



BS2021020151 / 16-9-2021

**TNO** innovation  
for life

Retouradres: Postbus 96864, 2509 JG Den Haag

Zie distributielijst

**Onderwerp**  
Rapport TNO 2021 R10627

Geachte heer/mevrouw,

Hierbij bied ik u het rapport TNO 2021 R10627 aan, getiteld: "Onderzoek naar veranderingen van het RF-blootstellingsniveau door verhoging SMART-L radarantenne".

Mocht u vragen hebben betreffende de inhoud van het rapport of de uitvoering van het onderzoek dan kunt u contact opnemen met de programmaleider [redacted]. Het doorkiesnummer is aan de rechterzijde van deze brief vermeld.

Hoogachtend,

[redacted]  
[redacted]  
Research Manager Electronic Defence  
Unit Defensie en Veiligheid

**Defensie en Veiligheid**  
Oude Waalsdorperweg 63  
2597 AK Den Haag  
Postbus 96864  
2509 JG Den Haag

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 10 00

**Datum**  
15 september 2021

**Onze referentie**  
DHW-2021-ED-100341531

**E-mail**  
[redacted]

**Doorkiesnummer**  
[redacted]

**Projectnummer**  
060.42151

Op opdrachten aan TNO zijn de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, zoals gedeponereerd bij de Griffie van de Rechtbank Den Haag en de Kamer van Koophandel Den Haag van toepassing. Deze algemene voorwaarden kunt u tevens vinden op [www.tno.nl](http://www.tno.nl).  
Op verzoek zenden wij u deze toe.

Handelsregisternummer 27376655.

**Bestuurstaf**

16 SEP. 2021

Registratiekenmerk:

BS2021020151

**Distributielijst** Rapport TNO 2021 R10627**Ten behoeve van de distributie binnen Defensie**

*Dynamisch Informatie Beheer, Bestuursstaf (DIB/BS)  
MPC 58B*

cd

**DEFENSIE**

DMO/Directie Projecten  
Defensie Projectleider ADSS

pdf

DGB/DOBP/S&T-P&P

hard copy

(Ministerie van Defensie)

DMO/Joint IV Commando/C4I&I/  
Informatie-Beheer/PDB  
(Kromhoutkazerne)

pdf

Hoofddirectie Beleid  
Senior beleidsmedewerker

pdf

**TNO**

Referent, Roadmap Directeur

email-alert

Projectleider

email-alert

Research manager projectleider

email-alert

email-alert  
email-alert  
email-alert

TNO Bibliotheek locatie Den Haag

hard copy &  
cd





ONGERUBRICEERD

**Defensie & Veiligheid**  
Oude Waalsdorperweg 63  
2597 AK Den Haag  
Postbus 96864  
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00

**TNO-rapport****TNO 2021 R10627****Onderzoek naar veranderingen van het RF-  
blootstellingsniveau door verhoging SMART-L  
radarantenne**

Datum	September 2021
Auteur(s)	████████████████████ ████████
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	████████████████
Vastgesteld d.d.	9 september 2021
Titel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Oplage	4 (2 hard copies & 2 cd's)
Aantal pagina's	37 (incl. bijlagen, excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	5
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.

© 2021 TNO

ONGERUBRICEERD

## Samenvatting

Geïnstigeerd door de motie van het tweede kamerlid Belhaj is TNO nagegaan wat de invloed op de blootstelling aan elektromagnetische velden is bij het hoger positioneren van de antenne van de SMART-L radarinstallatie. De bevindingen worden in dit rapport beschreven. TNO heeft voor een reeks afstanden ten opzichte van de radarinstallatie de blootstelling berekend bij de voorgenomen antennehoogte (24 m) en bij 27, 30 en 34 m. Laatstgenoemde hoogte is de uiterste hoogte die de fabrikant van het radarsysteem, Thales Nederland B.V., toelaatbaar acht. De blootstelling is berekend voor de waarneemhoogten 2, 4 en 10 m.

TNO heeft de effecten van de verhoging van de radarantenne op specifieke locaties berekend, namelijk op 300, 370, 450, 930, 1100 en 1500 m afstand van de beoogde SMART-L radarinstallatie in Herwijnen. Voor de meeste locaties blijkt de remedie ophogen radarantenne te leiden tot een reductie van de blootstelling. Op enkele waarneempunten is het blootstellingsniveau hoger. De reductie in de meest voorkomende gebruikstoestand, de AAW-modus (roterende antenne) is ten hoogste 1,2 %-punt van de ICNIRP normwaarde.<sup>1</sup> Door het verhogen van de radarantenne is er echter ook een verhoging van ten hoogste 0,3 %-punt van de normwaarde gevonden in deze modus. De reductie in de BMD-modus (starende modus) is ten hoogste 12,5 %-punt van de normwaarde. Door het verhogen van de radarantenne is er ook een verhoging van ten hoogste 12,7 %-punt van de normwaarde gevonden in deze modus. Een relatief eenvoudig antwoord als 'de blootstelling neem met x% af als de antenne 10 m hoger wordt geplaatst' kan derhalve niet gegeven worden. De oorzaak is gelegen in de vorm van de antennepatronen die de radar gebruikt, zoals uiteengezet in hoofdstuk 2.

Om deze locatieafhankelijke wisselingen eruit te middelen, heeft TNO ook de afstandsgemiddelde blootstellingswaarde uitgerekend. Uit deze berekeningen blijkt dat voor beide modi het ophogen van de radarantenne een daling van de afstandsgemiddelde blootstellingsbelasting laat zien.

In alle gevallen, dus ook bij de voorgenomen antennehoogte, is de blootstelling onder de in Nederland gehanteerde ICNIRP-richtlijn.

---

<sup>1</sup> De eenheid procentpunt (%-punt) wordt gebruikt om het verschil tussen waarden uitgedrukt in procenten aan te geven. Stel: het alcoholpercentage van een vloeistof wordt verhoogd van 4 % naar 4,5 %. De toename is 0,5 %-punt, ofwel 12,5 %  $((4,5 - 4) \times 100 / 4)$ .

## Management summary

The Dutch Parliament ordered the Ministry of Defence to determine the effects on the RF-exposure levels for residents of Herwijnen in case the SMART-L radar antenna will be located at a higher position. TNO has investigated the effects on RF-exposure levels for three different antenna heights, namely 27, 30 and 34 m with respect to the originally planned height of 24 m. It is noted that 34 m is the maximum antenna height at which SMART-L is able to function appropriately. The originally planned antenna height of 24 m has been taken as a reference. The exposure levels have been computed at a height of 2, 4 and 10 m, at specific locations. These locations are 300, 370, 450, 930, 1100 and 1500 m distant from the radar installation.

For the evaluated locations it is not straightforward, due to the present side lobes, to conclude that heightening the antenna always leads to a reduction of the RF-exposure level. In general, for the AAW-mode, heightening the antenna does lead to a reduction of the exposure level. For the BMD-mode this appears to be less applicable. After averaging over distance, for both AAW and BMD modes the exposure level decreases by heightening the antenna.

It should be mentioned that in all configurations considered, including the reference, the ICNIRP2020 guidelines are not violated.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
	<b>Management summary .....</b>	<b>3</b>
	<b>Lijst van afkortingen.....</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Werkwijze en methoden .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Resultaten berekeningen .....</b>	<b>12</b>
3.1	Inleiding .....	12
3.2	AAW-modus (roterende antenne).....	13
3.3	BMD-modus (starende modus) .....	16
3.4	Locatieonafhankelijke analyse.....	18
<b>4</b>	<b>Conclusie.....</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>23</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Motie Belhaj, Kamerstuk 35570-X-29	
	B Operationele modi	
	C Piekveldsterkteblootstelling, SMART-L	
	D Tijdgemiddelde blootstelling SMART-L, samengesteld	
	E Rekenresultaten versus metingen	



## Lijst van afkortingen

AAW	Anti-Air Warfare
BMD	Ballistic Missile Defense
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
LRS	Long Range Search
MRS	Medium Range Search
MSSR	Monopulse Secondary Surveillance Radar
NM	Nautical Mile (= 1,852 km)
RF	Radar of Radio Frequency
SMART-L	Signaal Multibeam Acquisition Radar for Targeting L-band
TNO	Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek

# 1 Inleiding

In het kader van het Wetgevingsoverleg op 30 november 2020 tussen de vaste Kamercommissie Defensie en de Staatsecretaris van Defensie is de in Bijlage A opgenomen motie besproken en in de beraadslagingen opgenomen. Op 8 december is deze motie in stemming gebracht en door de Tweede Kamer aangenomen.

De Staatsecretaris van Defensie heeft daarop TNO om uitwerking gevraagd van de in de motie gevraagde berekeningen. De volgende vraag is aan de orde: hoe wijzigt de samengestelde blootstelling indien de antennes van de SMART-L radarinstallatie hoger worden gepositioneerd?

Het onderwerp 'verhogen van de hoogte van de antenne' is ter tafel gekomen naar aanleiding van het betoog van de Belgische hoogleraar Guy Vandenbosch gedurende een door de Tweede Kamer georganiseerde Ronde Tafel Gesprek, op 10 september 2020 [1]. De elektrische veldsterkte, teweeg gebracht door emissies van een communicatie- of radarantenne, neemt in de regel af met de afstand tot de antenne. Hoger positioneren van de antenne is daarom in beginsel een voor de hand liggende methode om de blootstelling aan elektromagnetische velden te verminderen.

De opbouw van dit rapport is als volgt: In hoofdstuk 2 wordt de methodiek die TNO heeft gevolgd uiteengezet. In hoofdstuk 3 worden resultaten gepresenteerd. In hoofdstuk 4 worden de conclusies gegeven. Achtergrondinformatie wordt gegeven in een reeks bijlagen.

## 2 Werkwijze en methoden

TNO heeft recentelijk verscheidene evaluaties uitgevoerd van gezondheidsaspecten door de blootstelling door de voorgenomen SMART-L radarinstallatie te Herwijnen, zie de TNO rapporten [2] en [3]. In deze rapporten heeft TNO de blootstelling van de radarantennebundel worst case<sup>2</sup> ingeschat en vergeleken met de referentiewaarden, die als limietwaarden worden gehanteerd, uit de richtlijnen van het *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) [4] en [5]. Voor de uitwerking en interpretatie van de berekeningen die in het kader van motie Belhaj zijn uitgevoerd, is een meer gedetailleerde modellering ingezet waarmee het effect van het verhogen beter in kaart kan worden gebracht. Tevens is gebruik gemaakt van de meest recente technische specificaties van de primaire radar van SMART-L. Dientengevolge wijken de in deze notitie gepresenteerde waarden af van waarden die in de vorige rapporten zijn gerapporteerd.

De stellingname dat naast berekeningen ook metingen belangrijk zijn om de werkelijk optredende blootstelling vast te stellen blijft geldig. Het is namelijk aannemelijk dat aannamen die gemaakt zijn in de modellering, zoals de vorm van het antennepatroon en de reflectieve eigenschappen van de grond, niet geheel overeenkomen. Daarbij moet echter wel opgemerkt worden dat variaties in meetresultaten worden veroorzaakt door de weersomstandigheden en de conditie van de grond (droog, nat, ruw, glad) ten tijde van de metingen. Tevens is het correct bemeten van een zeer moderne radar niet triviaal. Ondanks deze mitsen en maren ziet TNO het als meerwaarde om zowel door middel van metingen als door middel van berekeningen de verkregen blootstellingswaarden te toetsen aan de limietwaarden. Als uit beide toetsen blijkt dat de limietwaarden niet worden overschreden, is de zekerheid dat de SMART-L aan de ICNIRP-richtlijn voldoet groter.

Ten aanzien van de stellingname van professor Vandenbosch [1] dat het rendeert om de antenne hoger te plaatsen wordt een drietal kanttekeningen gemaakt:

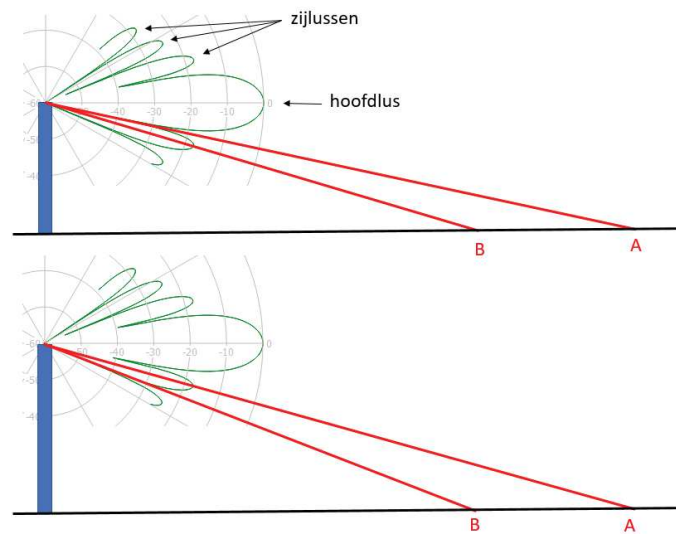
- 1 Doordat het stralingspatroon van een antenne zogenaamde zijlussen heeft, zal de blootstelling niet overal afnemen als de antenne hoger wordt geplaatst. In figuur 2.1 wordt dit geïllustreerd.
- 2 Het wijzigen van de antennehoogte heeft invloed op de geboden radardekking. Dit aspect is door de radarfabrikant, Thales Nederland B.V., onderzocht. Aanbevolen wordt de antenne niet hoger dan 34 m ten opzichte van het maaiveld op te stellen, een verhoging met 10 m derhalve <sup>3</sup>. TNO heeft voor de huidige analyse dan ook 34 m als maximale hoogte aangehouden.
- 3 Het resultaat van de toets tegen de ICNIRP-richtlijn kent slechts twee uitkomsten: goed of fout. In eerdere rapporten heeft TNO aangegeven dat overschrijding van de ICNIRP richtlijnen bij antennehoogte 24 m en op publiek toegankelijke locaties onwaarschijnlijk is. Volgens de regelgeving die in Nederland gehanteerd wordt is het dan ook formeel niet nodig om de antenne

---

<sup>2</sup> Worst case schatting: Bij het maken van veronderstellingen zal TNO een waarde kiezen waardoor de blootstelling hoger uitvalt dan een waarde die tot een lagere blootstelling leidt.

<sup>3</sup> Het gegeven dat het niet wenselijk is om de radarmast verder op te hogen houdt verband met de ontvangst van een hoger niveau aan grondreflecties in combinatie met de middelhoge pulsherhalingsfrequentie van het systeem.

op grond van dwingende restricties aan de stralingsbelasting hoger te positioneren.



Figuur 2.1 In groen weergegeven is een zogenaamde verticale antennepatroon (niet representatief voor de SMART-L installatie). De blauwe rechthoek is de toren waarop zich de radarantenne bevindt. De meeste energie wordt via de zogenaamde hoofdlus in horizontale richting uitgezonden. Boven: in de richting van locatie A wordt zeer weinig energie uitgezonden. Onder: door het hoger maken van de toren wordt in de richting van locatie A meer radarenergie uitgezonden, namelijk via een zijlus van de antenne. Voor locatie A is het ophogen van de radartoren dus ongunstig. Voor locatie B daarentegen is het ophogen daarentegen wel gunstig.

Schattingen van de blootstelling zijn berekend voor de antennehoogten 24, 27, 30 en 34 m. De hoogte van 24 m is de huidige planhoogte voor de realisatie in Herwijnen. De blootstelling bij deze hoogte dient als referentie. De hoogte van 30 m kan met relatief geringe bouwkundige aanpassingen gerealiseerd worden. De hoogte van 27 m is door TNO meegenomen om een analyseresultaat tussen 24 m en 30 m te verkrijgen. Zoals eerder is aangegeven, is de antennehoogte van 34 m de maximaal haalbare antennehoogte om de radar naar behoren te laten functioneren.

De locaties waarvoor de blootstelling is berekend worden getoond in figuur 2.2. De blootstelling is berekend voor drie verschillende waarneemhoogten boven het maaiveld, namelijk 2, 4 en 10 m.



Figuur 2.2 Afstanden gebruikt door TNO. Locatie 1 is op 300 m afstand, locatie 2 is de tijdelijke woonunit op 370 m, locatie 3 is de woning op 450 m, locatie 4 is de dorpsgrens op 930 m, locatie 6 is het wooncomplex op 1100 m en locatie 5 is de 1500 m richtafstand. De beoogde locatie van de SMART-L radar bevindt zich rechtsboven in het figuur. De afstanden zijn in het horizontale vlak gemeten vanaf het midden van de radarantenne.

Twee modi van het systeem zijn beschouwd:

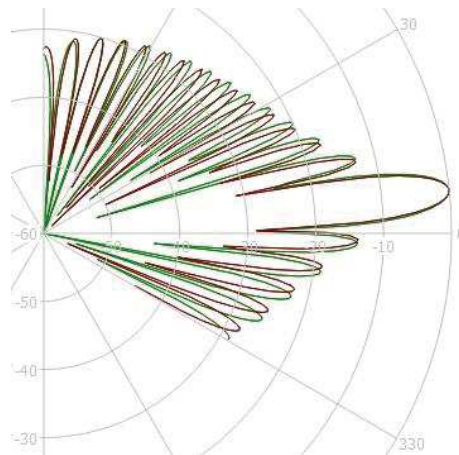
- 1 AAW (Anti Air Warfare) modus, met roterende antenne. De primaire SMART-L radar heeft in deze modus twee verschillende bundels bij zenden: MRS (medium range search) en LRS (long range search). Uitzendingen met deze twee bundels worden afgewisseld.
- 2 BMD (Ballistic Missile Defense) modus, met niet-roterende ('starende') antenne. In de berekeningen gaat TNO uit van de smalste bundel ('narrow beam') in het horizontale vlak. De antenne scant elektronisch in azimut (hoek in het horizontale vlak), binnen de kleinst instelbare sector van  $10^\circ$ .

De verwachting is dat de AAW modus in de praktijk het vaakst zal worden toegepast. De hierboven beschreven instelling van de BMD modus is voor deze modus het meest ongunstig wat betreft blootstellingsniveau. Een toelichting ten aanzien van de verschillende modi van het systeem wordt gegeven in Bijlage B.

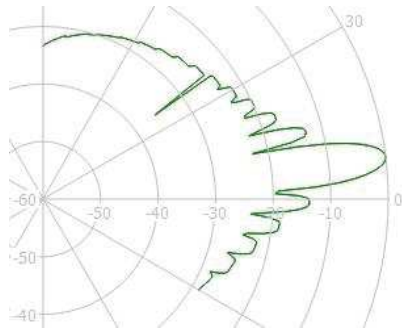
Zoals in [3] (Bijlage C.7) is toegelicht, voert TNO de berekeningen uit in het zogenaamde verre-veld van de radarantenne. TNO beschikt niet over voor de SMART-L radar gevalideerde modelleringsgereedschappen waarmee de blootstelling op kortere afstand van de radartoren, in het zogenaamde 'nabije veld', uitgerekend kan worden. Om in het nabije veld berekeningen te kunnen uitvoeren is namelijk gedetailleerde technische informatie nodig die eigendom is van Thales Nederland B.V. Thales heeft wel beschikking over gevalideerde modelleringsgereedschappen en in veiligheidsrapportages laten zien dat de primaire radar van het SMART-L systeem ook op kortere afstanden voldoet aan de in Nederland gehanteerde blootstellingsrichtlijn ICNIRP, zie [3] – Bijlage C.

Ten aanzien van de modellering door TNO zijn de volgende details relevant:

- De primaire radar SMART-L zendt niet op een enkele frequentie uit, maar gebruikt verscheidene frequenties. Als de frequentie verandert, verandert ook het antennepatroon zoals geïllustreerd in figuur 2.3. De wijzigingen in de vorm van het antennepatroon betreft voornamelijk de zijlussen. Voor de berekening van de blootstellingsveranderingen op kortere afstand is de plaats ten opzichte van de zijlus van belang en daardoor wordt het resultaat afhankelijk van de frequentie die de radar gebruikt. TNO heeft dit effect ondervangen door een omhullend antennepatroon te gebruiken zodat de hoogste blootstelling door de meest ongunstige frequentie in de berekeningen is meegenomen, wederom een worst-case aanname. In figuur 2.4 wordt een omhullend antennepatroon geïllustreerd.



Figuur 2.3 Voorbeeld van verticale antennepatronen voor twee verschillende frequenties. Het frequentieverschil bedraagt 1% van de centrale draaggolffrequentie.



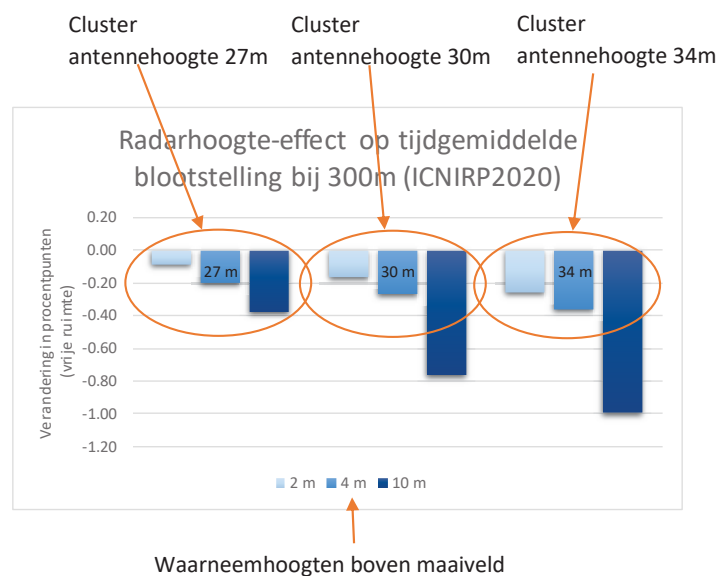
Figuur 2.4 Voorbeeld van een worst-case omhullend antennepatroon.

- TNO heeft berekeningen uitgevoerd bij zowel vrije-veld propagatie (geen reflectie aan de grond) als bij grondreflectiepropagatie (multipad in het verticale vlak) waarbij het zogenaamde EREPS-model is gebruikt, zie [6].
- TNO heeft voor een tweetal antennepatronen (AAW-LRS (long range search) en BMD) het antennepatroon berekend waarbij bijgewerkte gegevens die recentelijk verstrekt zijn door de radarfabrikant zijn gebruikt (te weten boresight antennagain, 3 dB bundelbreedte en boresight elevatiehoek, ook wel 'kijkhoek' genoemd).
- Voor het AAW-MRS (medium range search) antennepatroon heeft TNO gebruik gemaakt van het door Thales Nederland berekende en aan TNO verstrekte antennepatroon.
- Voor de BMD-modus heeft TNO het scannen van de antennebundel in het horizontale vlak in de berekeningen verdisconteerd. Dit verlaagt de in deze rapportage berekende tijdgemiddelde blootstelling ten opzichte van de worst-case benadering in de TNO rapporten [2] en [3] waar geen rekening met het scannen is gehouden. Het scannen is in dit onderzoek wel in de blootstellingsberekeningen verdisconteerd om, indien gewenst, deze waarden met metingen te kunnen vergelijken.

## 3 Resultaten berekeningen

### 3.1 Inleiding

Middels staafdiagrammen wordt inzichtelijk gemaakt wat het effect op de blootstelling is ten gevolge van het hoger positioneren van de SMART-L antenne. De blootstelling bij de voorgenomen radarantennehoogte 24 m fungeert als referentie. Wanneer een staaf ten opzichte van de nul-lijn naar boven wijst dan betekent dit dat de blootstelling als gevolg van het hoger positioneren toeneemt. Wanneer een staaf ten opzichte van de nul-lijn naar beneden wijst dan betekent dit dat de blootstelling als gevolg van het hoger positioneren afneemt. Een voorbeeld van een diagram wordt getoond in figuur 3.1.



Figuur 3.1 De drie clusters van een staafdiagram. Per cluster wordt de verandering van de blootstelling gegeven voor de waarneemhoogte 2, 4 en 10 m.

De drie clusters van staven die in het diagram getoond worden hebben betrekking op de verhogingen 3 m (naar 27 m), 6 m (naar 30 m) en 10 m (naar 34 m). Per cluster zijn er drie staven, voor de waarneemhoogten 2, 4 en 10 m ten opzichte van het maaiveld.

De verandering wordt weergegeven in %-punten. Voorbeeld: de verandering is +3 %-punt betekent dat de blootstelling 'x + 3' % van de ICNIRP richtlijn bedraagt. Dus: indien de blootstelling 7 % van de ICNIRP richtlijn is indien de antenne op 24 m hoogte is, dan wordt de blootstelling 10 % van de ICNIRP richtlijn indien de antenne hoger wordt geplaatst, wat met +3 %-punt wordt gepresenteerd. Uitgedrukt in procenten, dus niet in %-punten, neemt de blootstelling ten opzichte van de veldsterkte bij de oorspronkelijk antennehoogte van 24 m dan met ongeveer 43 % toe. Immers, de toename van 3 % vanaf 7 % bedraagt  $(3/7) \times 100\% = 43\%$ .

Gekozen is om de analyse te concentreren op de tijdgemiddelde blootstelling. Een analyse van de effecten op de piekblootstelling zou de hoeveelheid informatie in dit hoofdstuk verdubbelen zonder dat dit tot extra inzichten leidt en aan de conclusie



bijdraagt. Als de tijdgemiddelde blootstelling met een specifiek percentage afneemt, dan geldt dit ook voor de piekblootstelling. Voor de volledigheid zijn de resultaten van de berekeningen van de piekblootstellingen evenwel in Bijlage C gegeven.

Omdat in de diagrammen een vergelijking wordt gemaakt met de blootstelling indien de radarantenne op 24 m hoogte wordt geplaatst, is, voor het vaststellen van de berekende blootstelling, de veldsterkte bij een antennehoogte van 24 m nodig. In tabel 3.1 en 3.2 worden deze referentiewaarden gespecificeerd als percentage van de ICNIRP limietwaarde, die voor 1,2 GHz 47,6 V/m bedraagt en bij deze frequentie de laagste referentiewaarde geeft. In deze rapportage wordt deze laagste referentiewaarde als limietwaarde voor de SMART-L gebruikt. Het berekende percentage ten opzichte van de ICNIRP referentiewaarde zal daardoor hoger uitvallen dan wanneer TNO de hoogste frequentie van 1,4 GHz gebruikt zou hebben. Met deze werkwijze wil TNO de kans op een te optimistisch beeld verminderen. TNO past deze worst case benadering ook toe voor de limietwaarden van de elektrische piekveldsterkten.

Tot slot: in dit hoofdstuk wordt louter de primaire radar van de SMART-L installatie beschouwd.<sup>4</sup> Het effect op de samengestelde tijdgemiddelde blootstelling is in Bijlage D aan deze rapportage toegevoegd. Door de aanwezigheid van andere RF-bronnen die in de berekening niet in intensiteit veranderen als de radarantenne verhoogd wordt, is voor de samengestelde blootstelling het effect van verhogen door de aanwezigheid van een constante bijdrage minder duidelijk te zien.

### 3.2 AAW-modus (roterende antenne)

In deze sectie worden de berekende effecten op het blootstellingsniveau door het verhogen van de radarantenne gegeven voor de AAW-modus waarbij de antenne van de SMART-L radarinstallatie rond draait.

In tabel 3.1 en tabel 3.2 zijn de blootstellingsniveaus in de AAW-modus als percentages van de tijdgemiddelde ICNIRP-limietwaarde gegeven voor een antennehoogte van 24 m voor de AAW-modus waarbij de antenne roteert. Deze tabellen kunnen worden gebruikt om de blootstellingsniveaus bij andere antennehoogten te kunnen bepalen vanuit de informatie gegeven in de staafdiagrammen.

Tabel 3.1 Overzicht van blootstellingsniveaus (bij 24 m antennehoogte) bij vrije-ruimte propagatie. Veldsterkten (in V/m) worden gegeven als percentage van de tijdgemiddelde ICNIRP limietwaarde, zijnde 47,6 V/m.

Afstand (m)	Waarneemhoogte (m)		
	2	4	10
300	2,3	2,5	3,2
370	2,2	2,4	3,0
450	2,1	2,2	3,1
930	1,8	1,9	2,3
1100	1,7	1,8	2,0
1500	1,4	1,5	1,6

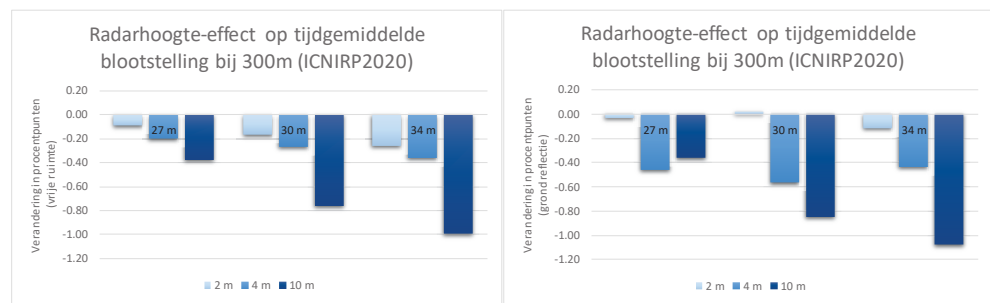
<sup>4</sup> Primaire radar: De 'conventionele' radarsensor die elektromagnetische golven uitzendt en gereflecteerde golven terugvangt. Het systeem interacteert niet met vliegtuigtransponders.

Tabel 3.2 Overzicht van blootstellingsniveaus (bij 24 m antennehoogte) bij grondreflectiepropagatie. Veldsterkten (in V/m) worden gegeven als percentage van de tijdgemiddelde ICNIRP limietwaarde, zijnde 47,6 V/m.

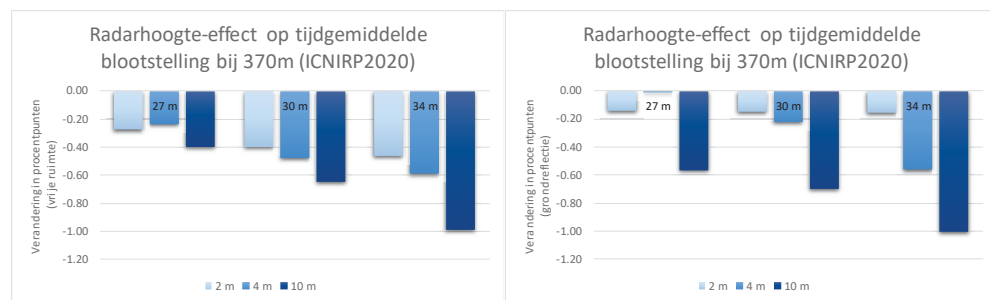
Afstand (m)	Waarneemhoogte (m)		
	2	4	10
300	2,3	2,7	2,7
370	2,0	2,3	2,3
450	1,9	2,3	2,3
930	2,6	1,6	1,6
1100	2,4	2,1	2,1
1500	1,7	2,3	2,3

Zoals te verwachten is het verloop van de blootstellingspercentage als functie van de afstand grilliger bij grondreflectiepropagatie vergeleken met vrije-ruimte propagatie.<sup>5</sup>

De effecten op het blootstellingsniveau voor de zes locaties en de drie waarneemhoogten worden gegeven in figuur 3.2 tot en met 3.7. Links staat een diagram voor vrije-ruimte (free-space) propagatie, rechts staat een diagram voor grondreflectiepropagatie.

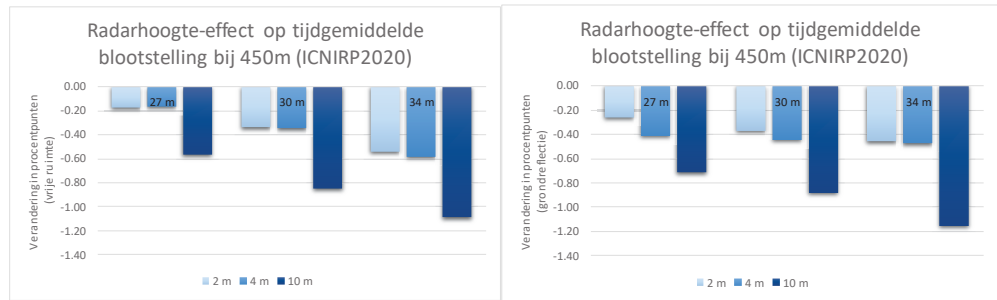


Figuur 3.2 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 300 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

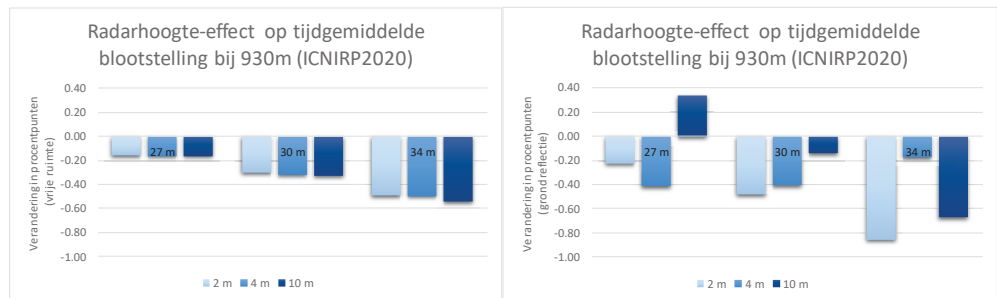


Figuur 3.3 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 370 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

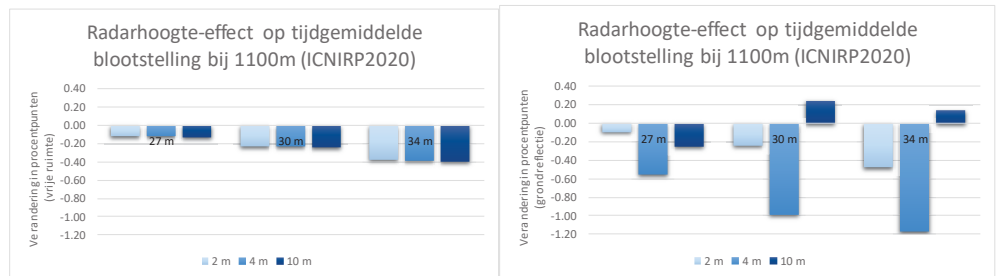
<sup>5</sup> Dit is te vergelijken met het interferentiepatroon dat ontstaat indien er één steentje in vlak water gegooid wordt (lijkt op vrije-ruimte propagatie) of als er tegelijkertijd twee steentjes in vlak water worden gegooid (lijkt op grondreflectiepropagatie).



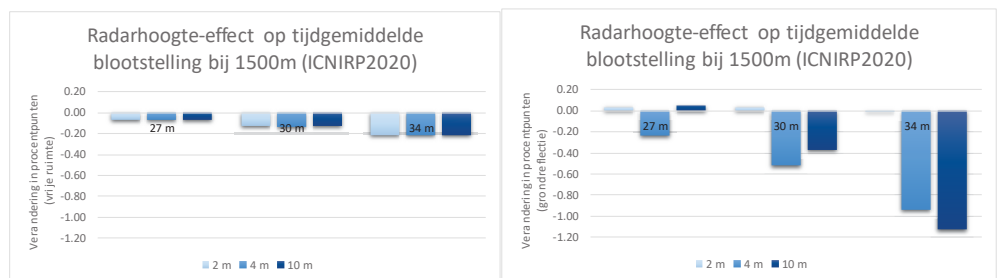
Figuur 3.4 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 450 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.



Figuur 3.5 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 930 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.



Figuur 3.6 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 1100 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.



Figuur 3.7 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 1500 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

Te zien is dat in veruit de meeste gevallen (afstanden tot de radar en waarneemhoogte) de balkjes naar beneden wijzen. Dit betekent dat het hoger plaatsen van de antenne leidt tot een reductie van de blootstelling. Er zijn evenwel uitzonderingen, vooral indien grondreflectiepropagatie is gemodelleerd, waarbij verhoging van de radarantenne leidt tot verhoging van de blootstelling.

De uiterste waarden van de verandering van de blootstelling blijken -1,2 %-punt (verlaging) en +0,3 %-punt (verhoging) te zijn.

### 3.3 BMD-modus (starende modus)

In deze sectie worden de berekende effecten op het blootstellingsniveau door het verhogen van de radarantenne gegeven voor de BMD-modus waarbij de antenne van de SMART-L radarinstallatie stil staat (starende modus).

In tabel 3.3 en tabel 3.4 zijn de blootstellingsniveaus in de BMD-modus als percentages van de tijdgemiddelde ICNIRP-limietwaarde gegeven voor een antennehoogte van 24 m voor de BMD-modus. Deze tabellen kunnen worden gebruikt om de blootstellingsniveaus bij andere antennehoogten te kunnen bepalen vanuit de staafdiagrammen.

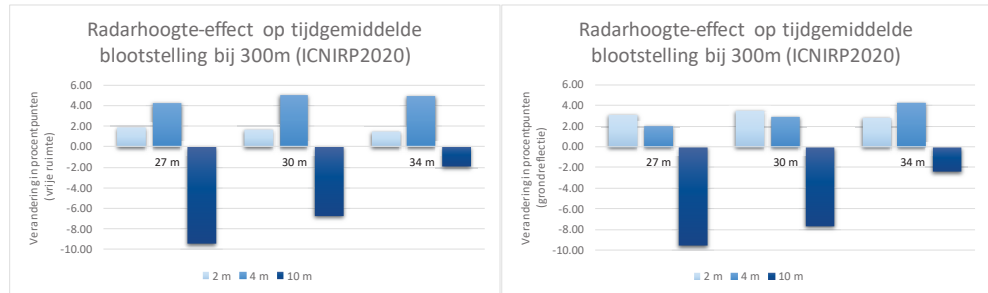
Tabel 3.3 Overzicht van blootstellingsniveaus (bij 24 m antennehoogte) bij vrije-ruimte propagatie. Veldsterkten (in V/m) worden gegeven als percentage van de tijdgemiddelde ICNIRP limietwaarde, zijnde 47,6 V/m.

Afstand (m)	Waarneemhoogte (m)		
	2	4	10
300	17,3	14,0	20,8
370	5,3	8,9	17,4
450	12,6	15,2	21,0
930	10,7	10,8	10,8
1100	9,1	9,1	9,2
1500	6,7	6,7	6,7

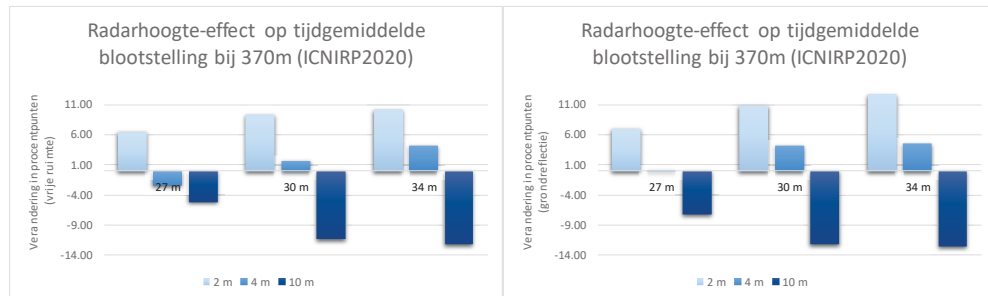
Tabel 3.4 Overzicht van blootstellingsniveaus (bij 24 m antennehoogte) bij grondreflectie-propagatie. Veldsterkten (in V/m) worden gegeven als percentage van de tijdgemiddelde ICNIRP limietwaarde, zijnde 47,6 V/m.

Afstand (m)	Waarneemhoogte (m)		
	2	4	10
300	16,8	15,6	21,7
370	3,6	9,9	23,6
450	11,8	15,2	22,5
930	15,9	8,5	10,0
1100	13,1	11,2	7,5
1500	8,3	11,2	9,8

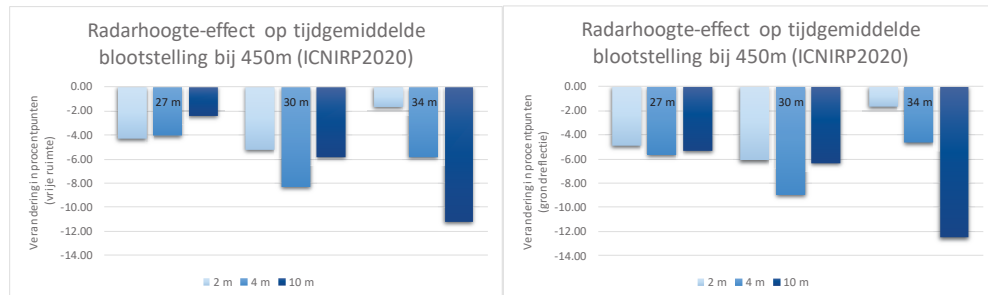
In figuur 3.8 tot en met figuur 3.13 is het effect van verhoging van de radarantenne in BMD-modus (starende modus) gegeven. Een kijkhoek van 5° is aangehouden.



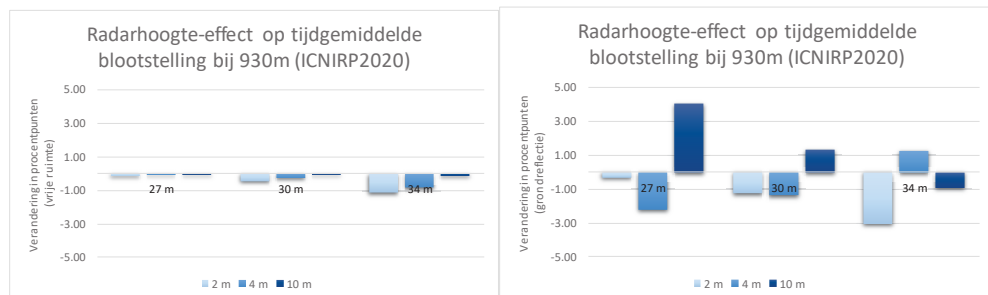
Figuur 3.8 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 300 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.



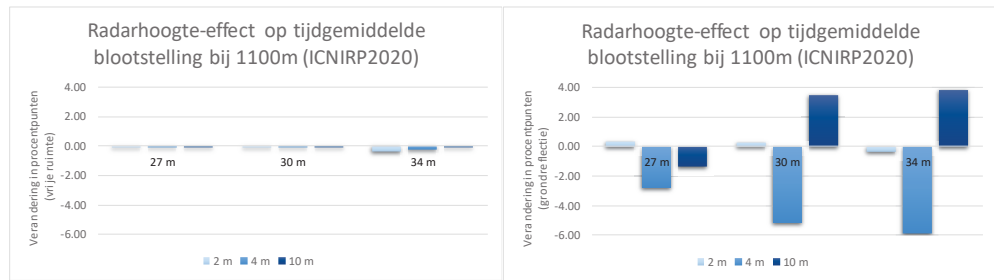
Figuur 3.9 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 370 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.



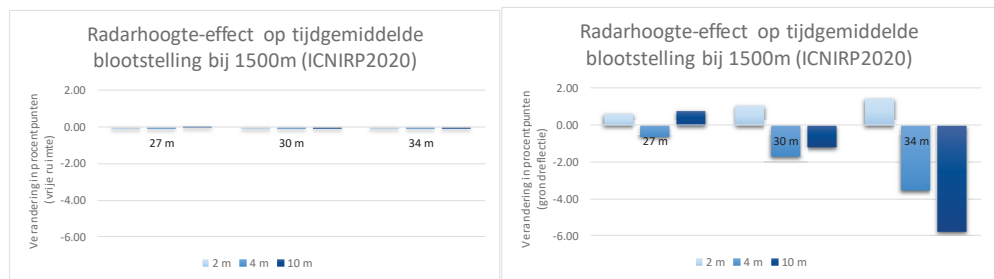
Figuur 3.10 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 450 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.



Figuur 3.11 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 930 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.



Figuur 3.12 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 1100 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.



Figuur 3.13 Verandering in %-punten van het blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L voor een afstand van 1500 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

Het beeld dat deze diagrammen voor de BMD-modus laat zien is afwijkend ten opzichte van de diagrammen weergegeven in figuur 3.2 tot en met figuur 3.7 voor de AAW-modus. Balkjes gaan vaker naar boven, wat erop wijst dat voor specifieke afstanden en waarneemhoogten, het ophogen van de antenne tot een verhoging van het blootstellingsniveau leidt. De uiterste waarden van de verandering van de blootstelling blijken -12,5 %-punt (verlaging) en +12,7 %-punt (verhoging) te zijn.

De in de tabellen 3.3 en 3.4 gepresenteerde tijdgemiddelde blootstellingswaarden voor de BMD-modus zijn overigens lager dan de waarden die in eerdere TNO rapporten zijn gerapporteerd. Zoals reeds gesteld is de oorzaak daarvan dat TNO in deze rapportage het scannen in het horizontale vlak heeft meegenomen.

### 3.4 Locatieonafhankelijke analyse

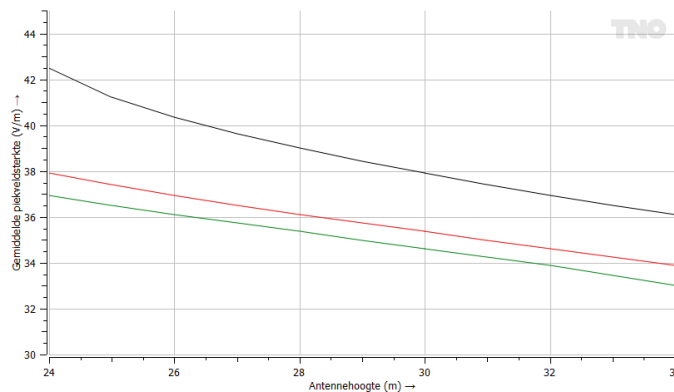
Uit het voorgaande blijkt dat het voordeel van ophogen van de radarantenne locatieafhankelijk is en op specifieke locaties nadelig kan uitpakken. Om na te gaan of er een algemene trend te destilleren is, heeft TNO binnen het afstandsinterval van 250 tot en met 2000 m voor de vier antennehoogten (24, 27, 30 en 34 m) en voor de drie waarneemhoogten (2, 4 en 10 m) de blootstelling op de meest ongunstige afstand vastgesteld. De 12 afstanden waar de blootstelling het hoogste is zijn derhalve verschillend. Vervolgens is de verandering van de blootstelling ten opzichte van de blootstelling met de antenne op 24 m hoogte vastgesteld. In tabel 3.5 worden de resultaten gegeven, uitgedrukt in %-punt, voor de AAW-modus (ronddraaiende antenne) en de tijdgemiddelde blootstelling.

Tabel 3.5 Overzicht van de verandering van de tijdgemiddelde blootstelling, uitgedrukt in %-punt, als gevolg van het hoger positioneren van de antenne.

Antennehoogte (m)	Vrije-ruimte propagatie Waarneemhoogte			Grondreflectiepropagatie Waarneemhoogte		
	2 m	4 m	10 m	2 m	4 m	10 m
27	-0,1	-0,1	-0,5	>-0,05 <sup>6</sup>	<0,05 <sup>7</sup>	-0,5
30	-0,2	-0,2	-0,8	-0,2	-0,1	-0,8
34	-0,1	-0,1	-0,9	-0,1	-0,1	-1,0

Uit het gegeven dat er overwegend negatieve getallen in de tabel staat kan geconcludeerd worden dat het ophogen van de antennepositie het blootstellingsniveau gemiddeld over de afstand verlaagt, ondanks het feit dat dit, zoals in 3.2 gepresenteerd, niet geldt voor alle locaties.

Ook met behulp van een andere methodiek kan tot deze conclusie worden gekomen; figuur 3.14 toont piekveldsterkten van het elektrische veld gemiddeld over een afstandsinterval vanaf 250 tot aan 2000 m, voor vrije-ruimte propagatie berekend als functie van de hoogte van de radar antenne. Duidelijk is te zien dat de afstandsgemiddelde blootstelling afneemt naarmate de antenne hoger wordt gepositioneerd.

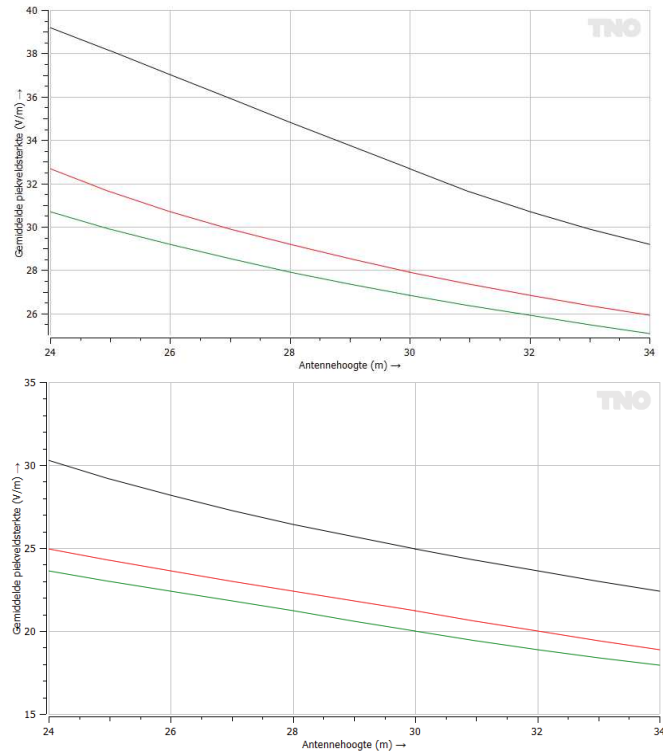


Figuur 3.14 Afstandsgemiddelde piekveldsterkte versus antennehoogte. Groen: waarneemhoogte 2 m. Rood: waarneemhoogte 4 m. Zwart: waarneemhoogte 10 m. Vrije-veld propagatie is verondersteld, de radar is in de BMD-modus, de kijkhoek is 5°.

TNO heeft geverifieerd dat een soortgelijk beeld zich voordoet voor de MRS en de LRS bundels die in de AAW-mode worden gebruikt. De resultaten zijn gegeven in figuur 3.15. Dit betekent ook dat bij de AAW-modus de afstandsgemiddelde blootstelling afneemt naarmate de antenne hoger wordt gepositioneerd.

<sup>6</sup> De aanduiding > -0,05 geeft aan dat de berekende waarde tussen -0,04999... en 0 ligt.

<sup>7</sup> De aanduiding < 0,05 geeft aan dat de berekende waarde tussen 0 en 0,04999... ligt.



Figuur 3.15 Afstandsgemiddelde piekvaldsterkte versus antennehoogte. Groen: waarneemhoogte 2 m. Rood: waarneemhoogte 4 m. Zwart: waarneemhoogte 10 m. Vrije-veldd propagatie is verondersteld. Boven MRS bundel, onder LRS bundel.



## 4 Conclusie

Uit de berekeningen van TNO volgt dat het ophogen van de SMART-L radarantenne niet op alle plekken leidt tot een reductie van het blootstellingsniveau. Dat dit effect optreedt bij zowel de samengestelde tijdgemiddelde blootstelling als de piekblootstelling, wordt in de Bijlagen C en D geïllustreerd.

Voor de meeste locaties blijkt de remedie ophogen radarantenne wel te leiden tot een reductie van de blootstelling. De reductie in de AAW-modus (roterende antenne) is ten hoogste 1,2 %-punt van de normwaarde. Er is echter ook een verhoging van ten hoogste 0,3 %-punt van de normwaarde gevonden in de AAW-modus. De AAW-modus zal vermoedelijk het vaakst worden toegepast. De reductie in de BMD-modus (starende modus) is ten hoogste 12,5 %-punt van de normwaarde, terwijl er ook een verhoging van ten hoogste 12,7 %-punt van de normwaarde is gevonden.

Om deze locatieafhankelijke wisselingen eruit te middelen, heeft TNO ook de afstandsgemiddelde blootstellingswaarde uitgerekend. Uit deze berekeningen blijkt dat zowel voor de AAW-modus als voor de BMD-modus het ophogen van de radarantenne een daling van de afstandsgemiddelde blootstellingsbelasting laat zien.

Een relatief eenvoudig antwoord als 'de blootstelling neem met x% af als de antenne 10 m hoger wordt geplaatst' kan derhalve niet gegeven worden. De oorzaak is gelegen in de vorm van de antennepatronen die de radar gebruikt, zoals uiteengezet in hoofdstuk 2. Indien ook grondreflectiepropagatie wordt gemodelleerd ontstaat, zoals te verwachten is, een grilliger beeld.

Tot slot wordt opgemerkt dat, ongeacht of er een verhoging of verlaging optreedt, geen enkele berekende situatie in dit onderzoek leidt tot de conclusie dat de ICNIRP referentiewaarden wordt overschreden.

## 5 Referenties

- [1] G. Vandenbosch, Position paper *De radarinstallatie te Herwijnen en het ALATA principe*, Ronde Tafel Gesprek Tweede Kamer, 3 september 2020.
- [2] A.P.M. 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.
- [3] A.P.M. Zwamborn en A. Theil, *Evaluatie van gezondheidsaspecten door blootstelling voorgenomen SMART-L radar te Herwijnen: aanvulling op rapportage TNO 2020 R10094*, TNO 2020 R11278, Den Haag, 2020.
- [4] *ICNIRP GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS (100 kHz to 300 GHz)*, Health Physics Society, vol. 118, nr. 5, 2020.
- [5] *ICNIRP GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHZ)*, Health Physics Society, vol. 74, nr. 4, 1998.
- [6] W. Patterson, C. Hattan, G. Lindem, P. Paulus, H. Hitney en A. Barrios, *Engineer's Refractive Effects Prediction System (EREPS), Version 3.0*, Naval Command, Control and Ocean Surveillance Center, Technical Document 2648, May 1994.
- [7] *ASSESSMENT REPORT RF EXPOSURE – MPE*, DEKRA Certification B.V., 2021-03-30.

## 6 Ondertekening

[Redacted signature area]

Research manager

[Redacted signature area]

Auteur

## A Motie Belhaj, Kamerstuk 35570-X-29

## Tweede Kamer der Staten-Generaal

2

Vergaderjaar 2020–2021

35 570 X

**Vaststelling van de begrotingsstaten van het Ministerie van Defensie (X) voor het jaar 2021**

Nr. 61

**GEWIJZIGDE MOTIE VAN HET LID BELHAJ TER VERVANGING VAN DIE GEDRUKT ONDER NR. 29**

Voorgesteld 8 december 2020

De Kamer,

gehoord de beraadslaging,

overwegende dat de Raad van de Europese Unie de ICNIRP-richtlijn adviseert als gezondheidswaarborg, maar dat gezondheidsrisico's nooit volledig zijn uit te sluiten;

overwegende dat de zorgen bij de bevolking en de gemeente West-Betuwe over de SMART-L radar in Herwijnen niet weggenomen zijn;

constaterende dat de hoogte van een nieuwe SMART-L radar een aanzienlijk impact kan hebben voor het niveau van straling bij dichtbij liggende woonunits maar ook voor het dorp Herwijnen als geheel;

verzoekt de regering, een simulatie uit te laten voeren waarbij de SMART-L radar hoger wordt geplaatst dan 24 meter om te onderzoeken of de exposure op de grond aanzienlijk vermindert bij grotere hoogtes;

verzoekt vervolgens de uitkomst van deze simulatie evenwichtig en redelijkerwijs te laten meewegen in het uiteindelijke ontwerp van de SMART-L radar in Herwijnen,

en gaat over tot de orde van de dag.

Belhaj

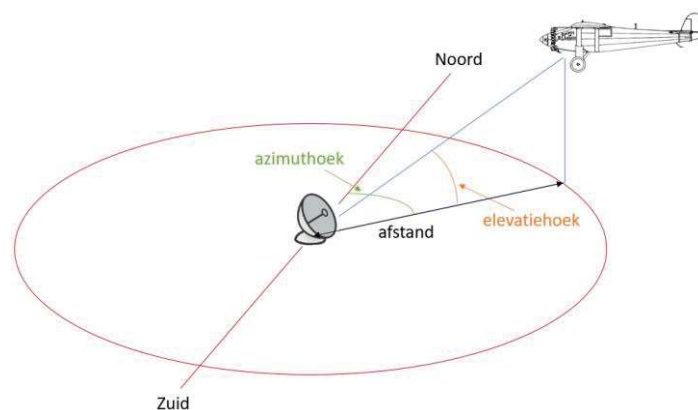
## B Operationele modi

### B.1 Inleiding

Twee modi van het SMART-L systeem zijn in dit document beschouwd: AAW (Anti Air Warfare) en BMD (Ballistic Missile Defense). De zogenaamde 'mixed mode' is buiten beschouwing gebleven. De reden dat TNO zich beperkt heeft tot deze twee modi is toegelicht in hoofdstuk 2. In deze appendix worden de drie verschillende modi nader en op beknopte wijze toegelicht.

### B.2 AAW modus

In deze mode draait de antenne van de radar met constante snelheid rond, het systeem fungeert als een zogenaamde rondzoekradar. De omwentelingsduur van de antenne bedraagt 5 s. Tijdens het ronddraaien wisselen twee verschillende zendbundels elkaar af: medium range search (MRS) en long range search (LRS). Met de LRS bundel kan verder waargenomen worden dan met de MRS bundel. Met de MRS bundel kan daarentegen onder grotere elevatiehoeken waargenomen dan met de LRS bundel. Door toepassing van de twee bundels kan voldaan worden aan de dekkingseis die het Ministerie van Defensie stelt. Het begrip elevatiehoek wordt toegelicht in figuur B.1.



Figuur B.1 De hoek in het verticale vlak wordt aangeduid als elevatiehoek.

### B.3 BMD modus

Deze modus is ontwikkeld om objecten die zich buiten de dampkring bevinden waar te nemen. In deze mode staat de antenne van de radar stil. De zendbundel van de radar wordt op elektronische wijze op het waar te nemen object gericht. Om tot relatief grote afstanden waar te kunnen nemen concentreert de radar de energie in een relatief smalle zendbundel. Indien de baan van het waar te nemen object niet bekend is, scant de radarbundel in een specifieke azimuthsector, totdat het object wordt waargenomen, waarna de bundel met het object meebeweegt.

#### **B.4 Mixed modus**

In deze modus wordt de AAW modus gecombineerd met de BMD modus. Een object buiten de dampkring kan worden waargenomen terwijl de antenne ronddraait. Deze modus kan worden toegepast indien het afstands bereik dat de BMD modus biedt niet nodig is. Het blootstellingsniveau voor de mixed modus zal de maxima van het blootstellingsniveau behorende bij de AAW-modus en de BMD-modus niet kunnen overschrijden.

## C Piekveldsterkteblootstelling, SMART-L

Voor de toets met ICNIRP is naast de tijdgemiddelde blootstelling ook een toets van de piekblootstelling relevant. Echter, een af- of toename van de tijdgemiddelde blootstelling hangt direct samen met een af- of toename van de piekblootstelling. Om dit met getallen te illustreren: Stel: de tijdgemiddelde blootstelling bedraagt 12% van de richtlijn voor tijdgemiddelde blootstelling en de piekblootstelling bedraagt 10% van de richtlijn voor piekblootstelling. Door de antenne hoger te plaatsen wordt de tijdgemiddelde blootstelling 6% van de ICNIRP richtlijn, een halvering derhalve, ofwel een afname met 6%-punt. De piekblootstelling zal dan ook halveren, ofwel met 5%-punt afnemen. Vanwege deze directe relatie zijn in het hoofddeel van dit rapport louter de tijdgemiddelde blootstellingen gebruikt. Voor de volledigheid zijn, voor zowel de AAW-modus (roterende antenne) als voor de BMD-modus (starende modus), in deze appendix de resultaten van de toets met de berekende piekveldsterktewaarden opgenomen.

### C.1 AAW-modus

De ICNIRP2020 limietwaarde voor de piekveldsterkte in de AAW-modus bedraagt, zoals TNO de richtlijn interpreteert [4] 2.548 V/m. Opgemerkt wordt dat deze waarde enigszins afwijkt van de eerder door TNO gerapporteerde waarde van 2.988 V/m, In [3]. TNO heeft extra informatie over de signaalvorm ontvangen waardoor TNO in staat is geweest de bijbehorende limietwaarde nauwkeuriger te bepalen. Voorts wordt opgemerkt dat de bijbehorende limietwaarde uit ICNIRP1998, [5], 1.505 V/m bedraagt. Dat betekent dat de waarden in de tabel kunnen worden omgerekend naar ICNIRP1998 door te vermenigvuldigen met een factor 1,7. Voorbeeld: indien de toets tegen ICNIRP2020 2,8% bedraagt, dan is de toets tegen ICNIRP1998  $2,8\% \times 1,7 = 4,8\%$ .

In tabel C.1 tot en met tabel C.6 wordt het blootstellingsniveau van de elektrische piekveldsterkte in AAW-modus op verscheidene afstanden en voor zowel vrije-ruimte als grondreflectiepropagatie gegeven. Opgemerkt wordt dat in deze tabellen een punt als decimaal scheidingsteken wordt gebruikt in plaats van de gebruikelijke komma.

Tabel C.1 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 300 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

300m				300m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	2.1	2.1	2.7	24 m	2.0	2.2	2.8
27 m	2.0	2.1	1.9	27 m	2.1	2.0	2.0
30 m	1.7	1.9	2.1	30 m	1.8	1.9	2.1
34 m	1.6	1.5	2.0	34 m	1.7	1.5	2.1

Tabel C.2 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 370 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

370m				370m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	1.6	1.7	2.8	24 m	1.4	1.7	2.8
27 m	1.7	1.7	2.2	27 m	1.5	1.8	2.2
30 m	1.7	1.7	1.7	30 m	1.6	1.8	1.7
34 m	1.6	1.6	1.7	34 m	1.6	1.6	1.7

Tabel C.3 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 450 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

450m				450m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	1.7	1.9	2.6	24 m	1.6	1.9	2.7
27 m	1.3	1.6	2.3	27 m	1.2	1.5	2.3
30 m	1.4	1.3	1.9	30 m	1.2	1.2	2.0
34 m	1.4	1.4	1.4	34 m	1.3	1.5	1.5

Tabel C.4 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 930 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

930m				930m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	1.4	1.5	1.6	24 m	2.1	1.2	1.5
27 m	1.4	1.4	1.5	27 m	2.0	0.9	1.9
30 m	1.3	1.3	1.5	30 m	1.8	0.9	1.5
34 m	1.2	1.2	1.4	34 m	1.6	1.2	1.2

Tabel C.5 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 1100 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

1100m				1100m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	1.3	1.3	1.4	24 m	1.8	1.5	1.2
27 m	1.2	1.3	1.3	27 m	1.8	1.1	1.0
30 m	1.2	1.2	1.3	30 m	1.7	0.8	1.5
34 m	1.1	1.1	1.2	34 m	1.6	0.7	1.5



Tabel C.6 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 1500 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

1500m				1500m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	1.0	1.0	1.1	24 m	1.2	1.6	1.4
27 m	1.0	1.0	1.0	27 m	1.3	1.5	1.5
30 m	0.9	1.0	1.0	30 m	1.3	1.3	1.2
34 m	0.9	0.9	1.0	34 m	1.3	1.0	0.7

Voor zowel vrije-ruimte als propagatie met grondreflectie bedraagt het piekblootstellingsniveau voor de beschouwde radarantennehoogte en waarneemhoogten minder dan 2,8% van de ICNIRP2020 richtlijn.

## C.2 BMD-modus

De ICNIRP2020 limietwaarde voor de piekveldsterkte in de BMD-modus bedraagt, zoals TNO de richtlijn [4] interpreteert 861 V/m. De in deze sectie gepresenteerde blootstellingswaarden gelden voor een kijkhoek van 5° en opgemerkt wordt dat deze waarden afwijken van de eerder door TNO gerapporteerde waarde van 416 V/m. Dat wordt veroorzaakt omdat TNO het scannen van de antennebundel heeft meegenomen in de berekening van de limietwaarde. Dit wijkt af van de worst-case benadering waarvoor in [3] gekozen is, en komt wel tegemoet aan een mogelijke behoefte realistischer te kunnen vergelijken met veldmetingen. TNO heeft deze nieuwe waarde van 861 V/m gebruikt in de huidige analyses. Voorts wordt opgemerkt dat de bijbehorende limietwaarde uit ICNIRP1998 1.505 V/m bedraagt. Dat betekent dat de waarden in de tabel kunnen worden omgerekend door te delen met een factor 1,75. Indien de toets tegen ICNIRP2020 6,3% bedraagt, dan is de toets tegen ICNIRP1998  $6,3/1,75=3,6\%$ .

In de tabel C.7 tot en met tabel C.12 wordt het blootstellingsniveau van de elektrische piekveldsterkte in BMD-modus op verscheidene afstanden en voor zowel vrije-ruimte als grondreflectiepropagatie gegeven. Merk op dat in deze tabellen een punt als decimaal scheidingsteken wordt gebruikt.

Tabel C.7 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 300 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

300m				300m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	7.8	6.3	9.4	24 m	7.6	7.0	9.8
27 m	8.7	8.3	5.1	27 m	9.0	7.9	5.5
30 m	8.6	8.6	6.3	30 m	9.2	8.3	6.3
34 m	8.5	8.6	8.6	34 m	8.9	8.9	8.7

Tabel C.8 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 370 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld.  
Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

370m				370m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	2.4	5.1	10.2	24 m	1.6	4.5	10.7
27 m	5.3	4.0	7.9	27 m	4.7	4.5	7.4
30 m	6.6	5.9	5.1	30 m	6.5	6.4	5.2
34 m	7.0	7.0	4.7	34 m	7.4	6.5	5.0

Tabel C.9 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 450 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld.  
Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

450m				450m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	5.7	6.9	9.5	24 m	5.3	6.9	10.2
27 m	3.7	5.0	8.4	27 m	3.1	4.3	7.8
30 m	3.3	3.1	6.9	30 m	2.6	2.8	7.3
34 m	4.9	4.2	4.4	34 m	4.6	4.8	4.5

Tabel C.10 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 930 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld.  
Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

930m				930m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	4.9	4.9	4.9	24 m	7.2	3.8	4.5
27 m	4.8	4.8	4.9	27 m	7.0	2.8	6.4
30 m	4.6	4.7	4.9	30 m	6.6	3.2	5.1
34 m	4.3	4.5	4.8	34 m	5.8	4.4	4.1

Tabel C.11 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 1100 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld.  
Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

1100m				1100m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	4.1	4.1	4.1	24 m	5.9	5.0	3.4
27 m	4.1	4.1	4.1	27 m	6.1	3.8	2.8
30 m	4.1	4.1	4.1	30 m	6.1	2.7	4.9
34 m	4.0	4.0	4.1	34 m	5.8	2.4	5.1

Tabel C.12 Piekblootstelling in procenten van ICNIRP2020 van het elektrische veld op 1500 m afstand voor verschillende hoogten van de radarantenne en boven maaiveld.  
Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie.

1500m				1500m			
Vrije ruimte	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde			Grondreflectie	% ICNIRP 2020 Pieklimietwaarde		
	2 m	4 m	10 m		2 m	4 m	10 m
24 m	3.0	3.0	3.0	24 m	3.8	5.1	4.4
27 m	3.0	3.0	3.0	27 m	4.0	4.8	4.8
30 m	3.0	3.0	3.0	30 m	4.2	4.3	3.9
34 m	3.0	3.0	3.0	34 m	4.4	3.4	1.8

Voor zowel vrije-ruimte als propagatie met grondreflectie bedraagt het piekblootstellingsniveau voor de beschouwde radarantennehoogte en waarneemhoogten minder dan 10,7% van de ICNIRP2020 richtlijn.

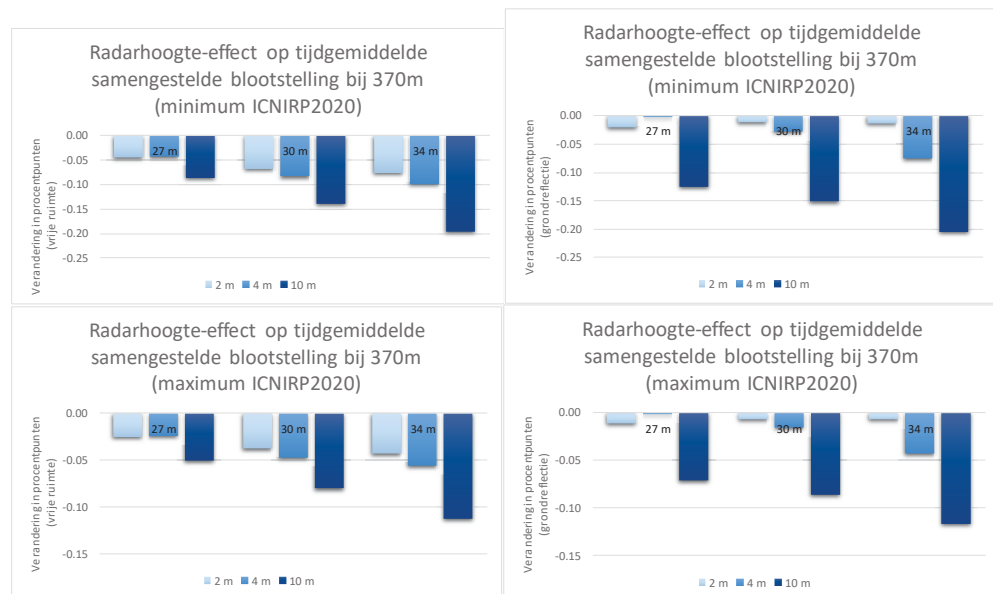
## D Tijdgemiddelde blootstelling SMART-L, samengesteld

### D.1 Inleiding

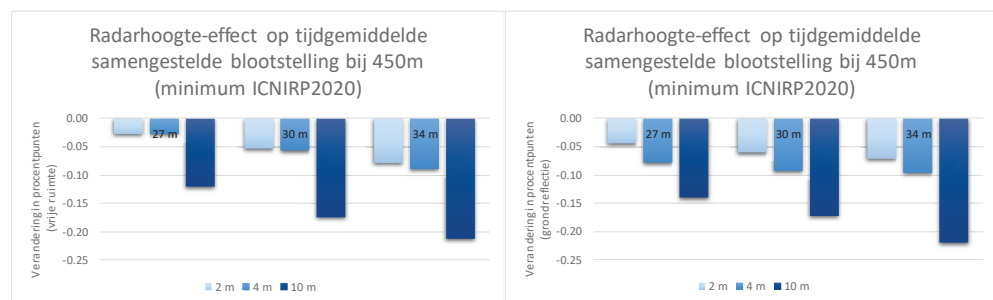
In deze appendix wordt een overzicht gegeven van de samengestelde tijdgemiddelde blootstelling. De presentatie is gelijk aan de die welke gevolgd is in hoofdstuk 3. Zoals uiteengezet in [2] worden voor de ondergrens en de bovengrens blootstellingswaarden gegeven. Dit houdt verband met minimale en maximale gerapporteerde blootstellingsniveaus.

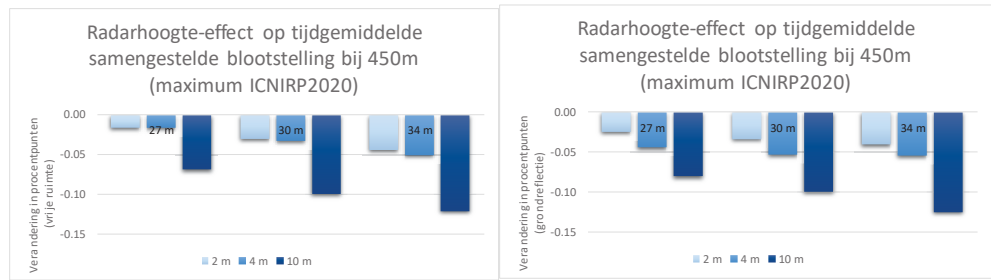
### D.2 AAW-modus

Het effect van het hoger positioneren van de radarantenne wordt geïllustreerd in de figuren D.1 tot en met D.3.

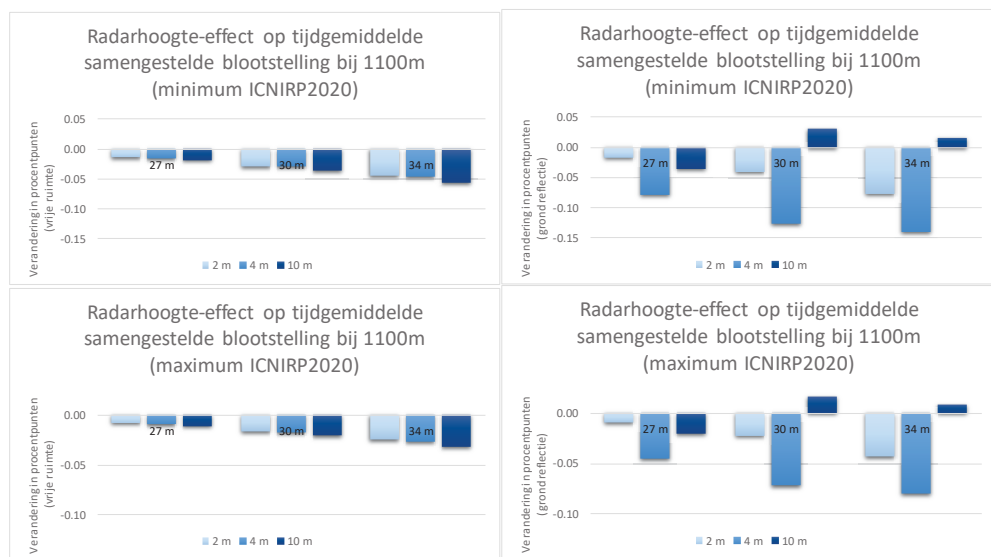


Figuur D.1 Verandering in %-punten van het gelijktijdige samengestelde blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L antenne voor een afstand van 370 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie. Boven: minimale waarden. Onder maximale waarden.





Figuur D.2 Verandering in %-punten van het gelijktijdige samengestelde blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L antenne voor een afstand van 450 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie. Boven: minimale waarden. Onder maximale waarden.

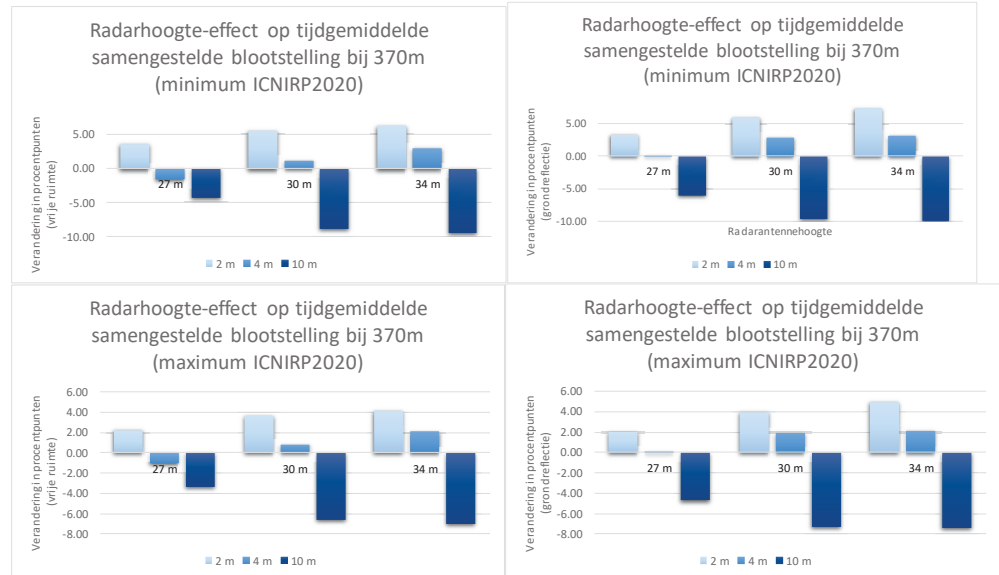


Figuur D.3 Verandering in %-punten van het gelijktijdige samengestelde blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L antenne voor een afstand van 1100 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie. Boven: minimale waarden. Onder maximale waarden.

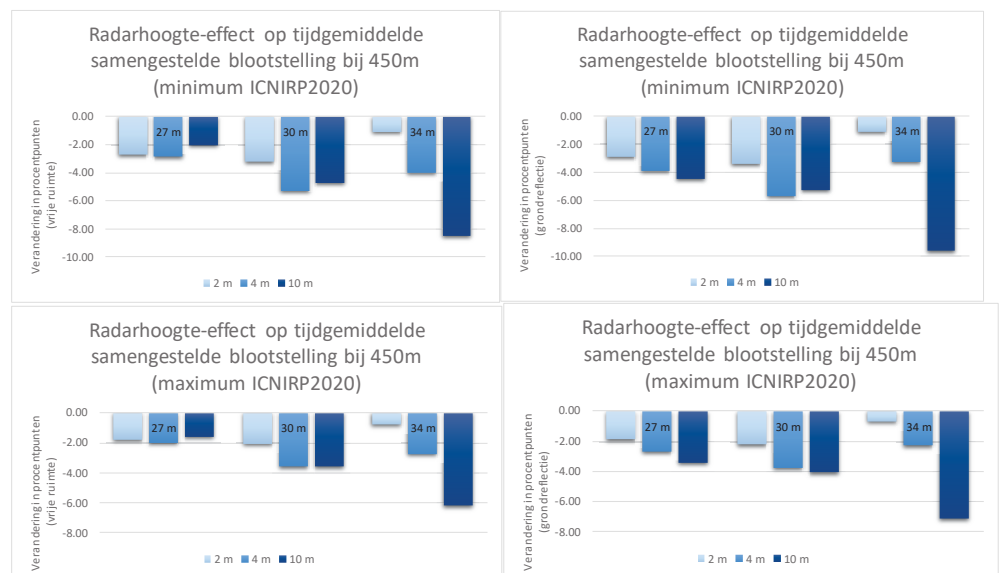
Uit de berekeningen volgt dat de procentuele veranderingen lager uitvallen dan wanneer de bijdrage van de SMART-L als enige bron wordt genomen. Dat wordt veroorzaakt omdat in de samenstelling de bijdragen van de overige bronnen gelijk blijven.

### D.3 BMD-modus

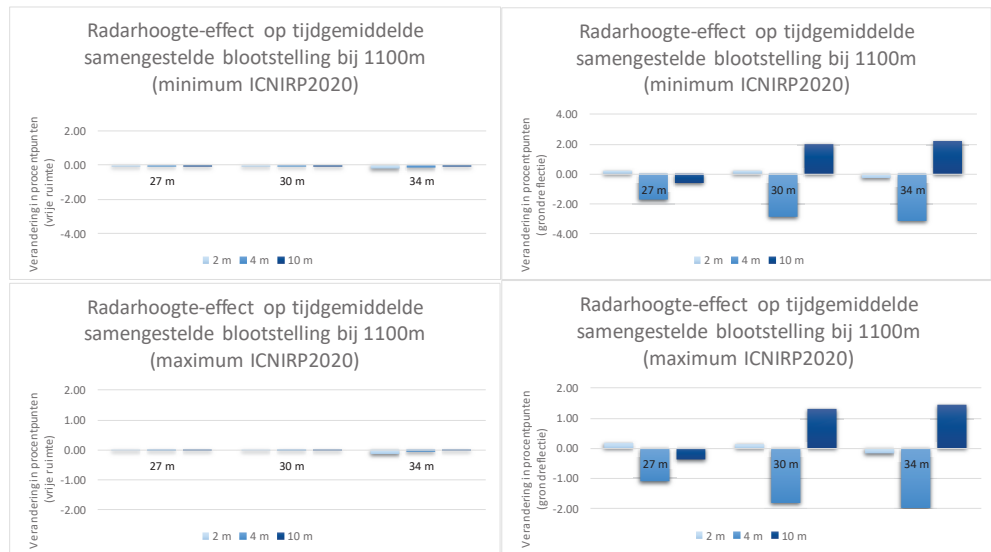
Het effect van het hoger positioneren van de radarantenne wordt geïllustreerd in de figuren D.4 tot en met D.6.



Figuur D.4 Verandering in %-punten van het gelijktijdige samengestelde blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L antenne voor een afstand van 370 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie. Boven: minimale waarden. Onder maximale waarden.



Figuur D.5 Verandering in %-punten van het gelijktijdige samengestelde blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L antenne voor een afstand van 450 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie. Boven: minimale waarden. Onder maximale waarden.



Figuur D.6 Verandering in %-punten van het gelijktijdige samengestelde blootstellingsniveau bij verschillende hoogten van de SMART-L antenne voor een afstand van 1100 m. Links: vrije-ruimte propagatie. Rechts: grondreflectiepropagatie. Boven: minimale waarden. Onder maximale waarden.

Uit de berekeningen volgt dat de procentuele veranderingen lager uitvallen dan wanneer de bijdrage van de SMART-L als enige bron wordt genomen. Dat wordt veroorzaakt omdat in de samenstelling de bijdragen van de overige bronnen gelijk blijven.

## E Rekenresultaten versus metingen

De rekenresultaten die in dit document zijn gepresenteerd zijn gebaseerd op systeemeigenschappen die door de fabrikant van het SMART-L systeem aan TNO zijn verschaft. Zoals TNO regelmatig heeft benadrukt, is het van belang om de resultaten te vergelijken met metingen. Voor wat betreft de piekblootstelling heeft TNO deze exercitie uitgevoerd en het resultaat wordt in deze bijlage gepresenteerd. De metingen zijn uitgevoerd door DEKRA Certification B.V. gedurende de periode van 18 tot en met 20 mei 2021. De bevindingen worden beschreven in het 'Assessment Report' [7].

Piek en tijdgemiddelde veldsterkten van de MRS (meting OM#02), LRS (meting OM#03) en BMD (meting OM#05) bundels zijn afzonderlijk gemeten op 2 en op 4 m hoogte, en op verscheidene afstanden vanaf de voet van de radartoren: 35, 150, 200, 300 en 710 m. In Bijlage B van dit rapport is een beschrijving gegeven van deze radarbundels. Vanwege de verre-veld voorwaarde kunnen de metingen op 300 en op 710 m met de TNO rekenresultaten vergeleken worden. Het resultaat wordt getoond in tabel E.1. Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat de elevatie kijkhoek gedurende de metingen ( $6^\circ$ ) in geringe mate afwijkt van de kijkhoek die is toegepast bij de berekeningen ( $5^\circ$ ) die in hoofdstuk 3 zijn gepresenteerd.

Tabel E.1 Overzicht van gemeten piekveldsterkte,  $E_m$ , en berekende piekveldsterkten,  $E_{c,fs}$  en  $E_{c,mp}$ .  $d$  is de afstand tot de radartoren,  $h$  is de hoogte van de meetantenne.  $E_{c,fs}$  is berekende piekveldsterkte met vrije-veld propagatie,  $E_{c,mp}$  is berekende piekveldsterkte met grondreflectiepropagatie.

$d$ (m)	$h$ (m)	Bundel	$E_m$ (V/m)	$E_{c,fs}$ (V/m)	$E_{c,mp}$ (V/m)
300	2	MRS	35,77	16,1	16,2
		LRS	107,28	52,4	52,8
		BMD	29,14	71,7	72,0
	4	MRS	38,90	26,8	27,9
		LRS	39,63	52,6	54,6
		BMD	36,73	88,6	90,7
710	2	MRS	27,38	42,5	57,8
		LRS	42,95	18,4	22,2
		BMD	15,38	54,2	75,9
	4	MRS	40,46	44,5	39,5
		LRS	61,80	23,1	22,8
		BMD	19,54	54,3	47,5

In deze tabel zijn berekende waarde die lager zijn dan gemeten waarden in een geel veld weergegeven. Op basis van de beschikbare data kan TNO niet vaststellen waardoor de geconstateerde discrepanties worden veroorzaakt. Daarom stelt TNO voor om nader onderzoek uit te voeren naar de modellerings- en meetmethodiek van dergelijke moderne radarsystemen, om de overeenkomsten en discrepanties beter te kunnen begrijpen.

Ten tijde van het schrijven van deze rapportage kan op zijn best geconcludeerd worden dat de toets met de ICNIRP referentiewaarden, die TNO als limietwaarden beschouwd, voor zowel de berekende als de gemeten elektrische veldsterktewaarden voor de SMART-L met een gunstig resultaat kan worden uitgevoerd.



Daarom adviseert TNO om bij de realisatie en het operationaliseren van het SMART-L radarsysteem zowel door middel van metingen als door het uitvoeren van berekeningen tegen de ICNIRP referentiewaarden te toetsen. Indien beide toetsen positief kunnen worden afgerond, kan met een grotere zekerheid worden uitgegaan dat het SMART-L radarsysteem aan ICNIRP voldoet.

# REPORT DOCUMENTATION PAGE

(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL)	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO TNO 2021 R10627
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 060.42151	5. CONTRACT NO	6. REPORT DATE September 2021
7. NUMBER OF PAGES 37 (incl 5 appendices, excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Onderzoek naar veranderingen van het RF-blootstellingsniveau door verhoging SMART-L radarantenne		
11. AUTHOR(S) [REDACTED] [REDACTED]		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO, P.O. Box 96864, 2509 JG Den Haag, The Netherlands Oude Waalsdorperweg 63, Den Haag, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) The effect of increasing the radar antenna height to the electromagnetic exposure level is investigated. It is shown that an increased antenna height is beneficial, however, not everywhere, because of the presence of antenna sidelobes.		
16. DESCRIPTORS	IDENTIFIERS	
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Subject to approval MOD-NL	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd	

# Distributielijst Rapport TNO 2021 R10627

## **Ten behoeve van de distributie binnen Defensie**

*Dynamisch Informatie Beheer, Bestuursstaf (DIB/BS)* cd  
*MPC 58B*

### **DEFENSIE**

DMO/Directie Projecten pdf  
Defensie Projectleider ADSS  
[REDACTED]

DGB/DOBP/S&T-P&P hard copy  
[REDACTED]  
(Ministerie van Defensie)

DMO/Joint IV Commando/C4I&I/ pdf  
Informatie-Beheer/PDB  
(Kromhoutkazerne)

Hoofddirectie Beleid pdf  
Senior beleidsmedewerker  
[REDACTED]

### **TNO**

Referent, Roadmap Directeur email-alert  
[REDACTED]

Projectleider email-alert  
[REDACTED]

Research manager projectleider email-alert  
[REDACTED]

[REDACTED] email-alert  
[REDACTED] email-alert  
[REDACTED] email-alert

TNO Bibliotheek locatie Den Haag hard copy &  
cd