (TNO 2020 R10094) met de titel “Evaluatie van gezondheidsaspecten door RF-velden afkomstig van de voorgenomen SMART-L radar te Herwijnen” [1]. Na publicatie zijn er extra vragen bij het Ministerie van Defensie binnen gekomen. Deze vragen zijn enerzijds afkomstig van enkele burgers. Anderzijds zijn er in de Tweede Kamer vragen over het TNO rapport [1] aan de Staatssecretaris van Defensie gesteld. Het overgrote deel van de vragen zijn beantwoord op de speciaal voor dit doel gemaakte website [2], in het bijzonder de reactiebundel militair radarstation van 6-2-2020, en de kamerbrief van 20-4-2020 [3]. Voor enkele resterende vragen was nader onderzoek nodig om tot een beantwoording te komen. De resultaten van dat onderzoek zijn in deze rapportage vastgelegd.

Deze rapportage kan als aanvullend worden gezien op het eerder gepubliceerde TNO rapport [1]. In deze aanvullende rapportage staan twee onderwerpen centraal. De tijdelijke woningunit aan de Nieuwe Steeg 56A te Herwijnen en de toets tegen de herziene ICNIRP-richtlijn. Tevens wordt van de gelegenheid gebruik gemaakt om in hoofdstuk 2 nadere toelichting te geven aan onderwerpen van technische aard waar herhaaldelijk vragen over zijn gesteld, en wel:

- Waarom is er een norm voor de piekveldsterkte en een norm voor de tijdgemiddelde velsterkte?
- Waarom wordt de samengestelde blootstelling uitgedrukt in percentages, en niet in V/m (veldsterkte)?
- Is een lager percentage “samengestelde blootstelling” wel of niet beter?
- Klopt het dat de weerradar van het KNMI nauwelijks bijdraagt aan de samengestelde blootstelling?
- Hoe komt het dat de blootstelling geringer wordt als de afstand tot de radarinstallatie afneemt?
- Waarom is de blootstelling in de starende modus van de SMART-L geringer dan in de rondzoekmodus, terwijl het systeem in de starende modus verder kan waarnemen?
- Hoe weten we of de analyse van TNO geen onjuistheden bevat?
- Waarom zijn twee radarsystemen nodig als de fabrikant aangeeft dat de radar 2000 km ver kan waarnemen?

1.1 Tijdelijke woningunit aan de Nieuwe Steeg 56A te Herwijnen

Op het perceel van de dichtstbijzijnde boerderij is in 2018 een tijdelijke vergunning verleend voor een woonunit. Het gaat hier om een inpandige verbouwing van een bestaande (bedrijfs)loods. Deze tijdelijke woningunit op de boerderij aan de Nieuwe Steeg 56A staat zo’n 70 tot 80 meter dichter bij de beoogde radarlocatie dan de permanente woning op dat perceel.

In het eerder door TNO uitgevoerde onderzoek [1] is uitgegaan van de feitelijke afstanden tussen de beoogde locatie van de radar midden op het perceel aan de Broekgraaf 1 en de betrokken woningen in de omgeving. De gemeten afstand tussen de geplande locatie van de radar en de reguliere bedrijfswoning op het terrein van de dichtstbijzijnde boerderij is (afgerond) 450 meter. Deze afstand van 450 m is gebruikt in [1]. In deze aanvulling op het vorige TNO rapport [1] heeft TNO

de berekeningen opnieuw uitgevoerd voor de afstand tussen de voorgenomen radarlocatie en de tijdelijke dichtstbijzijnde woningunit. TNO heeft daarvoor de afstand van 370 m genomen.

Omdat in de gesprekken ook de vraag is ontstaan wat de gelijktijdige samengestelde blootstelling op de rand van het perceel is, heeft TNO ook berekeningen uitgevoerd voor een afstand van 300 m tot de locatie van de voorgenomen SMART-L.

1.2 Herziene ICNIRP-richtlijn

Begin maart 2020 is de nieuwste ICNIRP-richtlijn gepubliceerd [4]. Over deze herziening moet de Raad van de Europese Unie nog adviseren, daarna moeten ze nog van kracht worden verklaard.

Omdat vooraf duidelijkheid moet zijn of de voorgenomen SMART-L radar te Herwijnen voldoet aan de herziene ICNIRP-richtlijn heeft TNO een analyse op de nieuwe ICNIRP-richtlijnen uitgevoerd. Zo kan worden vastgesteld of aan de nieuwe richtlijn voldaan wordt indien ICNIRP2020 als toetsingskader wordt overgenomen.

1.3 Rapportopbouw

In hoofdstuk 2 van dit rapport worden, naar aanleiding van aan TNO gerichte vragen na publicatie van [1], enkele technische aspecten nader toegelicht.

In hoofdstuk 3 worden de overeenkomsten en verschillen, voor zover van belang voor deze analyse en toetsing, tussen de huidige en de herziene ICNIRP-richtlijnen besproken.

In hoofdstuk 4 van dit rapport komt de blootstelling op kortere afstand dan 450 m aan de orde. Meer in het bijzonder wordt de vraag beantwoord wat voor de tijdelijke woningunit op de boerderij aan de Nieuwe Steeg 56A de gelijktijdige samengestelde blootstelling is, zoals reeds is aangeven in paragraaf 1.1. Ook zal worden ingegaan op de implicaties van de ICNIRP-richtlijn 2020, die in maart 2020 is gepubliceerd. In deze rapportage zal het jaartal worden gebruikt om de toegepaste richtlijn aan te geven. Met ICNIRP1998 wordt de ICNIRP-richtlijn [5] gepubliceerd in 1998 bedoeld. Met de aanduiding ICNIRP2020 wordt de ICNIRP-richtlijn [4] gepubliceerd in 2020 bedoeld.

Het rapport wordt door hoofdstuk 5 afgesloten met conclusies en aanbevelingen.

2 Nadere technische toelichtingen

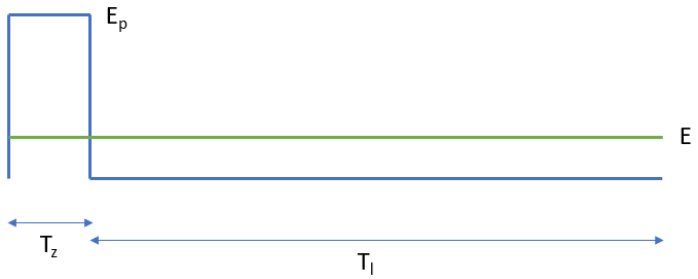
In dit hoofdstuk wordt door TNO ingegaan op vraagstukken die na het uitbrengen van het TNO rapport TNO 2020 R10094 [1] regelmatig om een nadere toelichting vroegen.

2.1 Piekveldsterkte en tijdgemiddelde veldsterkte

De ICNIRP heeft een richtlijn geformuleerd voor de piekveldsterkte, E_p (V/m) en een richtlijn voor de tijdgemiddelde veldsterkte, E (V/m). De relatie tussen de twee grootheiden wordt figuur 2.1 geïllustreerd. De piekveldsterkte treedt op indien de radar de puls uitzendt. Pulsradars zenden beduidend korter dan dat zij luisteren (ontvangen). De tijdgemiddelde veldsterkte, die rekening houdt met de zendduur en de luisterduur, wordt gegeven door:

$$E = E_p \frac{T_z}{T_l} = E_p \eta,$$

T_z (s) is de zendduur, T_l (s) is de luisterduur, η is de duty cycle. De duty cycle is het verhoudingsgetal tussen de tijd dat wordt uitgezonden en de tijd waarin niet wordt uitgezonden.



Figuur 2.1 Veldsterkte versus tijd.

Voor moderne radarsystemen is gewoonlijk de ICNIRP-richtlijn voor tijdgemiddelde veldsterkte stringenter dan de richtlijn voor de piekveldsterkte. De pulsen hebben weliswaar minder RF-piekvermogen, maar duren wel langer.

2.2 Samengestelde blootstelling in percentages

Herhaaldelijk is de vraag gesteld waarom TNO de samengestelde blootstelling heeft uitgedrukt in percentages. Waarom worden niet de veldsterkten (in V/m) bij elkaar opgeteld?

Het antwoord op de vraag luidt: ‘omdat de blootstellingslimiet frequentieafhankelijk is.’ Voor een signaal dat varieert met 50 Hz (50 trillingen per seconde) geldt een andere limiet dan voor een signaal dat varieert met 1030 MHz. De ICNIRP methodiek om tot een analyse van de gelijktijdige samengestelde blootstelling te komen is in het eerder uitgebrachte TNO rapport beschreven. Deze methodiek normeert per frequentie de (berekende of gemeten) tijdgemiddelde veldsterkte. De berekening volgens de voorgeschreven methodiek levert dit een getal op tussen 0

en 1, ofwel tussen 0% en 100%. Het optellen van de tijdgemiddelde veldsterkten (V/m) geeft een onjuist toetsresultaat.

2.3 Is een lager percentage beter?

In de vaststelling van de blootstellingslimietwaarden betekent, onder de huidige inzichten, “onder de ICNIRP-limiet” dat aan de mens voldoende bescherming wordt geboden tegen negatieve effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden.

Dat betekent dat, bijvoorbeeld, een samengestelde blootstelling die op 12% van de limietwaarde uitkomt niet beter is dan een samengestelde blootstelling die hoger, bijvoorbeeld op 34%, uitkomt. Zolang de berekende of gemeten waarden onder 100% uitkomen is de getoetste situatie “onder de ICNIRP-limiet” en representeert daarmee een situatie die aan mensen voldoende bescherming biedt tegen negatieve effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden.

Of een waarde zo laag als mogelijk moet zijn (ALARA: As Low as Reasonably Achievable) is een aspect dat in paragraaf 3.3 van het TNO rapport TNO R10094 [1] is behandeld.

2.4 Invloed KNMI weerradar

TNO oordeelt in de eerdere rapportage dat de KNMI radar nauwelijks bijdraagt aan de samengestelde blootstelling. Het uitgezonden vermogen is immers 500 kW. Uit de gestelde vragen blijkt dat dit nadere toelichting behoeft. Waarom de bijdrage van de KNMI weerradar aan de samengestelde blootstelling zo laag is, kent drie oorzaken, namelijk:

1 De weerradar luistert veel langer dan dat het zendt. De verhouding van zendtijd tot luistertijd, de duty cycle, is 0,12%. Met andere woorden, het systeem luistert 833 langer dan dat het zendt, denk aan een knipperlicht dat zeer sporadisch knippert. Dit doet de tijdgemiddelde blootstelling drastisch afnemen.
2 De antenne draait niet rond, zoals bijvoorbeeld de radar bij Schiphol, maar maakt een zogenaamde helixbeweging, waarbij de antenne, al draaiende om zijn as, steeds hoger gaat kijken. Gedurende het grootste deel van de tijd ‘belicht’ het systeem de grond dus niet.
3 De antenne heeft een smalle bundel, dat wil zeggen dat de antenne maar een klein oppervlakte belicht.

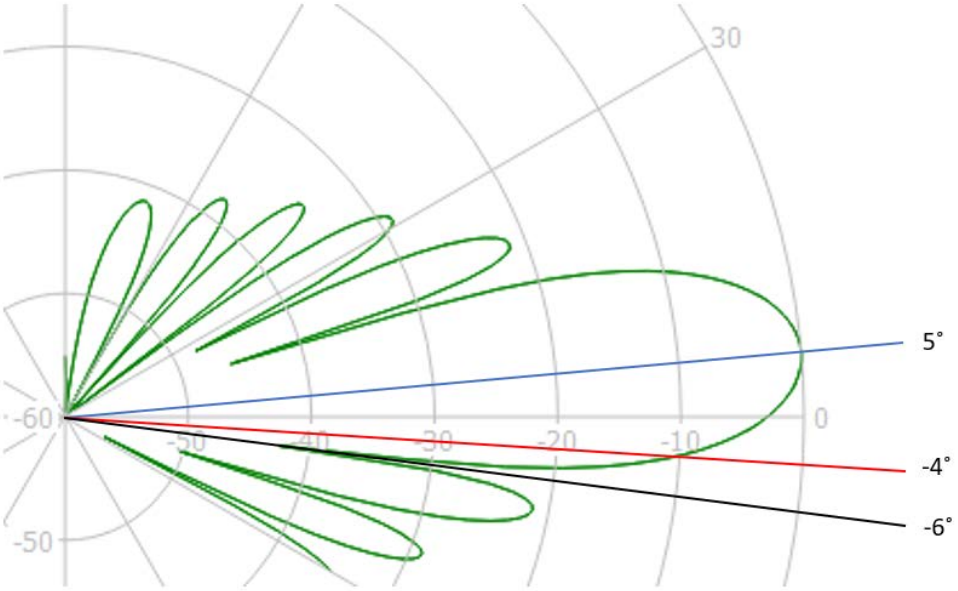
De combinatie van de lage duty-cycle, smalle antennebundel en de speciale antennebeweging doet de tijdgemiddelde blootstelling op en nabij maaiveldniveau sterk afnemen.[1]

2.5 Afstand tot de radarinstallatie

Zoals in het eerder verschenen TNO rapport is beschreven, is veldsterkte omgekeerd evenredig met de afstand tot de radarantenne. Dit leidt makkelijk tot de veronderstelling: hoe dichterbij men komt, des te gevaarlijker het wordt. In de praktijk is dat niet het geval.

[1] Deze antennebeweging kunnen de bewoners van Herwijnen niet waarnemen, de antenne van het systeem bevindt zich namelijk in een bol.

De reden daarvoor is: de uitgezonden RF-energie is niet in alle richtingen gelijk. Dit wordt verduidelijkt in figuur 2.2 waarin een zogenaamd antennepatroon wordt getoond. Te zien is dat de meeste energie wordt uitgezonden onder een hoek van 5˚ omhoog. De hoek wordt elevatiehoek genoemd. Veronderstel dat de radarantenne zich op 27 m hoogte ten opzichte van de grond bevindt. De elevatiehoek naar het hoofd van een persoon op 360 m afstand bedraagt -4˚ aangegeven met de rode lijn. Onder een hoek van -6˚ (afstand circa 240 m, zwarte lijn) is de zogenaamde antennewinst een 10000ste ('40 dB minder') van de antennewinst op de zogenaamde hoofdas, onder een hoek van 5˚ (blauwe lijn). De persoon zal daardoor een zeer kleine fractie van de uitgezonden hoeveelheid energie ontvangen. Hierdoor geldt 'hoe dichterbij hoe gevaarlijker' niet. Kortom: bij berekeningen aan de blootstelling op een bepaalde locatie moet de radarhoogte en de vorm van de zendbundel worden meegenomen.



Figuur 2.2 Afbeelding van een elevatie antennepatroon (groene lijn) bij zenden. De cirkels geven het niveau van de antenne-uitstraling aan. Dit is in decibels (dB) gegeven en 0 dB is het maximum en de waarde van de antenne-uitstraling in een bepaalde richting is de antennewinst.

Waarom blijkt dit hierboven beschreven effect niet uit de TNO-berekeningen in hoofdstuk 4? Dat komt omdat TNO in de berekeningen de 'worse case' benadering toepast. Dat betekent dat dit effect wordt genegeerd en daardoor wel hogere waarden van de veldsterkte worden berekend dan in de praktijk te verwachten valt.

2.6 Rondzoek en starende modus

Waarom is de blootstelling in de starende modus van de SMART-L geringer dan in de rondzoekmodus, terwijl het systeem in de starende modus veel verder kan waarnemen.

Dit heeft te maken met de vorm en de stand van de zendbundel, die in de rondzoekmodus anders is dan in de starende modus. In de starende modus kijkt de radar enigszins omhoog waardoor de antennewinst naar bebouwing minder is dan de antennewinst in de rondzoekmodus.

Vermeldenswaardig is voorts dat de blootstelling voor beide radarmodi zal worden gemeten.

2.7 Hoe kan TNO garanderen dat de analyse correct is uitgevoerd?

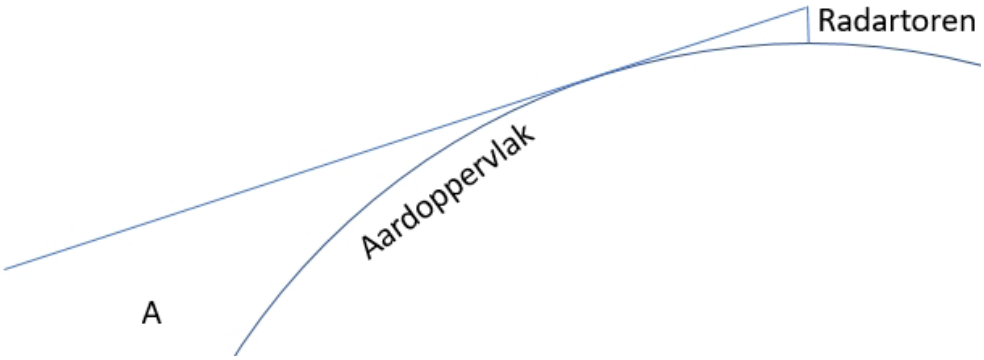
TNO heeft zich in de uitgevoerde berekeningen gebaseerd op systeemgegevens die zijn verstrekt door de radarfabrikant, Thales Nederland B.V. en door het KNMI. De gegevens van de SMART-L zijn gerubriceerd en kunnen niet openbaar worden gemaakt. Voor wat betreft de secundaire radar en navigatieradars is uitgegaan van openbare bronnen. TNO heeft die gegevens als experts op radargebied beoordeeld en heeft geen reden aan te nemen dat de door Thales Nederland B.V. verstrekte gegevens onjuist zijn. Volledige garantie dat er geen onjuistheden in de aan TNO verstrekte en dientengevolge door TNO gebruikte gegevens kunnen zitten, heeft TNO niet. TNO heeft echter veel vertrouwen in de eigen ontwikkelde analyseprogramma's. Deze programma's worden geruime tijd gebruikt. Zoals met ieder computerprogramma kan TNO ook niet voor 100% uitsluiten dat er, ondanks interne controles, nog niet ontdekte fouten in de door TNO ontwikkelde analyseprogramma's zitten. TNO wil ook voorkomen dat er een onderschatting zou worden gerapporteerd. Daar waar enige twijfel is over de toe te passen waarde, is de afronding zo uitgevoerd dat het bij de toets een hogere blootstelling zou opleveren. Zo is de kans groter dat de door TNO gerapporteerde te verwachten blootstelling hoger uit zal komen dan wat de werkelijke blootstelling zal worden. Op deze wijze heeft TNO de kans willen minimaliseren dat de bouw van de SMART-L zou kunnen worden gestart terwijl die mogelijk niet aan de vigerende ICNIRP-richtlijn (uit 1998) of de onlangs herziene richtlijn zou kunnen voldoen.

Het is om bovenstaande redenen dat TNO nadrukkelijk heeft geadviseerd om metingen uit te voeren, zulks onder het motto 'meten is weten.' Zodoende wordt optimaal gewaarborgd dat na inbedrijfsstelling van de SMART-L de vigerende ICNIRP-richtlijn niet wordt geschonden.

2.8 Een radar kan 2000 km ver waarnemen. Waarom zijn er twee systemen nodig?

Ook al kan een radarinstallatie tot 2000 km waarnemen betekent dat niet dat met een installatie volstaan kan worden. Hiervoor zijn twee redenen, namelijk:

1 Omdat de aarde bolvormig is en een radar een directe zichtlijn nodig heeft ("line of sight"), heeft een radar moeite om objecten op lage hoogte op voldoende grote afstand waar te nemen. Dit is in figuur 2.3 geïllustreerd. Door zorgvuldig uitgekozen plaatsing van twee systemen op Nederlands grondgebied kan ook op lagere hoogte een optimaal dekkingspatroon worden verkregen zoals is uitgevoerd in [6].
2 Ondanks de hierboven aangegeven motivatie om twee systemen in bedrijf te hebben, moet regelmatig onderhoud gepleegd worden aan één van de radarinstallaties. In dergelijke gevallen is het nodig om het andere radarsysteem in bedrijf te hebben.



Figuur 2.3 Door de kromming van het aardoppervlakte kan de radar geen objecten in volume A waarnemen.

3 Overeenkomsten en verschillen tussen de ICNIRP1998 en de ICNIRP2020 richtlijnen.

Op de ICNIRP website, [7], is een overzicht gepresenteerd over de overeenkomsten en verschillen tussen de ICNIRP2020 richtlijn en de overige (voorgaande) richtlijnen. ICNIRP heeft met de publicatie van de ICNIRP2020 richtlijn de gelegenheid genomen om naast de ICNIRP1998 richtlijn ook de richtlijn uit 2010 voor het lager frequente spectrum (100 kHz – 10 MHz), [8], te herzien.

In bijlage A wordt een beknopte beschrijving gegeven over hoe in deze rapportage wordt omgegaan met limietwaarde, referentiewaarde en basisrestrictie.

3.1 Blootstelling aan korte perioden van hoge elektromagnetische veldsterkten

ICNIRP1998 stelt een limiet voor blootstelling aan een korte piek in de elektrische veldsterkte. Die limiet wordt bepaald door de waarde van de blootstellingslimiet voor 6 minuten tijdgemiddelde continue blootstelling met een vaste factor 32 (of met $\sqrt{1000} = 31{,}6$) te vermenigvuldigen. Die waarde geeft dan (per systeem) de limietwaarde voor de piekveldsterkte. In de ICNIRP1998 richtlijn wordt aangegeven dat er toentertijd weinig informatie beschikbaar was over de mogelijke effecten van blootstelling aan gepulste elektromagnetische velden. Om toch een limiet te formuleren, stelt ICNIRP1998 in voetnoot 5 bij tabel 7 op pagina 511 het volgende voor.

> *For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width does not exceed 1,000 times the S_{eq} restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.*
> *[Vertaling: Voor frequenties boven 10 MHz wordt voorgesteld om de equivalente piekvermogensdichtheid van een vlakke invallende golf, gemiddeld over de pulsbreedte, niet hoger dan 1000 maal de restrictie in S_{eq}[2] te laten zijn of dat de veldsterkte niet meer bedraagt dan 32 maal het veldsterkte blootstellingsniveau zoals in de tabel is gegeven].*

Ook geeft de ICNIRP1998 aan om blootstelling aan (extreem) hoge piekveldsterkte te voorkomen omdat mensen een gering thermisch effect beter bekend als “RF-pulsed hearing” of ook als “microwave auditory effects” waarnemen.

Doordat in de afgelopen vijftien jaar de computermodellering sterk verbeterd is, is meer kennis ontwikkeld over de interactie tussen een menselijk lichaam en gepulste elektromagnetische velden. In een paper van Kodera *et.al.*, [9], is een analyse uitgevoerd over de temperatuurstijging door kortdurende blootstelling onder 6 GHz. Gebleken is dat temperatuurstijging door kortdurende blootstelling niet alleen te beperken is door de energiedichtheid van het invallende elektromagnetische veld

[2] S_{eq} is de “Equivalent plane wave power density” [W m^{-2}], de equivalente energiedichtheid van de vlakke (invallende) golf. Vanuit deze waarde is de elektrische of magnetische veldsterkte te bepalen. Voor de piekwaarde van de elektrische veldsterkte gebruikt men dan de formule $\left|E_{piek}\right| = \sqrt{1{,}2\ 10^5 \pi S_{eq}}$.

als maat te nemen. Er is door Kodera *et.al.* [9] een regressieformule[3] gegeven die weer in de ICNIRP2020 te herkennen is.

In de nieuwe ICNIRP2020 richtlijn wordt geen numerieke limitering van de piekveldsterkte gegeven terwijl dat wel in de ICNRIP1998 het geval was. Er wordt wel een limietwaarde opgelegd van de geabsorbeerde energie die een puls, of pulstrein, over maximaal 360 s (6 minuten) tijdgemiddeld in (delen van) het lichaam mag veroorzaken. Tegen deze grens zal TNO haar berekeningen toetsen. Opgemerkt wordt dat in de ICNIRP2020 geen melding meer wordt gemaakt over het beperken van het "RF-pulsed hearing". Op pagina 520 van ICNIRP2020 [4] staat hierover:

> *Although higher intensity SA pulses may result in more pronounced effects, there is no evidence that microwave hearing in any realistic exposure scenarios can affect health, and so the present Guidelines do not provide a restriction to specifically account for microwave hearing.*
> *[Vertaling: Ondanks dat hogere intensiteit van SA[4] van gepulste velden mogelijk tot waarneembare effecten leidt, is er geen bewijs dat in een realistische blootstellingssituatie deze door microgolven veroorzaakte gehoorwaarnemingen tot negatieve gezondheidseffecten leiden. Daarom voorziet de huidige richtlijn niet in een restrictie om dit effect te beperken.]*

3.2 Blootstelling aan elektromagnetische velden: tijdgemiddelde blootstelling van het hele lichaam

Voor de tijdgemiddelde blootstelling van het gehele lichaam is voor wat betreft de limietwaarden tussen ICNRIP1998 en ICNIRP2020 weinig verschil. Er is wel een verandering in de middelingstijd. In ICNIRP1998 moest de tijdgemiddelde blootstelling worden uitgerekend over een tijdinterval van 6 minuten. In de herziene richtlijn ICNRIP2020 wordt de tijdmiddeling uitgevoerd over een tijdinterval van 30[5] minuten. Dat betekent dat getoetst tegen ICNIRP2020 over een korte periode een hogere blootstelling getolereerd kan worden (dan getoetst tegen ICNIRP1998), zolang de gemiddelde blootstelling over 30 minuten onder de in ICNIRP2020 geformuleerde limietwaarde blijft.

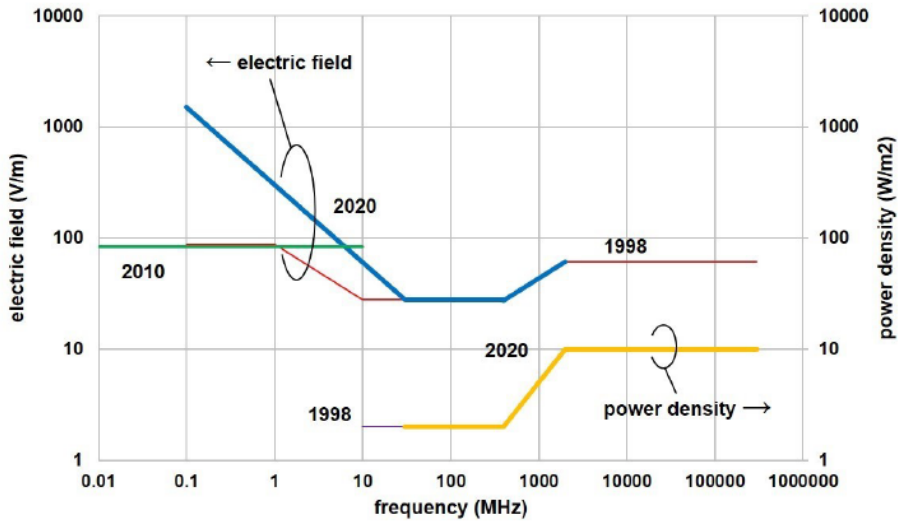
Ter illustratie is uit [7] het eerste figuur overgenomen en weergegeven in figuur 3.1.

---

[3] Met een regressieformule wordt op basis van metingen en/of berekeningen een formule afgeleid die het gevonden verband weergeeft.

[4] SA staat voor "Specific energy Absorption" [J kg^{-1}]. Dat is de hoeveelheid energie dat per kilogram weefsel wordt geabsorbeerd.

[5] ICNIRP2020 geeft voor toets van de tijdgemiddelde veldsterkte een middelingstijd van 30 minuten. Opgemerkt wordt dat voor de toets van de piekwaarden van de veldsterkte een middelingstijd van maximaal 6 minuten genomen moet worden.



Figuur 3.1 Overzicht van de verschillen en overeenkomsten tussen de herziene ICNIRP-richtlijn en de richtlijnen uit 1998 en 2010 voor de referentiewaarden van de tijdgemiddelde blootstelling voor het algemene publiek voor het gehele lichaam. De jaartallen refereren naar de uitgaven van de desbetreffende richtlijn. Aan een richtlijn is een kleur toegekend. Dit overzicht is overgenomen uit [7].

Voor de analyses in dit onderzoek is het frequentiebereik van 500 MHz tot 10 GHz (10.000 MHz) van belang. Uit figuur 3.1 is op te maken dat er in dit frequentiegebied voor zowel de waarden van het elektrische veld (linker verticale as) als voor de vermogensdichtheid (rechter verticale as) geen verschillen zichtbaar zijn tussen de limietwaarden uit ICNIRP1998 en ICNIRP2020. Hoewel de waarden dus niet verschillen, is er in de berekening ervan wel een verschil. ICNIRP2020 gebruikt een middelingstijd voor de tijdgemiddelde blootstelling van het gehele lichaam van 30 minuten. ICNIRP1998 gaat uit van een middelingstijd van 6 minuten.

3.3 Toetsing van de ICNIRP referentiewaarden

Naar aanleiding van het TNO rapport TNO 2020 R10094 [1] is gebleken dat de toets volgens een tijdgemiddelde blootstelling en de toets naar een piekwaarde van de blootstelling onvoldoende duidelijk was toegelicht. In deze paragraaf wordt de gelegenheid genomen om in meer detail aan deze aspecten van de toetsing aandacht te besteden.

3.3.1 Tijdgemiddelde blootstelling

Voor de toets of de heersende elektromagnetische veldsterkte voldoet aan de limietwaarde in de ICNIRP-richtlijn moet de zogenaamde *Root Mean Square* (RMS) waarde berekent worden. De RMS waarde van de elektrische veldsterkte op een locatie $\vec{x}$ tijdgemiddeld over een tijdsinterval $t \in [T_1, T_2]$ wordt gegeven door de volgende formule:

$$E_{rms}(\vec{x}) = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1}\int_{T_1}^{T_2} \left|\vec{E}(\vec{x}, t)\right|^2 dt}$$

Voor de tijdgemiddelde blootstelling moet derhalve de RMS waarde berekend (of gemeten) worden. Een voorbeeld is de spanning uit het stopcontact. Gebruikelijk is

deze spanning aan te geven met 240 V. Dat is een RMS-waarde, de piek van de sinus (elektrotechnici spreken over amplitude) is een factor $\sqrt{2}{\sim}1{,}41$ hoger. De piekwaarde van de spanning uit het stopcontact bedraagt 339 V.

3.3.1.1 Tijdmiddeling onder ICNIRP1998

In de ICNIRP1998 richtlijn is het interval waarover de tijdmiddeling van het elektromagnetische veld uitgerekend moet worden 6 minuten (360 s). Dus $T_2 - T_1$ bedraagt 360 s. Gedurende 24 uur per dag en 7 dagen in de week mag voor het algemene publiek de gemeten (of berekende) RMS waarde niet de bijbehorende limietwaarde overschrijden. Dat geldt voor blootstelling aan het hele lichaam als ook voor blootstelling aan het hoofd, de armen en de benen.

Omdat er een tijdmiddeling wordt uitgevoerd mag, en kan, voor korte periode de waarde van het elektromagnetische veld hoger zijn dan de limietwaarde. Dat mag, zolang de tijdgemiddelde waarde maar onder de limietwaarde blijft.

3.3.1.2 Tijdmiddeling onder ICNIRP2020

De ICNIRP2020 richtlijn kent twee tijdsintervallen waarover de tijdmiddeling van het elektromagnetische veld uitgerekend moet worden, te weten:

- 30 minuten (1800 s) voor het gehele lichaam. Dus $T_2 - T_1$ bedraagt 1800 s. Gedurende 24 uur per dag en 7 dagen in de week mag voor het algemene publiek de gemeten (of berekende) RMS waarde niet de bijbehorende limietwaarde overschrijden.
- Voor blootstelling aan delen van het lichaam zoals het hoofd, de armen en de benen geldt een tijdmiddeling van 6 minuten (360 s) voor hoofd, armen en benen, dus $T_2 - T_1$ bedraagt 360 s. Gedurende 24 uur per dag en 7 dagen in de week mag voor het algemene publiek de gemeten (of berekende) RMS waarde niet de bijbehorende limietwaarde overschrijden.

Omdat er een tijdmiddeling wordt uitgevoerd mag, en kan, voor korte periode de waarde van het elektromagnetische veld hoger zijn dan de limietwaarde. Dat mag zolang de tijdgemiddelde waarde maar onder de limietwaarde blijft.

3.3.2 Samengestelde tijdgemiddelde blootstelling

Beide richtlijnen geven een soortgelijke methodiek aan waarmee samengestelde gelijktijdige blootstelling kan worden getoetst tegen de limietwaarden. TNO heeft deze methodiek gevolgd voor zowel de ICNIRP1998 als ICNIRP2020.

3.3.3 Piekwaarde elektrische veldsterkte

In ICNIRP1998 is per bron een limietwaarde gesteld aan de maximaal toegestane piekwaarde van het elektrische (of magnetische) veld. ICNIRP2020 is in de regel minder streng. Een gepulst veld heeft voor de elektrische piekveldsterkte restricties gekregen die gebaseerd zijn op limitering van lokale (of oppervlakkige) temperatuursverhoging. Dit wordt in de volgende paragraaf 3.4 en bijlage B nader toegelicht.

Merk voorts op dat zoals in hoofdstuk 2 is gesteld, moderne radars veelal een lager piekvermogen hebben dan oudere exemplaren. Het piekvermogen van de primaire radar van SMART-L is bijvoorbeeld circa 75 keer lager dan het piekvermogen van zijn voorganger, de MPR.

3.4 Pieklimitwaarde van de elektrische veldsterkte onder ICNIRP2020 richtlijn.

De limitering van de piekwaarde van de elektrische (en/of magnetische) veldsterkte wordt binnen de herziene ICNIRP-richtlijn (ICNIRP2020) anders vormgegeven dat in de ICNIRP1998 richtlijn.

In ICNIRP2020 wordt een limiet gesteld op de maximaal toelaatbare temperatuurstijging voor het hele lichaam en voor lokale blootstelling zoals het hoofd, torso of ledematen. Extra aandacht is in ICNIRP2020 gegeven aan lokale opwarming van de huid. Afhankelijk van de aard van het signaal en de frequentie, zal net als bij ICNIRP1998 de te hanteren limietwaarde volgen uit de basisrestrictie voor het hele lichaam inclusief die voor lokale blootstelling zoals hoofd, torso en ledematen, zie tabel 2 in [4], of de basisrestrictie voor kortstondige blootstelling aan bijvoorbeeld gepulste velden, zie tabel 3 in [4]. Deze wijze wordt door de commissie aangedragen om ICNIRP2020 beter toepasbaar te maken wanneer getoetst moet worden aan nieuwe technologieën. Bij 5G kan door toepassing van de zogenaamde Multiple Input, Multiple Output (MIMO) architectuur van een basisstation een gebruiker richting het hoofd met een hogere waarde blootgesteld dan op de torso of benen, ervan uitgaand dat de telefoon tijdens het bellen aan het oor gehouden wordt. Met de huidige 2G/3G en 4G mobiele telecommunicatie is de MIMO-architectuur niet aanwezig. Ook geeft ICNRIP2020 de mogelijkheid om, naast de toets in het verre veld, ook in de zogenaamde Fresnel-zone (het nabije veld) van een antenne te toetsen. ICNIRP1998 geeft alleen referentiewaarden afgeleid voor verre-veld condities van de antenneinstallatie.

Voor de toets aan blootstelling aan gepulste radarinstallaties hanteert TNO de in tabel 3 van [4] geadviseerde basisrestrictie. De uitkomst van deze toets zal door het gepulste karakter de maximale elektrische veldsterkte van de voorgenomen SMART-L te Herwijnen opleveren, waarbij de lokale verhoging van de temperatuur in het hoofd en torso moet worden gelimiteerd. Dezelfde berekening heeft TNO ook voor de KNMI weerradar, de secundaire radar (MSSR) en de scheepsnavigatieradar uitgevoerd.

4 Toetsing tegen ICNIRP1998 en ICNIRP2020

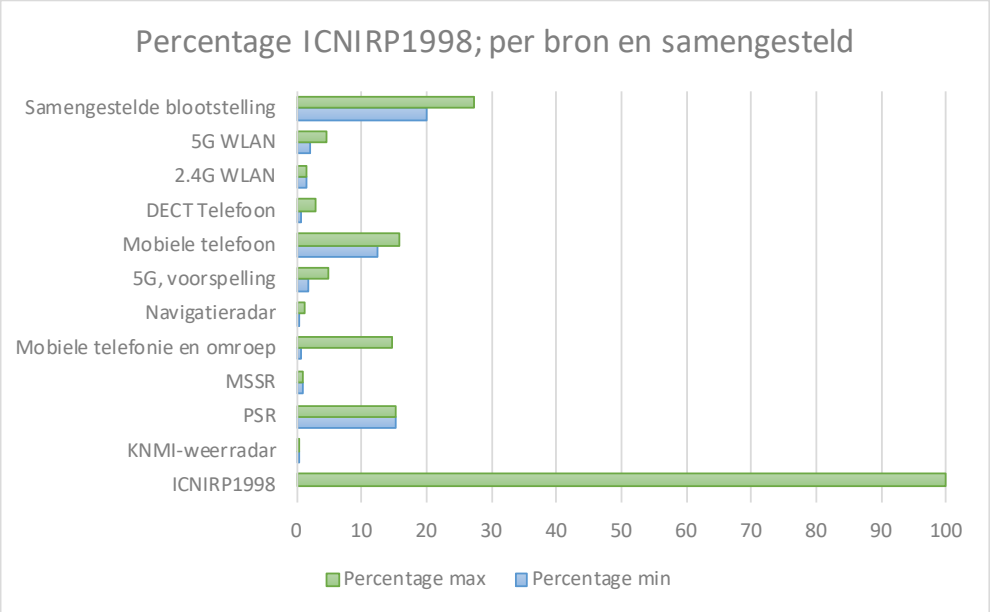
Het uitgangspunt is dat ook ten tijde van het schrijven van deze rapportage getoetst wordt tegen de geldende richtlijnen en dat is ICNIRP1998. Daarom is in dit hoofdstuk, naast de gevraagde toets tegen de herziene ICNIRP-richtlijn ook op basis van de geldende ICNIRP-richtlijn uit 1998 een aanvullende analyse uitgevoerd. Voor de woning op 450 m is alleen tegen ICNIRP2020 getoetst. Immers, in het TNO Rapport TNO 2020 R10094 [1] is voor die woning de volledige toets tegen ICNIRP1998 al uitgevoerd.

4.1 Toetsing op een afstand van 300 m, de erfgrens van het perceel met de tijdelijke woningunit

In de vragen naar aanleiding van de publicatie van het TNO-rapport TNO 2020 R10094 [1] is opgebracht dat naast de berekening van de te verwachten samengestelde blootstelling bij de dichtstbijzijnde woning men ook een toetsing voor langdurig verblijf (24 uur per dag, zeven dagen in de week) verwacht had op de erfgrens. In deze aanvullende rapportage heeft TNO die berekening voor de erfgrens gedaan en heeft daarbij een afstand van 300 m aangehouden.
Om de uitkomsten vergelijkbaar te houden met de andere analyses in deze rapportage heeft TNO de bijdragen van de eigen systemen wel meegenomen. Dat betekent dat op de erfgrens in de berekening dus rekening gehouden wordt met de aanwezigheid van WiFi routers en een DECT-telefoon, terwijl dit wellicht niet realistisch is. Ook heeft TNO de antennewinst, die voor de berekening van de woning op 450 m gebruikt is, aangehouden wat een ‘worse case’ aanname is. De aanwezigheid van eigen systemen en de ongewijzigde antennewinst zal tot een overschatting van de feitelijke blootstelling leiden omdat door de richtwerking van de radarantenne de meeste energie over een persoon op maaiveldniveau, naarmate die zich dichter naar het radarperceel begeeft, heen wordt uitgestraald, zie figuur 2.1. Daardoor zal in werkelijkheid het blootstellingsniveau van de radar afnemen naarmate men het radarperceel nadert.

4.1.1 ICNIRP1998 toets voor de erfgrens op 300m

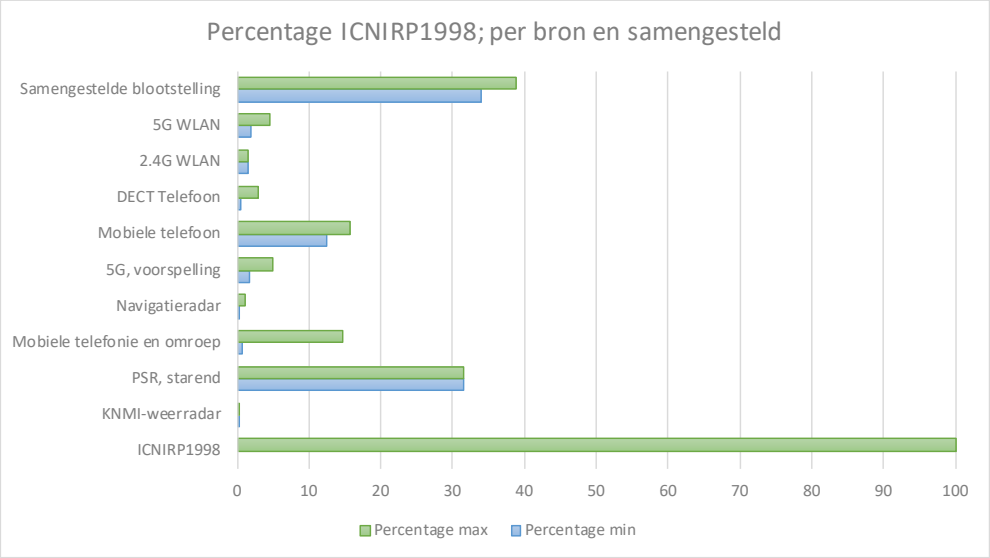
In figuur 4.1 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de antenne van SMART-L ronddraait.



Figuur 4.1 Samengestelde blootstelling met de SMART-L in roterende modus inclusief de eigen RF-systemen op 300 m. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP1998-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de ICNIRP1998 richtlijn voldaan wordt.

Uit de figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 20,0% en 27,4% van de ICNIRP1998 richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,4 tussen de hoogste en laagste waarden. De situatie in figuur 4.1 voldoet aan de referentiewaarden gesteld in de ICNIRP1998 richtlijn.

In figuur 4.2 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de SMART-L in starende modus staat. De bijdragen van de eigen RF-systemen zijn hierbij ook meegerekend.



Figuur 4.2 Samengestelde blootstelling de SMART-L in starende modus inclusief de eigen RF-systemen op 300 m. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP1998 richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

Uit de figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 34% en 38,8% van de ICNIRP1998-richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,14 tussen de hoogste en laagste waarden. Deze situatie in figuur 4.2 voldoet aan de referentiewaarden gesteld in de ICNIRP1998-richtlijn.

In deze berekening is voor de starende modus uitgegaan van een continue blootstelling, hetgeen andermaal een *worst-case* aanname is aangezien in werkelijkheid de bundel zal ‘kwispelen’.

4.1.2 Blootstelling aan piekwaarden elektrische veldsterkten op 300 m getoetst naar ICNIRP-1998

ICNIRP1998 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. De ICNIRP1998-richtlijn stelt echter ook een limietwaarde voor de piekveldsterkte, namelijk 31,6 (of 32) maal de tijdgemiddelde elektrische veldsterkte. Uit de ICNIRP1998 richtlijn [5] volgt dat, als de factor 31,6 wordt gebruikt, die piekwaarde voor de SMART-L 1506 V/m is.

Deze limietwaarde is frequentieafhankelijk en in tabel 4.1 is weergegeven wat dat voor 300 m afstand betekent voor het geval dat de antenne van de SMART-L ronddraait.

Tabel 4.1 Overzicht van piekveldsterkten vergeleken met de ICNIRP1998 richtlijn. De kolom "percentage" geeft de te verwachten piekveldsterkteblootstelling aan ten opzichte van de ICNIRP1998-richtlijn. Deze berekening is gedaan voor de perceelgrens op 300 m afstand van de voorgenomen SMART-L radarinstallatie in roterende modus.

Bron	**Frequentie (GHz)**	**E_{piek} (V/m)**	**E_{Limiet} (V/m)**	**Percentage**
MSSR	1	18,3	1.375	1,3
KNMI-weerradar	5,6	40	1.929	2,1
Navigatieradar	10	7	1.929	0,4
PSR	1,2	163	1.506	10,8
Totaal				14,6[6]

Uit tabel 4.1 valt op te merken dat de te verwachten blootstelling aan piekveldsterkten van de verschillende gepulste RF-systemen ruimschoots onder de ICNIRP1998 richtlijn blijft voor de SMART-L in roterende modus op een afstand van 300 m. Ook indien men ervoor zou kiezen om alle bijdragen bij elkaar op te tellen, wat niet door de ICNIRP1998 richtlijn wordt voorgeschreven, dan blijft die totale bijdrage onder 15%.

Tabel 4.2 Overzicht van piekveldsterkten vergeleken met de ICNIRP1998 richtlijn. De kolom "percentage" geeft de te verwachten piekveldsterkteblootstelling aan ten opzichte van de ICNIRP1998-richtlijn. Deze berekening is gedaan voor de perceelgrens op 300 m afstand van de voorgenomen SMART-L radarinstallatie in starende modus

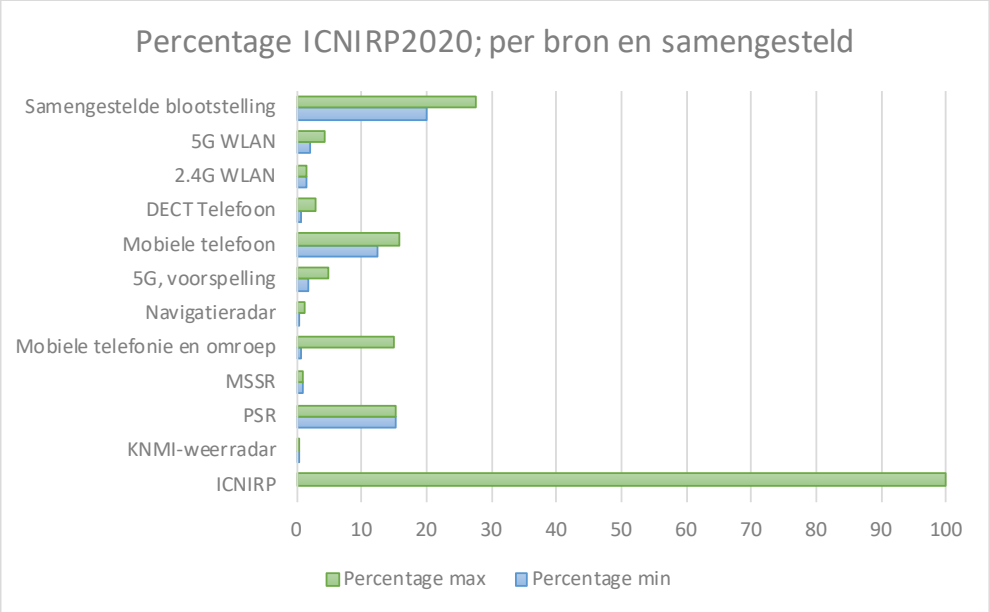
Bron	**Frequentie (GHz)**	**E_{piek} (V/m)**	**E_{Limiet} (V/m)**	**Percentage**
KNMI-weerradar	5,6	40	1.929	2,1
Navigatieradar	10	7	1.929	0,4
PSR starende modus	1,2	48	1.506	3,2
Totaal				5,7

Uit tabel 4.2 valt op te merken dat de te verwachten blootstelling aan piekveldsterkten van de verschillende gepulste RF-systemen ruimschoots onder de ICNIRP1998 richtlijn blijft voor de SMART-L in starende modus op een afstand van 300 m. Ook indien men ervoor zou kiezen om alle bijdragen bij elkaar op te tellen, wat niet door de ICNIRP1998 richtlijn wordt voorgeschreven, dan blijft die totale bijdrage onder 6%.

[6] In tabel 2 van TNO-rapport TNO 2020 R10094 is abusievelijk de waarde behorende bij de MSSR niet opgeteld. De daar gepresenteerde waarde moet 13,5% in plaats van 12,6% zijn. Ook de juiste waarde van 13,5% voldoet aan ICNIRP1998. Deze omissie heeft geen gevolgen voor de conclusie in TNO-rapport 2020 R10094.

4.1.3 ICNIRP2020 toets op de erfgrens (300 m)

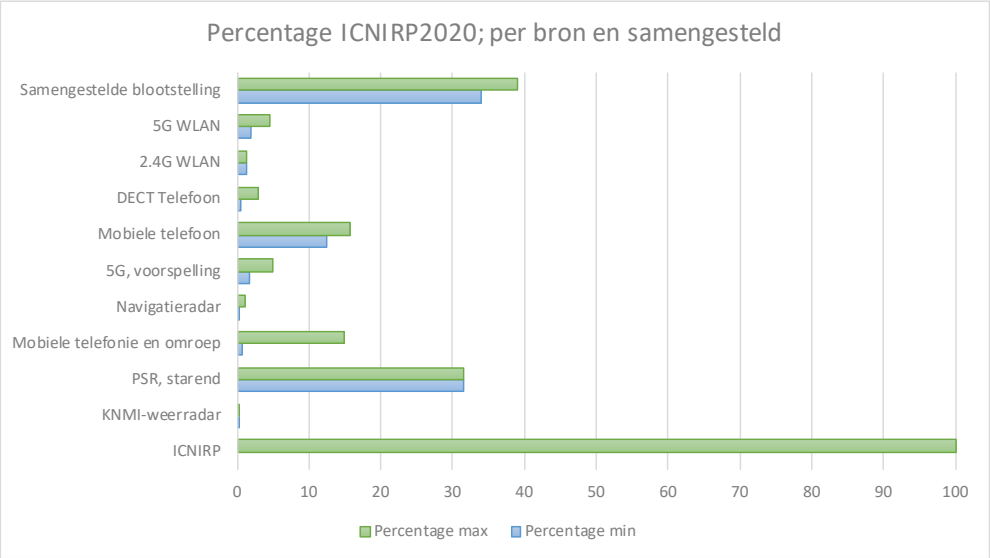
In figuur 4.3 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de antenne van SMART-L ronddraait.



Figuur 4.3 Samengestelde blootstelling met de SMART-L in roterende modus inclusief de eigen RF-systemen op 300m. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP2020 richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

Uit de figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 10,0% en 27,6% van de ICNIRP2020 richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,4 tussen de hoogste en laagste waarden. Deze situatie in figuur 4.3 voldoet aan de referentiewaarden gesteld in de ICNIRP2020 richtlijn.

In figuur 4.4 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de SMART-L in starende modus staat.



Figuur 4.4 Samengestelde blootstelling de SMART-L in starende modus inclusief de eigen RF-systemen op 300 m. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP2020-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

Uit de figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 34% en 38,9% van de ICNIRP2020-richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,1 tussen de hoogste en laagste waarden. De situatie in figuur 4.4 voldoet aan de referentiewaarden gesteld in de ICNIRP2020-richtlijn.

4.1.4 Blootstelling aan piekwaarden elektrische veldsterkten op 300 m getoetst naar de ICNIRP2020-richtlijn

De methodiek voor toetsing aan de toegestane piekwaarde van het elektromagnetische veld is in ICNIRP2020 anders dan in ICNIRP1998. In bijlage B van dit rapport wordt uitgebreider ingegaan hoe TNO de door ICNIRP gepubliceerde methodiek (zie tabel 7 van [4]) heeft toegepast voor de SMART-L radar, de KNMI-radar en de scheepvaart navigatieradar. De resultaten van deze analyse worden in tabel 4.3 gegeven.

Tabel 4.3 Overzicht van piekveldsterkten vergeleken met de ICNIRP2020 richtlijn. De kolom "percentage" geeft de te verwachten piekveldsterkteblootstelling aan ten opzichte van de ICNIRP2020 richtlijn. Deze berekening is gedaan voor de perceelgrens op 300 m afstand en de SMART-L in roterende modus.

Bron	Frequentie (GHz)	E_{piek} (V/m)	E_{Limiet} (V/m)	Percentage
MSSR	1	18,3	34.100	<0,01
KNMI-weerradar	5,6	40	320.000	0,01
Navigatieradar	10	7	43.300	0,02
PSR	1,2	163	2.988	5,46
Totaal				5,5

Uit tabel 4.3 valt op te merken dat de te verwachten blootstelling aan piekveldsterkten van de verschillende gepulste RF-systemen op een afstand van 300 m onder de ICNIRP2020 richtlijn blijft voorde SMART-L in roterende modus.

Omdat men in ICNIRP2020 uitgaat van temperatuureffecten, is het nu wel realistisch om alle bijdragen op te tellen. In dat geval is de samengestelde bijdrage lager dan 6%.

Tabel 4.4 Overzicht van piekveldsterkten vergeleken met de ICNIRP2020 richtlijn. De kolom "percentage" geeft de te verwachten piekveldsterkteblootstelling aan ten opzichte van de ICNIRP2020 richtlijn. Deze berekening is gedaan voor de perceelgrens op 300 m afstand en de SMART-L in starende modus.

Bron	**Frequentie (GHz)**	**E_{piek} (V/m)**	**E_{Limiet} (V/m)**	**Percentage**
KNMI-weerradar	5,6	40	320.000	0,01
Navigatieradar	10	7	43.300	0,02
PSR starende modus	1,2	48	416	11,5
Totaal				11,53

Uit tabel 4.4 valt op te merken dat de te verwachten blootstelling aan piekveldsterkten van de verschillende gepulste RF-systemen waarbij de SMART-L in starende modus staat op een afstand van 300m onder de ICNIRP2020 richtlijn blijft. In dat geval is de samengesteld bijdrage lager dan 12%.

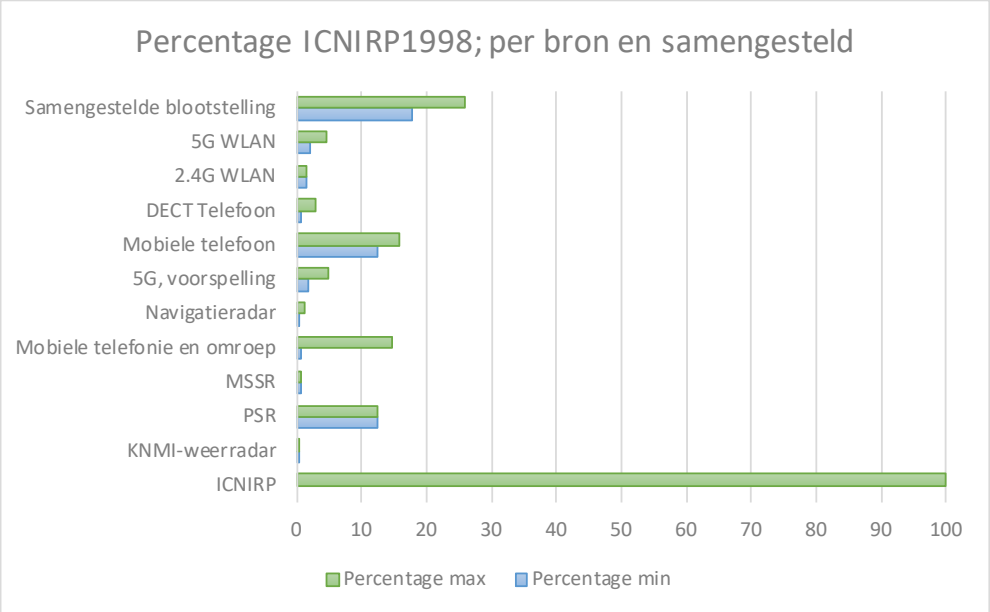
Tot slot wordt opgemerkt dat de toegestane piekwaarde die door de KNMI weerradar berekend is, veel hoger uitvalt dan onder de ICNIRP1998 toets. Dat wordt veroorzaakt door de speciale wijze van scannen (zie bijlage B). De KNMI weerradar scant voornamelijk de hemel af en heel af en toe belicht de KNMI radar objecten/mensen op de grond. Dit komt zo weinig voor dat de restrictie voor een enkele puls de limietwaarde van 320 kV/m oplevert, zie bijlage B.8.

4.2 Toetsing voor de tijdelijke woningunit op een afstand van 370 m

Na het uitbrengen van het TNO rapport TNO 2020 R10098 [1] is duidelijk geworden dat er zich een tijdelijke woonunit bevond op een afstand dichterbij de SMART-L dan de eerder aangehouden afstand van 450 m voor de woning, zie paragraaf 1.1. Voor de tijdelijke woningunit wordt in deze paragraaf de toets conform ICNIRP1998 en ICNIRP2020 uitgevoerd.

4.2.1 ICNIRP1998 voor de tijdelijke woonunit op 370 m afstand

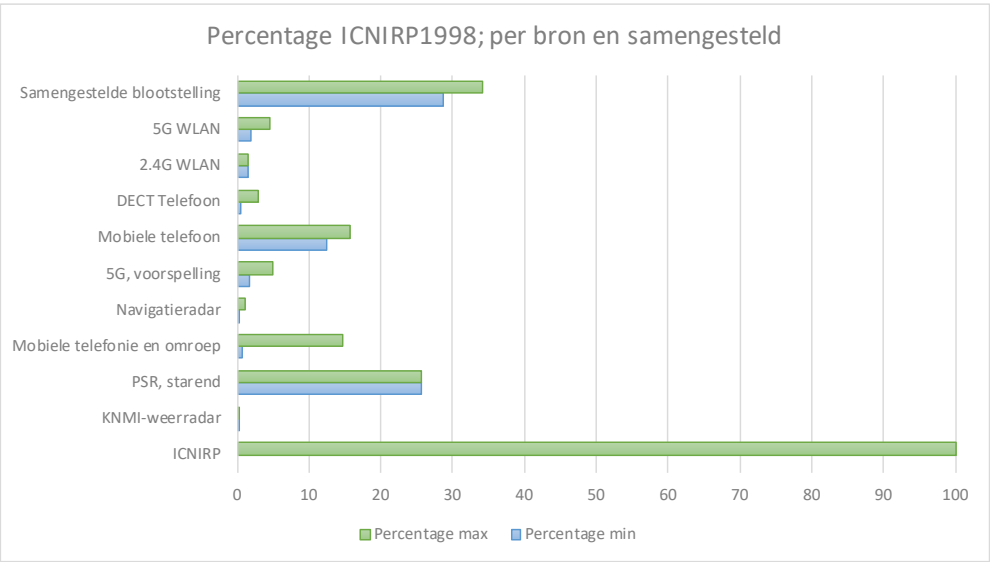
In figuur 4.5 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de antenne van SMART-L ronddraait.



Figuur 4.5 Samengestelde blootstelling met de SMART-L in roterende modus inclusief de eigen RF-systemen op 370 m. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP1998 richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

Uit de figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 17,8% en 25,9% van de ICNIRP1998 richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,5 tussen de hoogste en laagste waarden. De situatie in figuur 4.5 voldoet aan de referentiewaarden gesteld in de ICNIRP1998 richtlijn.

In figuur 4.6 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de SMART-L in starende modus staat. De bijdragen van de eigen RF-systemen zijn hierbij ook meegerekend.



Figuur 4.6 Samengestelde blootstelling de SMART-L in starende modus inclusief de eigen RF-systemen op 370 m. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP1998-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

Uit de figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 28,6% en 34,2% van de ICNIRP1998-richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,2 tussen de hoogste en laagste waarden. De situatie in figuur 4.6 voldoet aan de referentiewaarden gesteld in de ICNIRP1998-richtlijn.
De resultaten van de analyse van de piekwaarden van de veldsterkten worden in tabel 4.5 gegeven voor de roterende SMART-L antenne en in tabel 4.6 voor de starende modus.

Tabel 4.5 Overzicht van piekveldsterkten vergeleken met de ICNIRP1998-richtlijn. De kolom "percentage" geeft de te verwachten piekveldsterkteblootstelling aan ten opzichte van de ICNIRP1998-richtlijn. Deze berekening is gedaan voor de tijdelijke woningunit op 370 m afstand en voor de SMART-L in roterende modus.

Bron	**Frequentie (GHz)**	**E_{piek} (V/m)**	**E_{Limiet} (V/m)**	**Percentage**
MSSR	1	14,8	1.375	1,1
KNMI-weerradar	5,6	59	1.929	3,1
Navigatieradar	10	7	1.929	0,4
PSR	1,2	132	1.506	8,8
Totaal				13,4

Uit tabel 4.5 valt op te merken dat de te verwachten blootstelling aan piekveldsterkten van de verschillende gepulste RF-systemen ruimschoots onder de ICNIRP1998 richtlijn blijft. Ook indien men ervoor zou kiezen om alle bijdragen in de roterende modus bij elkaar op te tellen, wat niet door de ICNIRP1998 richtlijn wordt voorgeschreven, dan blijft de totale bijdrage onder de 14%.

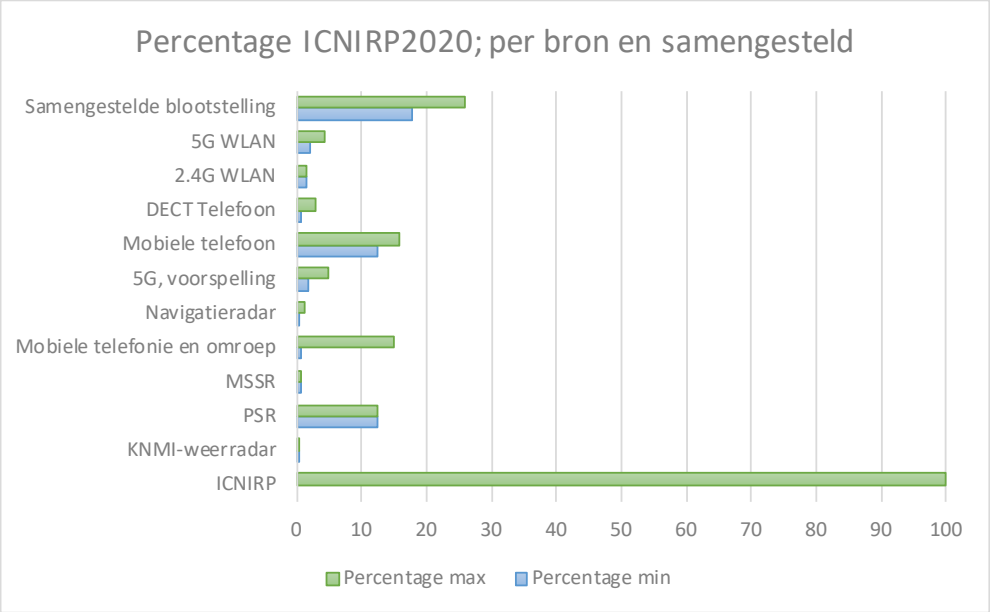
Tabel 4.6 Overzicht van piekveldsterkten vergeleken met de ICNIRP1998-richtlijn. De kolom "percentage" geeft de te verwachten piekveldsterkteblootstelling aan ten opzichte van de ICNIRP1998-richtlijn. Deze berekening is gedaan voor de tijdelijke woningunit op 370 m afstand en voor de SMART-L in starende modus.

Bron	**Frequentie (GHz)**	**E_{piek} (V/m)**	**E_{Limiet} (V/m)**	**Percentage**
KNMI-weerradar	5,6	59	1.929	3,1
Navigatieradar	10	7	1.929	0,4
PSR starende modus	1,2	39	1.506	2,6
Totaal				6,1

Uit tabel 4.6 valt op te merken dat de te verwachten blootstelling aan piekveldsterkten van de verschillende gepulste RF-systemen ruimschoots onder de ICNIRP1998 richtlijn blijft. Ook indien men ervoor zou kiezen om alle bijdragen in de starende modus alle bijdragen bij elkaar op te tellen, dan blijft de totale bijdrage onder de 7%.

4.2.2 ICNIRP2020 toets voor de tijdelijke woningunit op 370 m

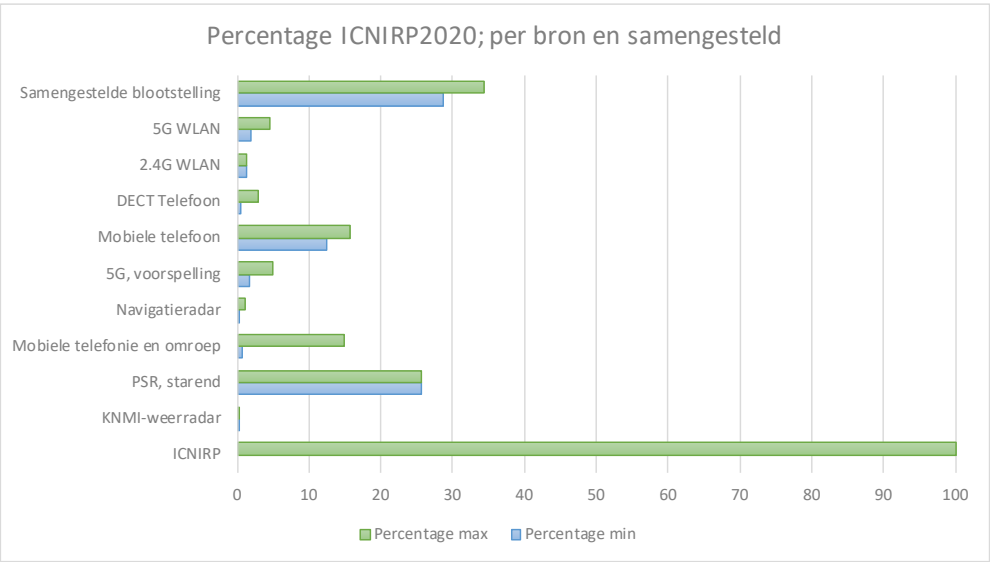
In figuur 4.7 wordt de samengestelde blootstelling voor de tijdelijke woningunit op 370 m gegeven voor het geval dat de antenne van SMART-L ronddraait.



Figuur 4.7 Samengestelde blootstelling met de SMART-L in roterende modus inclusief de eigen RF-systemen op 370 m. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP2020-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

Uit de figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 17,8% en 26,1% van de ICNIRP2020 richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,5 tussen de hoogste en laagste waarden. De situatie in figuur 4.7 voldoet aan de referentiewaarden gesteld in de ICNIRP2020 richtlijn.

In figuur 4.8 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de SMART-L in starende modus staat. De bijdragen van de eigen RF-systemen zijn hierbij ook meegerekend.



Figuur 4.8 Samengestelde blootstelling de SMART-L in starende modus inclusief de eigen RF-systemen op 370 m. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP2020-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

Uit de figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 28,6% en 34,3% van de ICNIRP2020 richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,2 tussen de hoogste en laagste waarden. De situatie in figuur 4.8 voldoet aan de referentiewaarden gesteld in de ICNIRP2020 richtlijn.

4.2.3 Blootstelling aan piekwaarden elektrische veldsterkten op 370 m conform ICNIRP-2020

De methodiek voor toetsing aan de toegestane piekwaarde van het elektromagnetische veld is in ICNIRP2020 een andere strategie dan in ICNIRP1998. In bijlage B van dit rapport wordt uitgebreider ingegaan hoe TNO de door ICNIRP gepubliceerde methodiek (zie tabel 7 van [4]) heeft geïnterpreteerd en toegepast voor de SMART-L radar, de KNMI-radar, de secundaire radar en de scheepvaart navigatieradar. Dit resultaten van deze analyse worden in tabel 4.7 gegeven voor de ronddraaiende SMART-L antenne en in tabel 4.8 voor de starende modus.

Tabel 4.7 Overzicht van piekveldsterkten vergeleken met de ICNIRP2020 richtlijn op 370 m. De kolom "percentage" geeft de te verwachten piekveldsterkteblootstelling aan ten opzichte van de ICNIRP2020 richtlijn. Deze berekening is gedaan voor de tijdelijke woningunit op 370 m afstand en voor de SMART-L in roterende modus.

Bron	**Frequentie (GHz)**	**E_{piek} (V/m)**	**E_{Limiet} (V/m)**	**Percentage**
MSSR	1	15	34.100	<0,01
KNMI-weerradar	5,6	59	320.000	0,02
Navigatieradar	10	7	43.300	0,02
PSR	1,2	132	2988	4,42
Totaal				4,47

Uit tabel 4.7 valt op te merken dat de te verwachten blootstelling aan piekveldsterkten van de verschillende gepulste RF-systemen onder de ICNIRP2020 richtlijn blijft wanneer de SMART-L in roterende modus gebruikt wordt. In dit geval bedraagt op 370 m de blootstelling van de piekveldsterkten lager dan 5% van de ICNIRP2020-richtlijn is.

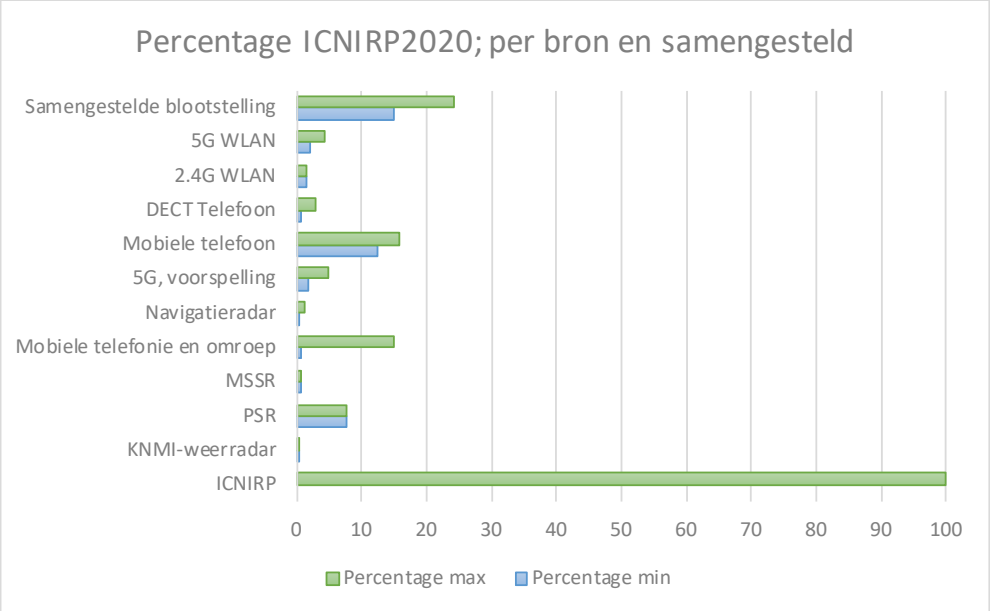
Tabel 4.8 Overzicht van piekveldsterkten vergeleken met de ICNIRP2020 richtlijn op 370 m. De kolom "percentage" geeft de te verwachten piekveldsterkteblootstelling aan ten opzichte van de ICNIRP2020 richtlijn. Deze berekening is gedaan voor de tijdelijke woningunit op 370 en voor de SMART-L in starende modus.

Bron	**Frequentie (GHz)**	**E_{piek} (V/m)**	**E_{Limiet} (V/m)**	**Percentage**
KNMI-weerradar	5,6	59	320.000	0,02
Navigatieradar	10	7	43.300	0,02
PSR starende modus	1,2	39	416	9,4
Totaal				9,44

Uit tabel 4.8 valt op te merken dat de te verwachten blootstelling aan piekveldsterkten van de verschillende gepulste RF-systemen onder de ICNIRP2020 richtlijn blijft wanneer de SMART-L in starende modus gebruikt wordt. In dit geval bedraagt op 370 m de blootstelling van de piekveldsterkten lager dan 10% van de ICNIRP2020-richtlijn is.

4.3 Toetsing voor de woning op een afstand van 450 m tegen ICNIRP2020

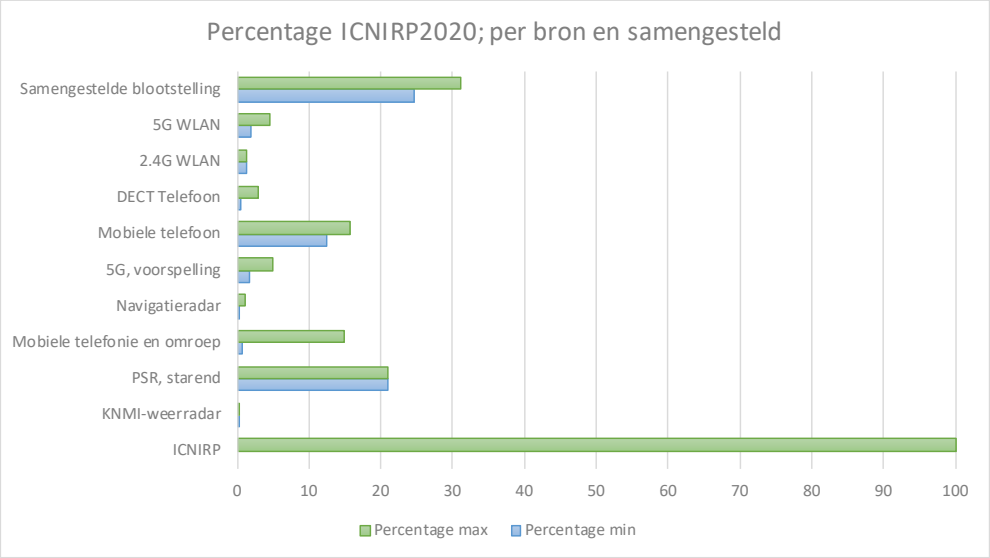
In deze paragraaf wordt in aanvulling op het TNO rapport TNO 2020 R10094 voor de woning op 450 m afstand de toets tegen ICNIRP2020 uitgevoerd. In figuur 4.9 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de antenne van SMART-L ronddraait.



Figuur 4.9 Samengestelde blootstelling met de SMART-L in roterende modus inclusief de eigen RF-systemen op 450 m. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP2020-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

Uit de figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 15,0% en 24,2% van de ICNIRP2020 richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,6 tussen de hoogste en laagste waarden. De situatie in figuur 4.9 voldoet aan de referentiewaarden gesteld in de ICNIRP2020 richtlijn.

In figuur 4.10 wordt de samengestelde blootstelling gegeven voor het geval dat de SMART-L in starende modus staat. De bijdragen van de eigen RF-systemen zijn hierbij ook meegerekend.



Figuur 4.10 Samengestelde blootstelling de SMART-L in starende modus en met de eigen RF-systemen op 450 m. De balken geven de minimale (blauw) en maximale (groen) te verwachten elektrische veldsterkte weer. Beide waarden worden vergeleken met de ICNIRP2020-richtlijn. Lager dan 100% betekent dat aan de richtlijn voldaan wordt.

Uit de figuur is het lastig af te lezen dat de samengestelde blootstelling tussen 24,6% en 31,1% van de ICNIRP2020 richtlijn bedraagt. Er zit in dit geval een factor 1,3 tussen de hoogste en laagste waarden. De situatie in figuur 4.10 voldoet aan de referentiewaarden gesteld in de ICNIRP2020 richtlijn.

4.3.1 Blootstelling aan piekwaarden elektrische veldsterkten op 450 m conform ICNIRP-2020

De methodiek voor toetsing aan de toegestane piekwaarde van het elektromagnetische veld conform de in ICNIRP2020 gegeven methodiek is per bron bepaald. De analyse is in bijlage B toegelicht en de SMART-L radar, de KNMI-radar en de scheepvaart navigatieradar zijn de resultaten in tabel 4.9, voor de SMART-L in roterende modus, gegeven en in Tabel 4.10 voor de starende modus.

Tabel 4.9 Overzicht van piekveldsterkten vergeleken met de ICNIRP2020 richtlijn. De kolom "percentage" geeft de te verwachten piekveldsterkteblootstelling aan ten opzichte van de ICNIRP2020 richtlijn. Deze berekening is gedaan voor de woning op 450 m afstand voor de SMART-L in roterende modus.

Bron	Frequentie (GHz)	E_{piek} (V/m)	E_{Limiet} (V/m)	Percentage
MSSR	1	12,2	34.100	<0,01
KNMI-weerradar	5,6	60	320.000	0,02
Navigatieradar	10	7	43.300	0,02
PSR	1,2	108	2.988	3,61
Totaal				3,66

Uit tabel 4.9 valt op te merken dat de te verwachten blootstelling aan piekveldsterkten van de verschillende gepulste RF-systemen ruimschoots onder de ICNIRP2020 richtlijn blijft. Omdat men in ICNIRP2020 uitgaat van temperatuureffecten, is het nu wel realistisch om alle bijdragen op te tellen. In dat geval is de opgetelde bijdrage 4%.

Voor de analyse met de SMART-L radar in starende modus in combinatie met de KNMI-radar en de scheepvaart navigatieradar zijn de resultaten in tabel 4.10 gegeven. Nu is de sommatie van alle bijdragen 8%.

Tabel 4.10 Overzicht van piekveldsterkten vergeleken met de ICNIRP2020 richtlijn. De kolom "percentage" geeft de te verwachten piekveldsterkteblootstelling aan ten opzichte van de ICNIRP2020 richtlijn. Deze berekening is gedaan voor de woning op 450 m afstand voor de SMART-L in starende modus.

Bron	**Frequentie (GHz)**	**E_{piek} (V/m)**	**E_{Limiet} (V/m)**	**Percentage**
KNMI-weerradar	5,6	60	320.000	0,02
Navigatieradar	10	7	43.300	0,02
PSR starende modus	1,2	32	416	7,7
Totaal				7,7

5 Conclusies en aanbevelingen

In aanvulling op de eerdere gepubliceerde analyses van TNO in het rapport TNO 2020 R10094 [1], heeft TNO berekeningen op 370 m afstand uitgevoerd voor de tijdelijke woningunit aan de Nieuwe Steeg 56A te Herwijnen. Voor deze tijdelijke woningunit heeft TNO de toets uitgevoerd of de voorgenomen plaatsing van de SMART-L radarsysteem te Herwijnen voldoet aan zowel ICNIRP1998 [5] als aan de herziene richtlijn ICNIRP2020 [4]. De conclusie is dat voor de tijdelijke woningunit voldaan wordt aan beide ICNIRP-richtlijnen.

TNO heeft voor de dichtstbijzijnde woning op 450 m, in aanvulling op de eerdere gepubliceerde analyses van TNO in het rapport TNO 2020 R10094 [1], getoetst of voor deze woning voldaan wordt aan ICNIRP2020. De conclusie is dat voor deze woning voldaan wordt aan ICNIRP2020 (in [1] was al getoetst tegen ICNIRP1998).

Uit de aanvullende berekeningen volgt dat voor de voorgenomen plaatsing van de SMART-L te Herwijnen verwacht kan worden dat na ingebruikname van de radarinstallatie voldaan wordt aan ICNRIP1998 richtlijn en ook aan de herziene richtlijn ICNIRP2020.

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. Het eerder afgegeven advies, zie [1], blijft dat verificatiemeting moeten worden uitgevoerd voor ingebruikname. Deze verificatiemeting moet worden getoetst tegen ICNIRP1998 en ICNIRP2020.

Tot slot wordt opgemerkt dat over de herziening de Raad van de Europese Unie nog moet adviseren. Daarna moet ze nog van kracht worden verklaard. TNO adviseert om, totdat ICNIRP2020 van kracht is, tegen beide richtlijnen te toetsen.

6 Bibliografie

[1] A. Zwamborn en A. Theil, „Evaluatie van gezondheidsaspecten door RF-velden afkomstig van de voorgenomen SMART-L radar te Herwijnen," TNO 2020 R10094, Den Haag, 2020.

[2] Defensie, „Radarstations," 2020. [Online]. Available: https://www.defensie.nl/onderwerpen/radarstations. [Geopend 19 06 2020].

[3] Staatsecretaris, *Antwoorden op vragen van de vaste commissie voor Defensie inzake onderzoeken in het kader van de Rijkscoordinatieregelen voor de radar in Herwijnen,* Den Haag: BS2020004937, 20-4-2020.

[4] ICNIRP, „GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS (100 kHz to 300 GHz)," *Health Physics Society,* vol. 118, nr. 5, p. 483–524, 202.

[5] ICNIRP, „ICNIRP GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHZ)," *Health Physics Society,* vol. 74, nr. 4, pp. 94-522, 1998.

[6] P. v. Kleij en L. van Veldhuijzen, „Locatieonderzoek zuidelijke SMART-L radar," Rijksvastgoedbedrijf, Den Haag, 2020.

[7] ICNIRP, „Differences between the ICNIRP (2020) and previous guidelines," [Online]. Available: https://www.icnirp.org/en/differences.html. [Geopend 9 4 2020].

[8] ICNIRP, „ICNIRP GUIDLINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1 HZ – 100 kHZ)," *Health Physics Society,* vol. 99, nr. 6, pp. 818-836, 2010.

[9] S. Kodera, A. Hirata, D. Funahashi, S. Watanabe, K. Jokela en R. Croft, „Temperature Rise for Brief Radio-Frequency Exposure Below 6 GHz," *IEEE Access,* vol. 6, nr. 2018, pp. 65737-65746, 2018.

[10] A. Nanos, K. Siakavra, T. Samaras en J. Sahalos, „Theoretical Approach of the Assesment of the EM FIeld in the Vincinity of Aperture Antennas," *IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility,* vol. 48, nr. 3, pp. 493-501, 2006.

7 Ondertekening

Den Haag, augustus 2020

[redacted]

Research manager

TNO
Electronic Defence

[redacted]

Auteur

A Limietwaarde, ICNIRP referentiewaarde en ICNIRP basisrestrictie

Opgemerkt wordt dat zowel in het TNO rapport [1] als in deze rapportage gesproken wordt over limietwaarden, terwijl de ICNIRP-richtlijn referentiewaarden geeft. Het verschil tussen limietwaarde en referentiewaarde is de wijze waarop wordt omgegaan met de specifieke waarde. De ICNIRP-richtlijn stelt een blootstellingsgrens die ‘basisrestrictie’ [W/kg] genoemd wordt. De basisrestrictie is de grootheid die door ICNIRP is gebruikt om negatieve effecten op de gezondheid te voorkomen. De basisrestrictie is niet (gemakkelijk) te meten, echter, andere grootheden zoals elektromagnetische veldsterkte wel. Om te toetsen of de feitelijke blootstelling onder de basisrestrictie ligt, heeft ICNIRP zogenoemde ‘referentiewaarden’ voor elektromagnetische veldsterkte afgeleid. Indien door berekeningen en/of metingen kan worden vastgesteld dat de elektromagnetische veldsterkte onder de referentiewaarden ligt, kan met hoge zekerheid worden uitgegaan dat de blootstelling de basisrestrictie niet overschrijdt. Formeel geeft de ICNIRP-richtlijn de mogelijkheid om bij overschrijding van referentiewaarden via andere wegen, zoals computermodellering of metingen, aan te tonen dat toch de basisrestricties niet worden overschreden.

Dat is niet de werkwijze die TNO voor de situatie van de voorgenomen SMART-L te Herwijnen adviseert. Immers, wanneer referentiewaarden als limietwaarden worden beschouwd, dan mag voor blootstelling lager dan de referentiewaarden verondersteld worden dat dan voldaan wordt aan de door de ICNIRP-richtlijn geformuleerde basisrestricties. Dit geldt ook voor de analyse van de gelijktijdige samengestelde blootstelling volgens de methodiek van ICNIRP. Als de berekening van gelijktijdige samengestelde blootstelling kleiner of gelijk aan 1 is ($\leq 100\%$), dan is ook met hoge zekerheid te stellen dat aan de geformuleerde basisrestrictie voldaan wordt.

B ICNIRP2020 voor lokale blootstelling met een integratietijd 0 < t < 360 s

In de nieuwe ICNIRP-richtlijn [4] zijn voor kortstondige, lokale, blootstelling in tabel 7 van [4] de volgende referentieniveaus (limietwaarden) gegeven:

Table 7. Reference levels for local exposure, integrated over intervals of between >0 and <6 minutes, to electromagnetic fields from 100 kHz to 300 GHz (unperturbed rms values).[a]

Exposure scenario	Frequency range	Incident energy density; U_{inc} (kJ m^{-2})
Occupational	100 kHz – 400 MHz	NA
	>400 – 2000 MHz	$0.29 f_M^{0.86} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	>2 – 6 GHz	$200 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	>6 – <300 GHz	$275/f_G^{0.177} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	300 GHz	$100 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
General public	100 kHz – 400 MHz	NA
	>400 – 2000 MHz	$0.058 f_M^{0.86} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	>2 – 6 GHz	$40 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	>6 – <300 GHz	$55/f_G^{0.177} \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$
	300 GHz	$20 \times 0.36[0.05+0.95(t/360)^{0.5}]$

[a]Note:

1. "NA" signifies "not applicable" and does not need to be taken into account when determining compliance.
2. f_M is frequency in MHz; f_G is frequency in GHz; t is time interval in seconds, such that exposure from any pulse, group of pulses, or subgroup of pulses in a train, as well as from the summation of exposures (including non-pulsed EMFs), delivered in t seconds, must not exceed these reference level values.
3. U_{inc} is to be calculated over time t, and where spatial averaging is specified in Notes 5–7, over the relevant projected body space.
4. For frequencies of 100 kHz to 400 MHz, >0 to <6-min restrictions are not required and so reference levels have not been set.
5. For frequencies of >400 MHz to 6 GHz: (a) within the far-field zone: compliance is demonstrated if peak spatial U_{inc}, over the projected whole-body space, does not exceed the above reference level values; U_{eq} may be substituted for U_{inc}; (b) within the radiative near-field zone, compliance is demonstrated if peak spatial U_{inc}, over the projected whole-body space, does not exceed the above reference level values; and (c) within the reactive near-field zone, reference levels cannot be used to determine compliance, and so basic restrictions must be assessed.
6. For frequencies of >6 GHz to 300 GHz: (a) within the far-field or radiative near-field zone, compliance is demonstrated if U_{inc}, averaged over a square 4-cm^2 projected body surface space, does not exceed the above reference level values; (b) within the reactive near-field zone, reference levels cannot be used to determine compliance, and so basic restrictions must be assessed.
7. For frequencies of >30 GHz to 300 GHz: exposure averaged over a square 1-cm^2 projected body surface space must not exceed $275/f_G^{0.177} \times 0.72[0.025+0.975(t/360)^{0.5}]$ kJ m^{-2} for occupational and $55/f_G^{0.177} \times 0.72[0.025+0.975(t/360)^{0.5}]$ kJ m^{-2} for general public exposure.

Figuur B.1 De referentiewaarden voor kortstondige blootstelling. Dit is een kopie van tabel 7 uit de herziene ICNIRP-richtlijn [4].

Om de maximaal toegestane piekwaarde van een blootstelling te limiteren, wordt in de herziene richtlijn een referentiewaarde gegeven. Deze referentiewaarde is afgeleid om de kortstondige temperatuurstijging te beperken [9]. Hoewel deze referentiewaarde niet specifiek is vastgesteld voor een gepulst radarsysteem met een roterende antenne, past TNO naast de tijdgemiddelde (samengestelde) blootstelling van het hele lichaam ook deze methodiek toe. Op deze wijze wordt getoetst of het radarsysteem voldoet aan deze referentiewaarde.

De voorgenomen SMART-L radarinstallatie werkt in de L-band werkt, rond 1,2 -1,3 GHz. Dat betekent dat de ICNIRP2020 referentiewaarde, die in dit rapport wordt beschouwd als limietwaarde, uit de tabel genomen moet worden die geldt voor de frequenties in $f \in \langle 400\ MHz, 2\ GHz]$. Deze waarden gelden voor het verre veld, wat voor de SMART-L niet altijd het geval is en waarvoor in sectie B.7 de motivatie gegeven wordt. Voor het algemene publiek geldt dat de energiedichtheid,

als functie van de frequentie over een tijdinterval *t*, door de volgende formule wordt gelimiteerd:

$$U_{inc,RL}(f_{MHz}, t) = 0.058\ \sqrt[0.86]{f_{MHz}} \times 0.36 \left[0.05 + 0.95\sqrt{\frac{t}{360}}\right]$$

waarin $U_{inc,RL}$ de limietwaarde in kJ m^{-2} is, *t* is het tijdinterval, gegeven in s, waarover de energiedichtheid berekend moet worden.

In deze bijlage wordt de maximaal toegestane piekveldsterkte uitgerekend die voor een gepulst radarsysteem met bovenstaande limitering dan geldt. Opgemerkt wordt dat voor de exacte berekening radarparameters nodig zijn die gerubriceerd zijn. Om inzicht te geven in de door TNO gevolgde methodiek, is in deze bijlage voor een fictief, echter wel in L-band, radarsysteem de berekening gegeven.

B.1 Gepulste fictieve L-band radar

Sommige technische parameters van de SMART-L zijn Staatsgeheim en kunnen niet in een publieke toegankelijke rapportage worden gedeeld. Daarom gebruikt TNO een fictieve L-band radar om de gevolgde methodiek te bespreken en motiveren. Voor de SMART-L wordt alleen het resultaat van een soortgelijke berekening in deze rapportage gedeeld. Voor de KNMI weerradar, de secundaire radar en de schaapvaart navigatieradar is de berekening wel nader toegelicht.

Binnen één rotatie van de antenne kan een persoon blootgesteld worden aan meerdere pulsen. In het horizontale vlak (azimut) wordt de -3 dB bundelbreedte gegeven door φ graden. De belichtingsfractie van één rotatie wordt dan gegeven door:

$$\sigma = \frac{\varphi}{360}$$

Het aantal rotaties per minuut (RPM: *Rotations per minute*) bedraagt N, dus de tijdsduur van één rotatie bedraagt:

$$T^{rot} = \frac{N}{60}\ [\text{s}].$$

Met deze definities kan worden bepaald wat de maximaal toelaatbare piekveldsterkte is die volgens de herziene ICNIRP-richtlijn voor een dergelijk gepulst radarsysteem is.

B.1.1 Blootstelling gepulst radarsignaal

De energiedichtheid van het invallende verre veld opgewerkt door een gepulst radarsysteem met pulsduur τ [s] en pulsherhalingsfrequentie (PRF) f_{Pulse} $[Hz]$, wordt gegeven door:

$$S_{inc}(\vec{x},t) = \frac{1}{120\pi}\left|\vec{E}(\vec{x},t)\right|^2$$

waar de vector $\vec{x}$ het observatiepunt in het driedimensionale Cartesiaanse referentiestelsel is, de elektrische veldvector op locatie $\vec{x}$ en tijdstip *t* is $\vec{E}(\vec{x},t)$. In de formule is $|\vec{u}|$ de lengte van vector $\vec{u}$.

Een zendcyclus voor dit (fictieve) radarinstallatie start op *t=0* met zenden, voor een tijdsduur van τ s. De amplitude van de elektrische veld vector wordt aangegeven met $\left|\overrightarrow{E_{max}}(\vec{x})\right|$. Na $t = \tau$ s stopt de radar met zenden en schakelt over naar ontvangen. Tot het tijdstip $t = T = \frac{1}{f_{Pulse}}$ waarna de cyclus zich herhaalt.

B.1.2 Gevolgde methodologie om overeenstemming met ICNIRP2020 te bepalen

Zoals in [7] toegelicht voor een gepulste blootstelling, binnen het gehanteerde tijdinverval, mag de blootstellelling van "*any pulse, group of pulses, or subgroup of pulses in a train, as well as from the summation of exposures (including non-pulsed EMFs), delivered in t seconds, must not exceed these reference level values" (Vertaling: "iedere puls, pulsgroep of een subgroup van een pulstrein, inclusief de sommatie van andere blootstelling (inclusief niet gepulste EMFs) die in t seconden wordt opgewekt, mag de referentiewaarde niet overschrijden.*

Met betrekking tot de een roterende, gepulst radarsysteem, wordt het bovenstaande als volgt geïnterpreteerd.

Overeenstemming met de herziene ICNIRP2020 richtlijn is verkrijgen dan, en alleen dan, wanneer aan de volgende randvoorwaarden voldaan wordt:

- De tijdgemiddelde gelijktijdige samenstelling voldoet aan de gegeven referentiewaarde, die als limietwaarde beschouwd wordt, zoals 'Equation 4' in [4] voorschrijft:

$$\sum_{i=100\ \mathrm{kHz}}^{30\ \mathrm{MHz}} \mathrm{MAX}\left\{\left(\frac{E_{inc,i}}{E_{inc,RL,i}}\right)^2, \left(\frac{H_{inc,i}}{H_{inc,RL,i}}\right)^2\right\}$$

$$+ \sum_{i>30\ \mathrm{MHz}}^{2\ \mathrm{GHz}} \mathrm{MAX}\left\{\left(\frac{E_{inc,i}}{E_{inc,RL,i}}\right)^2, \left(\frac{H_{inc,i}}{H_{inc,RL,i}}\right)^2, \left(\frac{S_{inc,i}}{S_{inc,RL,i}}\right)\right\}$$

$$+ \sum_{i>2\ \mathrm{GHz}}^{6\ \mathrm{GHz}} \left(\frac{S_{inc,i}}{S_{inc,RL,i}}\right)$$

$$+ \sum_{i>6\ \mathrm{GHz}}^{30\ \mathrm{GHz}} \left(\frac{S_{inc,4cm,i}}{S_{inc,4cm,RL,i}}\right)$$

$$+ \sum_{i>30\ \mathrm{GHz}}^{300\ \mathrm{GHz}} \mathrm{MAX}\left\{\left(\frac{S_{inc,4cm,i}}{S_{inc,4cm,RL,i}}\right), \left(\frac{S_{inc,1cm,i}}{S_{inc,1cm,RL,i}}\right)\right\} \leq 1, \quad (4)$$

  Deze analyse is in dezelfde structuur gegeven zoals in [1] en wordt in deze bijlage niet nader uitgewerkt.
- Een enkele radarpuls met tijdsduur τ en een periode T van een radarpuls. De periode is $T = \frac{1}{PRF}$ [s] waarbij PRF de *pulse repetition frequency* [Hz] is. Een enkele radarpuls voldoet aan het referentieniveau zoals gesteld voor lokale blootstelling als de blootstelling met een integratietijd bestaat uit de tijdsduur τ onder het referentieniveau blijft.
- Over een integratietijd van 360 s mag het referentieniveau niet overschreden worden. Voor de SMART-L dient, naast de roterende modus, een extra toets voor de starende modus te worden uitgevoerd.
  - Tijdens de roterende modus wordt de tijdsduur van de blootstelling beschouwd als de tijdsperiode waarbinnen de persoon zich in de -3dB antennebundel bevindt. Gedurende deze tijdsperiode wordt de maximale veldsterkte (dus het 0 dB niveau) aangehouden.
  - In geval de starende modus wordt het 0 dB punt van de antennebundel in de richting van de persoon genomen. Dat is langs de hoofdas ('boresight').

B.1.2.1 Enkele radarpuls

Voor een enkele puls is het integratie interval gelijk aan de pulsduur τ. De energiedichtheid op locatie $\vec{x}$ en tijdens de pulsduur met een constante amplitude van de elektrische veldvector volgt uit:

$$U_{inc}^{\tau}(\vec{x}) = \int_0^{\tau} S_{inc}\,(\vec{x},t)dt = \frac{1}{120\pi}\int_0^{\tau} \left|\vec{E}(\vec{x},t)\right|^2 dt =>$$

$$U_{inc}^{\tau}(\vec{x}) = \frac{1}{120\pi}\int_0^{\tau}\left|\vec{E}(\vec{x},t)\right|^2 dt = \frac{\tau}{120\pi}\left|\overrightarrow{E_{max}}(\vec{x})\right|^2$$

De (maximaal) toegestane piekwaarde van de elektrische veldsterkte op locatie $\vec{x}$ volgt uit:

$$U_{inc}^{\tau}(\vec{x}) \leq U_{inc,RL}(f_{MHz},\tau)$$

waarbij f_{MHz} de draaggolffrequentie (in MHz) van het radarsysteem is. De maximaal toegestane piekwaarde volgt uit het toepassen van "=" in bovenstaande vergelijking.

B.1.2.2 Roterende radarantenne

Als de radarantenne roteert, dan is per antenneomwenteling de integratietijd als volgt:

$$T^{rot} = \frac{N}{60}$$

waarbij *N* het aantal omwentelingen per minuut is (RPM). Gedurende een enkele rotatie, wordt een persoon blootgesteld gedurende

$$T_{exp}^{rot} = \frac{N\varphi}{60 * 360} = T^{rot}\frac{\varphi}{360}$$

seconden. Voor de volledigheid wordt vermeld dat de -3dB antennebundel in azimut (horizontale vlak) φ graden betreft.

Gedurende een antenneomwenteling, bedraagt het aantal pulsen:

$$k = \frac{T_{exp}^{rot}}{T}$$

Het aantal pulsen waaraan een persoon op een locatie $\vec{x}$ gedurende 360 s wordt blootgesteld bedraagt:

$$l = k\frac{360}{T^{rot}} = \frac{360\,k}{T^{rot}}$$

De bijbehorende energiedichtheid van het invallende (verre) veld volgt uit:

$$U_{inc}^{360}(\vec{x}) = \frac{1}{120\pi}\int_0^{360}\left|\vec{E}(\vec{x},t)\right|^2 dt = \frac{l\tau}{120\pi}\left|\overrightarrow{E_{max}}(\vec{x})\right|^2$$

waarbij gebruik is gemaakt dat alle pulsen gelijk zijn.

De toegelaten piekwaarde van het elektrische veld op locatie $\vec{x}$ volgt uit de volgende vergelijking:

$$U_{inc}^{360}(\vec{x}) \leq U_{inc,RL}(f_{MHz}, 360)$$

waarbij f_{MHz} (in MHz) de frequentie is van de radardraaggolffrequentie. De maximaal toegestane piekwaarde volgt uit het toepassen van "=" in bovenstaande vergelijking.

B.1.2.3 Starende radarantenne

Het aantal pulsen waaraan een persoon op een locatie $\vec{x}$ gedurende 360 s wordt blootgesteld indien de antenne niet roteert (ingeval de SMART-L wordt dit de starende modus genoemd) bedraagt:

$$p = \frac{360}{T}$$

De bijbehorende energiedichtheid van het invallende (verre) veld volgt uit:

$$U_{inc}^{360,st}(\vec{x}) = \frac{1}{120\pi}\int_0^{360} \left|\vec{E}(\vec{x},t)\right|^2 dt = \frac{p\tau}{120\pi}\left|\overrightarrow{E_{max}}(\vec{x})\right|^2$$

waarbij gebruik is gemaakt dat alle pulsen gelijk zijn.

De toegelaten piekwaarde van het elektrische veld op locatie $\vec{x}$ volgt uit de volgende vergelijking:

$$U_{inc}^{360,st}(\vec{x}) \leq U_{inc,RL}(f_{MHz}, 360)$$

waarbij f_{MHz} (in MHz) de frequentie is van de radardraaggolffrequentie. De maximaal toegestane piekwaarde volgt uit het toepassen van "=" in bovenstaande vergelijking.

B.1.2.4 Maximale piekwaarde elektrische veldsterkte in het verre veld.

The maximale piekwaarde van het elektrische veld in het verre veld wordt verkregen door de laagst waarde van de berekende $\left|\overrightarrow{E_{max}}(\vec{x})\right|$ volgens secties B.1.2.1, B.1.2.2 en B.1.2.3 te nemen.

B.2 Voorbeeld van een fictieve L-band radar

Gegeven een radarsysteem die pulsen uitzend met een pulsduur van $\tau = 1{,}5\mu s$ en een pulsherhalingsfrequentie heeft van $f_{Pulse} = 3500\ Hz$. Het radarsyteem zendt uit op 1,2 GHz. De antenne roteert met *N*=40 rotaties per minuut en heeft een 4 graden -3 dB openingshoek in azimut.

B.2.1 Toets met een enkele puls

Voor een enkele puls met een pulsduur van $\tau = 1{,}5\mu s$ bedraagt het referentieniveau:

$$U_{inc,RL}(1200\ MHz, 1{,}5\ \mu s) = 472{,}2\ Jm^{-2}$$

De energiedichtheid van de vlakke invallende golf moet voldoen aan de volgende voorwaarde:

$$U_{inc}^{\tau}(\vec{x}) \ \leq \ 464.9\ Jm^{-2}$$

waaruit de maximaal toegestane piekveldsterkte voor deze enkele puls volgt:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{ep}}(\vec{x})\right| \leq 341{,}8\ kV/m.$$

waarbij bovenschrift ^{ep} staat voor “enkele puls”. Hiermee is de piekwaarde van de maximale elektrische veldsterkte voor een enkele puls berekend.

B.2.2 360 second integratietijd bij een roterende antenne

Voor een gepulst radarsysteem die 24/7 operationeel is, wordt de maximale integratietijd van 360 s genomen. Het referentieniveau voor een integratieinterval van 360s bedraagt:

$$U_{inc,RL}(1200\ MHz, 360\ s) = 9285{,}95\ Jm^{-2}$$

De energiedichtheid van het invallende veld wordt mag het referentieniveau niet overschrijven, dus:

$$U_{inc}^{360}(\vec{x}) \ \leq \ 9285{,}95\ Jm^{-2}$$

Voor de roterende antenne bedraagt het aantal pulsen, waarbij de antennebundel in azimut is verdisconteerd, *I=14000*. De maximaal toegelaten piekwaarde van het elektrische veld bedraagt:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{360s}}(\vec{x})\right| \leq 12{,}9\ kV/m$$

B.2.3 360 second integratietijd bij een statische antenne

Voor een gepulst radarsysteem dat 24/7 operationeel is, wordt de maximale integratietijd van 360 s genomen. Het referentieniveau voor een integratieinterval van 360s bedraagt:

$$U_{inc,RL}(1200\ MHz, 360\ s) = 9285{,}95\ Jm^{-2}$$

De energiedichtheid van het invallende veld wordt mag het referentieniveau niet overschrijven, dus:

$$U_{inc}^{360}(\vec{x}) \ \leq \ 9285{,}95\ Jm^{-2}$$

Voor de statische antenne, voor de SMART-L is dit als starende modus bekend, bedraagt het aantal pulsen $p = \frac{360}{T} = 360 * PRF = 1260000$. De maximaal toegelaten piekwaarde van het elektrische veld bedraagt in dit geval

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{360s,st}}(\vec{x})\right| \leq 1{,}36\ kV/m$$

B.2.4 Maximaal toelaatbare piekwaarde elektrische veldsterkte

Om de maximaal toelaatbare piekwaarde van de elektrische veldsterkte te bepalen moet de minimale waarde worden van de maximaal toelaatbare piekwaarde die uit de berekeningen voor de roterende en statische modus komt. Voor de roterende modus bedraagt deze:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{radar,rm}}(\vec{x})\right| = \min\left\{\left|\overrightarrow{E_{max}^{ep}}(\vec{x})\right|; \left|\overrightarrow{E_{max}^{360s}}(\vec{x})\right|\right\}$$

waarbij het superscript ^{rm} staat voor “roterende modus”. Voor het voorbeeld hier gegeven volgt de volgende maximale piekwaarde voor de elektrische veldsterkte waarbij de

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{radar,rm}}(\vec{x})\right| = \min\{341{,}8\ kVm^{-1}; 12{,}9\ kVm^{-1}\} = 12{,}9\ kVm^{-1}$$

Voor de statische modus bedraagt de piekwaarde:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{radar,sm}}(\vec{x})\right| = \min\left\{\left|\overrightarrow{E_{max}^{ep}}(\vec{x})\right|; \left|\overrightarrow{E_{max}^{360s,st}}(\vec{x})\right|\right\}$$

waarbij het superscript ^{sm} staat voor “statische modus”. Voor het voorbeeld hier gegeven volgt de volgende maximale piekwaarde voor de elektrische veldsterkte waarbij de

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{radar,sm}}(\vec{x})\right| = \min\{341.8\ kVm^{-1};\ 1{,}36\ kVm^{-1}\} = 1{,}36\ kVm^{-1}$$

Opgemerkt wordt dat voor een standaard (navigatie) radar de statische modus niet voorkomt.

B.3 Maximaal toegestane piekwaarde van de veldsterkte voor de SMART-L radarinstallatie

Om de maximaal toelaatbare piekwaarde van de elektrische veldsterkte te bepalen moet de minimale waarde worden bepaald, in roterende en statische modus.
Voor de roterende modus bedraagt deze:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{radar,rm}}(\vec{x})\right| = \min\left\{\left|\overrightarrow{E_{max}^{ep}}(\vec{x})\right|; \left|\overrightarrow{E_{max}^{360s}}(\vec{x})\right|\right\}$$

waarbij het superscript ^{rm} staat voor “roterende modus”. Voor de SMART-L volgt de volgende maximale piekwaarde voor de elektrische veldsterkte waarbij de

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{radar,rm}}(\vec{x})\right| = \min\{70{,}3\ kVm^{-1}; 2{,}988\ kVm^{-1}\} = 2{,}988\ kVm^{-1}$$

Voor de statische modus bedraagt de piekwaarde:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{radar,sm}}(\vec{x})\right| = \min\left\{\left|\overrightarrow{E_{max}^{ep}}(\vec{x})\right|; \left|\overrightarrow{E_{max}^{360s,st}}(\vec{x})\right|\right\}$$

waarbij het superscript ^{sm} staat voor “statische modus”. Voor de SMART-L volgt de volgende maximale piekwaarde voor de elektrische veldsterkte waarbij de

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{radar,sm}}(\vec{x})\right| = \min\{70{,}3\ kVm^{-1};\ 416\ Vm^{-1}\} = 416\ Vm^{-1}.$$

B.4 Maximaal toegestane piekwaarde van de veldsterkte voor de MSSR (secundaire radar)

De MSSR is geen standaard radarsysteem maar een zogenaamde “*interrogator*” (ondervrager). Deze zendt regelmatig pulsen uit die een transponder in een vliegtuig moet activeren om op aanvraag gegevens zoals identificatie en vlieghoogte terug te sturen. De MSSR zendt pulsen uit met een pulsduur van circa $\tau = 2{,}4\ \mu s$ (Modus A en C) en een pulsherhalingsfrequentie van $f_{Pulse} = 500\ Hz$. De MSSR zendt uit op 1,030 GHz en de antenne roteert met *N=12* rotaties per minuut. De -3dB antennebundelbreedte is 2,2 graden in azimut.

De MSSR werkt in de L-band werkt, op 1030 MHz. Dat betekent dat de ICNIRP2020 referentiewaarde, die in dit rapport wordt beschouwd als limietwaarde, uit de tabel genomen moet worden die geldt voor de frequenties in $f \in \langle 400\ MHz, 2\ GHz]$. Voor het algemene publiek geldt dat de energiedichtheid, als functie van de frequentie over een tijdinterval *t*, door de volgende formule wordt gelimiteerd:

$$U_{inc,RL}(f_{MHz}, t) = 0.058\ \sqrt[0.86]{f_{MHz}} \times 0.36 \left[0.05 + 0.95\sqrt{\frac{t}{360}}\right]$$

waarin $U_{inc,RL}$ de limietwaarde in kJ m^{-2} is, *t* is het tijdinterval, gegeven in seconden, waarover de energiedichtheid berekend moet worden.

B.4.1 Toets met een enkele puls

Voor een enkele puls met een pulsduur van $\tau = 2{,}4\ \mu s$ bedraagt het referentieniveau:

$$U_{inc,RL}(1030\ MHz, 2{,}4\ \mu s) = 407{,}8\ Jm^{-2}$$

De energiedichtheid van de vlakke invallende golf moet voldoen aan de volgende voorwaarde:

$$U_{inc}^{\tau}(\vec{x}) \leq 407{,}8\ Jm^{-2}$$

waaruit de maximaal toegestane piekveldsterkte voor deze enkele puls volgt:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{ep}}(\vec{x})\right| \leq 116{,}4\ kV/m.$$

waarbij bovenschrift ^{ep} staat voor “enkele puls”. Hiermee is de piekwaarde van de maximale elektrische veldsterkte voor een enkele puls berekend.

B.4.2 360 second integratietijd bij een roterende antenne

Voor een gepulst radarsysteem die 24/7 operationeel is, wordt de maximale integratietijd van 360 s genomen. Het referentieniveau voor een integratie-interval van 360s bedraagt:

$$U_{inc,RL}(1030\ MHz, 360\ s) = 8142{,}7\ Jm^{-2}$$

De energiedichtheid van het invallende veld wordt mag het referentieniveau niet overschrijven, dus:

$$U_{inc}^{360}(\vec{x}) \ \leq \ 8142{,}7\ Jm^{-2}$$

Voor de roterende antenne bedraagt het aantal pulsen, waarbij de antennebundel in azimut is verdisconteerd, *I=1100*. De maximaal toegelaten piekwaarde van het elektrische veld bedraagt:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{360s}}(\vec{x})\right| \leq 34{,}1\ kV/m$$

Om de maximaal toelaatbare piekwaarde van de elektrische veldsterkte te bepalen moet de minimale waarde worden bepaald, in roterende en statische modus. Voor de roterende modus bedraagt deze:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{MSSR}}(\vec{x})\right| = \min\left\{\left|\overrightarrow{E_{max}^{ep}}(\vec{x})\right|; \left|\overrightarrow{E_{max}^{360s}}(\vec{x})\right|\right\}$$

waarbij het bovenschrift ^{MSSR} staat voor de secondaire radar. Voor de MSSR volgt de toegestane maximale piekwaarde voor de elektrische veldsterkte uit:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{MSSR}}(\vec{x})\right| = \min\{116{,}4\ kVm^{-1}; 34{,}1\ kVm^{-1}\} = 34{,}1\ kVm^{-1}$$

B.5 Maximaal toegestane piekwaarde van de veldsterkte voor de KNMI weerradarinstallatie

De KNMI weerradar zendt pulsen uit met een maximale pulsduur van $\tau = 2{,}66\ \mu s$ en een duty-cycle van 0,12%. Het radarsysteem zendt uit op 5,663 GHz en de antenne heeft 1 graad -3dB openingshoek in elevatie en in azimut.

Dat betekent dat de ICNIRP2020 referentiewaarde, die in dit rapport wordt beschouwd als limietwaarde, uit de tabel gegeven in Figuur B.1 genomen moet worden die geldt voor de frequenties in $f \in \langle 2\ GHz, 6\ GHz]$. Deze waarden gelden

voor het verre veld, wat voor de weerradar van toepassing is. Voor het algemene publiek geldt dat de energiedichtheid, als functie van de frequentie over een tijdinterval *t*, door de volgende formule wordt gelimiteerd:

$$U_{inc,RL}(f_{GHz}, t) = 40 \times 0.36 \left[0.05 + 0.95\sqrt{\frac{t}{360}}\right]$$

waarin $U_{inc,RL}$ de limietwaarde in *kJ m*$^{-2}$ is, *t* is het tijdinterval, gegeven in seconden, waarover de energiedichtheid berekend moet worden.

B.5.1 Toets met een enkele puls

Voor een enkele puls met een pulsduur van $\tau = 2{,}66\ \mu s$, waarbij de gemiddelde pulsduur is genomen, bedraagt het referentieniveau:

$$U_{inc,RL}(5663\ MHz, 2{,}66\ \mu s) = 721\ Jm^{-2}$$

De energiedichtheid van de vlakke invallende golf moet voldoen aan de volgende voorwaarde:

$$U_{inc}^{\tau}(\vec{x}) \ \leq \ 721\ Jm^{-2}$$

waaruit de maximaal toegestane piekveldsterkte voor deze enkele puls volgt:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{ep}}(\vec{x})\right| \leq 320\ kV/m.$$

waarbij superscript ^{ep} staat voor “enkele puls”. Hiermee is de piekwaarde van de maximale elektrische veldsterkte voor een enkele puls berekend.

B.5.2 360 second integratietijd voor de KNMI weerradar

Omdat de KNMI weerradar 24/7 operationeel is, wordt de maximale integratietijd van 360 s genomen. Het referentieniveau voor een integratie-interval van 360 s bedraagt:

$$U_{inc,RL}(5663\ MHz, 360\ s) = 14400\ Jm^{-2}$$

De energiedichtheid van het invallende veld wordt mag het referentieniveau niet overschrijven, dus:

$$U_{inc}^{360}(\vec{x}) \ \leq \ 14400\ Jm^{-2}$$

B.5.3 Aantal pulsen op grondniveau tijdens scancyclus

Om te maximaal toegestane piekwaarde van het elektrische veld te kunnen bepalen, is het van belang om de hoeveelheid pulsen waarmee een persoon op grondniveau wordt belicht te bepalen. Het is in dit kader belangrijk te vermelden dat de KNMI weerradar een bijzondere radar is met een afwijkend scangedrag dan de SMART-L of een navigatieradar.

In Figuur B.2 is een overzicht gegeven van de scanningstrategie van de KNMI weerradar.

KNMI Scanning strategy, from 3th of August 2017

Slice no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Elevation [deg]	90	12	8	4.5	2	0.8	0.3	25	20	15	10	6	2.8	1.2	0.3	0.3
Stop range [km]	30	74.9	74.9	124.9	187.3	187.3	320	74.9	74.9	74.9	74.9	124.9	187.3	187.3	187.3	320
Range step [km]	0.075	0.09	0.09	0.15	0.225	0.225	0.399	0.09	0.09	0.09	0.09	0.15	0.225	0.225	0.225	0.399
High PRF [Hz]	2400	2000	2000	1200	800	800	450	2000	2000	2000	2000	1200	800	800	800	450
Low PRF [Hz]	-	1500	1500	900	600	600	-	1500	1500	1500	1500	900	600	600	600	-
Pulse width [µs]	0.5	0.6	0.6	1	1.5	1.5	2.66	0.6	0.6	0.6	0.6	1	1.5	1.5	1.5	2.66
Antenna speed [deg/s]	48	36	36	28	24	24	12	36	36	36	36	28	24	24	18	12
Time sampling [-]	50	42	42	32	25	25	37	42	42	42	42	32	25	25	33	37
Angle step [deg]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Time start [mm:ss]	0:00	0:12	0:27	0:39	0:54	1:10	1:27	1:59	2:12	2:24	2:36	2:48	3:03	3:19	3:36	3:59
Time finished [mm:ss]	0:12	0:27	0:39	0:54	1:10	1:27	1:59	2:12	2:24	2:36	2:48	3:03	3:19	3:36	3:59	4:30

Figuur B.2 De scancyclus van de KNMI weerradar.

Omdat de -3 dB antennebundel smal is, in elevatie en azimut 1 graad, vallen alle observatiehoeken boven 0,5 graden in elevatie af. Dat betekent dat voor het bepalen van de hoeveelheid pulsen op grondniveau alleen “Slice numbers” 7, 15 en 16 relevant zijn.

Met inachtneming van de -3 dB antennebundel, de maximaal toegepaste PRF per slice, de antennesnelheid en de bijbehorende tijdsduur van de betreffende slice, wordt een persoon in slice 7 door 2,5 pulsen, in slice 15 door 2,6 pulsen en in slice 16 door 1,3 pulsen (gemiddeld) belicht. Dus in totaal door (gemiddeld) 6,4 belichtingen per 4 minuten en 30 s (270 s).

Omdat over 360 s moet worden geïntegreerd geeft dat (gemiddeld) 8,5 belichtingen. Deze waarde levert dat de maximaal toegelaten piekwaarde van het elektrische veld niet meer mag bedragen dan:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{360s}}(\vec{x})\right| \leq 490\ kV/m$$

Om de maximaal toelaatbare piekwaarde van de elektrische veldsterkte te bepalen moet de minimale waarde worden bepaald. Voor de KNMI weerradar bedraagt deze:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{radar,KNMI}}(\vec{x})\right| = \min\left\{\left|\overrightarrow{E_{max}^{ep}}(\vec{x})\right|; \left|\overrightarrow{E_{max}^{360s}}(\vec{x})\right|\right\}$$

waarbij het superscript ^{KNMI} staat voor “KNMI weerradar”. Voor de KNMI weerradar volgt dat de maximale piekwaarde voor de elektrische veldsterkte bepaald wordt door:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{radar,KNMI}}(\vec{x})\right| = \min\{\ 320\ kVm^{-1}; 490\ kVm^{-1}\ \} = 320\ kVm^{-1}$$

Opgemerkt wordt dat in deze situatie, vanwege de lage hoeveelheid pulsen waarmee een persoon op de grond wordt belicht, de restrictie voor één enkele puls strenger is dan voor de gehele integratietijd van 360 s.

B.6 Maximaal toegestane piekwaarde van de veldsterkte voor een scheepvaart navigatieradar

Gegeven een scheepvaart radarsysteem die pulsen uitzend met een pulsduur van $\tau = 0{,}7\mu s$ en een pulsherhalingsfrequentie heeft van $f_{Pulse} = 1\ kHz$. Het radarsysteem zend uit op 9,5 GHz. De antenne roteert met *N=3*0 rotaties per minuut en de -3dB antennebundelbreedte is circa 4 graden in azimut.

De scheepvaartradar werkt in de X-band, 9,5 GHz. Dat betekent dat de ICNIRP2020 referentiewaarde, die in dit rapport wordt beschouwd als limietwaarde, uit de tabel gegeven in Figuur B.1 genomen moet worden die geldt voor de frequenties in $f \in \langle 6\ GHz, > $. Deze waarden gelden voor het verre veld, wat voor navigatierader van toepassing is. Voor het algemene publiek geldt dat de energiedichtheid, als functie van de frequentie over een tijdinterval *t*, door de volgende formule wordt gelimiteerd:

$$U_{inc,RL}(f_{GHz}, t) = 55\ \sqrt[0.177]{f_{GHz}} \times 0.36 \left[0.05 + 0.95\sqrt{\frac{t}{360}}\right]$$

waarin $U_{inc,RL}$ de limietwaarde in *kJ m-2* is, *t* is het tijdinterval, gegeven in seconden, waarover de energiedichtheid berekend moet worden.

B.6.1 Toets met een enkele puls

Voor een enkele puls met een pulsduur van $\tau = 10\ \mu s$ bedraagt het referentieniveau:

$$U_{inc,RL}(9{,}5\ GHz, 0{,}7\ \mu s) = 665{,}2\ Jm^{-2}$$

De energiedichtheid van de vlakke invallende golf moet voldoen aan de volgende voorwaarde:

$$U_{inc}^{\tau}(\vec{x}) \ \leq \ 665{,}2\ Jm^{-2}$$

waaruit de maximaal toegestane piekveldsterkte voor deze enkele puls volgt:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{ep}}(\vec{x})\right| \leq 599\ kV/m.$$

waarbij superscript ^{ep} staat voor “enkele puls”. Hiermee is de piekwaarde van de maximale elektrische veldsterkte voor een enkele puls berekend.

B.6.2 360 second integratietijd bij een roterende antenne

Voor een gepulst radarsysteem die 24/7 operationeel is, wordt de maximale integratietijd van 360 s genomen. Het referentieniveau voor een integratie-interval van 360 s bedraagt:

$$U_{inc,RL}(9{,}5\ GHz, 360\ s) = 13292{,}54\ Jm^{-2}$$

De energiedichtheid van het invallende veld wordt mag het referentieniveau niet overschrijven, dus:

$$U_{inc}^{360}(\vec{x}) \leq 13292{,}54\, Jm^{-2}$$

Voor de roterende antenne bedraagt het aantal pulsen, waarbij de antennebundel in azimut is verdisconteerd, *I=4000*. De maximaal toegelaten piekwaarde van het elektrische veld bedraagt:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{360s}}(\vec{x})\right| \leq 43{,}3\ kV/m$$

Om de maximaal toelaatbare piekwaarde van de elektrische veldsterkte te bepalen moet de minimale waarde worden bepaald, in roterende en statische modus. Voor de roterende modus bedraagt deze:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{navradar}}(\vec{x})\right| = \min\left\{\left|\overrightarrow{E_{max}^{ep}}(\vec{x})\right|; \left|\overrightarrow{E_{max}^{360s}}(\vec{x})\right|\right\}$$

waarbij het superscript navrader staat voor “navigatierader”. Voor de navigatieradar volgt de toegestane maximale piekwaarde voor de elektrische veldsterkte uit:

$$\left|\overrightarrow{E_{max}^{navradar}}(\vec{x})\right| = \min\{599\ kVm^{-1}; 43{,}3\ kVm^{-1}\} = 43{,}3\ kVm^{-1}$$

B.7 Toets van de berekende SMART-L piekwaarden tegen de ICNIRP2020 richtlijn

In Tabel B.1 wordt een overzicht gegeven van de berekende piekwaarden van de SMART-L op verschillende afstanden en de maximaal toegestane piekwaarden die door de ICNIRP2020 als referentieniveau (wat wordt toegepast als limietwaarde) wordt gegeven.

Tabel B.1 Toets van de maximaal toegestane piekwaarde van de elektrisch veldsterkte op verschillende afstanden opgewekt door de voorgenomen SMART-L te Herwijnen. RM staat voor “roterende modus” en SM staat voor “starende modus”. De limietwaarden zijn in A.3 berekend.

Afstand [m]	**Smart-L piekveldsterkte [V/m]**		**ICNIRP2020 limietwaarde [V/m]**		**Percentage**	
	RM	SM	RM	SM	RM	SM
300	163	48	2.988	416	5,5%	11,5%
370	132	39	2.988	416	4,4%	9,4%
450	108	32	2.988	416	3,6%	7,7%
1500	32	9	2.988	416	1,1%	2,2%

Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat alle berekeningen zijn uitgevoerd voor verre-veld condities. Voor de SMART-L begint de zone van het verre veld, volgens de formule $R^{FF} = 2\frac{D^2}{\lambda}$ op 556 m. R^{FF} is de verre-veld afstand, *D* is de (grootste) afmeting (8 m) en λ is de golflengte (23 cm). Om toch de verre-veld

vereenvoudiging toe te passen lijkt niet correct, immers 300 m is kleiner dan 556 m. In een paper van Nanos *et.al.* [10] is in Figuur 3 weergegeven dat voor een grote circulaire apertuurantenne voor een afstand tot 0,3 R^{FF} de afwijking in de orde van enkele dBs is. Vanwege de door TNO gehanteerde afschatting “naar boven” van de antennegain, de grote marges ten opzichte van 100% van de ICNIRP-richtlijn en omdat de afstand tot de SMART-L groter is dan 0,5 R^{FF} zal toepassing van verre-veld condities niet tot andere conclusies leiden.

B.7.1 MSSR

In Tabel B.2 wordt een overzicht gegeven van de berekende piekwaarden van de MSSR secundaire radar van de SMART-L op verschillende afstanden en de maximaal toegestane piekwaarden die door de ICNIRP2020 als referentieniveau (wat wordt toegepast als limietwaarde) wordt gegeven.

Tabel B.2 Toets van de maximaal toegestane piekwaarde van de elektrisch veldsterkte op verschillende afstanden opgewekt door de voorgenomen SMART-L te Herwijnen. In de tabel zijn de toegestane piekveldsterkten gegeven van de secundaire radar, de MSSR.

Afstand [m]	**MSSR [V/m]**	**ICNIRP2020 limietwaarde [kV/m]**	**Percentage**
300	18,3	34,1	<0,01%
370	14,8	34,1	<0,01%
450	12,2	34,1	<0,01%
1500	3,7	34,1	<0,01%

B.8 Toets van de berekende KNMI weerradarpiekwaarden tegen de ICNIRP2020 richtlijn

In Tabel B.3 wordt een overzicht gegeven van de berekende piekwaarden van de KNMI weerradar op verschillende afstanden en de maximaal toegestane piekwaarden die door de ICNIRP2020 als referentieniveau (wat wordt toegepast als limietwaarde) wordt gegeven.

Tabel B.3 Toets van de maximaal toegestane piekwaarde van de elektrisch veldsterkte op verschillende afstanden opgewekt door de KNMI weerradar te Herwijnen. De limietwaarden zijn in B.5 berekend.

Afstand [m]	**KNMI weerradar [V/m]**	**ICNIRP2020 limietwaarde [kV/m]**	**Percentage**
300	40	320	0,01%
370	59	320	0,02%
450	60	320	0,02%
1500	23	320	<0,01%

B.9 Toets van de berekende scheepsradar piekwaarden tegen de ICNIRP2020 richtlijn

In Tabel B.4 wordt een overzicht gegeven van de berekende piekwaarden van de KNMI weerradar op verschillende afstanden en de maximaal toegestane piekwaarden die door de ICNIRP2020 als referentieniveau (wat wordt toegepast als limietwaarde) wordt gegeven.

Tabel B.4 Toets van de maximaal toegestane piekwaarde van de elektrisch veldsterkte op verschillende afstanden opgewekt door de navigatieradar van de scheepvaart op de Waal nabij Herwijnen. De limietwaarden zijn in paragraaf B.6 berekend.

Afstand [m]	**Scheepsradar [V/m]**	**ICNIRP2020 limietwaarde [kV/m]**	**Percentage**
300	7	43,3	0,02%
370	7	43,3	0,02%
450	7	43,3	0,02%
1500	13,4	43,3	0,03%

REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL)	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO
		TNO 2020 R11278
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO	**5. CONTRACT NO**	**6. REPORT DATE**
060.42151		Augustus 2020
7. NUMBER OF PAGES	**8. NUMBER OF REFERENCES**	**9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED**
51 (incl. 2 appendices, excl. RDP & distribution list)	10	Final

10. TITLE AND SUBTITLE

Evaluatie van gezondheidsaspecten door blootstelling voorgenomen SMART-L radar te Herwijnen: aanvulling op rapportage TNO 2020 R10094

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)

Dutch Ministry of Defence

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))

In this report (written in the Dutch language) a non-ionizing radiation hazards analysis has been conducted for the SMART-L air-defense radar planned in Herwijnen, The Netherlands. The expected RF exposure is compared with the reference values from ICNIRP1998 as well as the recently published ICNIRP2020.

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)
Unlimited Distribution	Ongerubriceerd

Distributielijst rapport TNO 2020 R11278

Ten behoeve van de distributie binnen Defensie

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

DEFENSIE

Geadresseerde	**Soort**
DMO/Directie Projecten Wnd. Projectleider ADSS [redacted]	pdf
Hoofddirectie Beleid Senior Beleidsmedewerker [redacted]	pdf
NLDA/Projectbureau K&I [redacted] MPC 71C (Kasteel)	hard copy
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 Centraal Archief locatie DHW	hard copy cd