

2017-2018

Onzichtbare vijand

Straling geproduceerd door de radar

Ten einde een conclusie te bepalen of de radarstraling schadelijk is voor de bemanning aan boord van schepen



Auteur: Marcel O.A. Mota

Opleiding: Maritiem Officier

School: HZ University of Applied Sciences

Academie: De Ruyter Academy

Cursus: Afstudeerscriptie

Begeleider: M.C. Meerburg

Datum: 25 oktober 2017

Versie: 1.2

Onzichtbare vijand

Straling geproduceerd door de radar

Auteur: M. Mota

Opleiding: Maritiem Officier

School: HZ University of Applied Sciences

Academie: De Ruyter Academy

Cursus: Afstudeerscriptie

Begeleider: M.C. Meerburg

Datum: 25 oktober 2017

VOORWOORD

Dit rapport bevat gedetailleerde definities, uitleg en adviezen over de radarstraling die aan boord van koopvaardij schepen voorkomt. Dit rapport vormt het eindproduct van de afstudeerstage waarin de praktische metingen en peilingen van de radarstralingen zijn gedaan aan boord van het schip Fwn Bonafide van rederij Forestwave.

In dit voorwoord wil ik in de eerste plaats mijn stagebegeleider M.C. Meerburg van HZ University of Applied Sciences bedanken voor zijn begeleiding en steun. Mijn dank gaat ook uit naar mijn begeleiders met name Kapitein Pieter Cordia en Kapitein Robert van Scheik, voor de hulp en deskundigheid die ze verleend hebben gedurende mijn stageperiode om dit onderzoek uit te kunnen voeren en mijn kennis in dit vakgebied te vergroten.

In de afstudeerperiode van februari tot juli 2017 heb ik veel geleerd en is het mij gelukt om een duidelijke conclusie te trekken met betrekking tot dit onderwerp. Dit thema heeft mij tot het inzicht gebracht hoe uitgebreid en inspirerend deze kwestie is aan boord van koopvaardij schepen.

Wouw, 2017

Marcel O.A. Mota

SAMENVATTING

Het doel van dit onderzoeksrapport is om de gevolgen van de radarstraling op de gezondheid van de bemanning op schepen te onderzoeken. Volgens uitgevoerde studies is het mogelijk dat in bepaalde situaties en omstandigheden de radarstraling nadelig voor de gezondheid van de mens kan zijn. Om hier conclusies te kunnen trekken zijn metingen en peilingen van de radarstralingen aan boord van het schip FWN Bonafide van de rederij Forestwave uitgevoerd.

Voordat analyses van de radarstralingen worden gedaan, is het van belang om basisbegrippen te begrijpen en te onderscheiden. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen twee verschillende radars die in de koopvaardij toegepast worden met name de S-band en de X-band radar. De basiseigenschappen en werking van de scheepsradars worden uitgelegd. Feiten en basisbegrippen van de wetenschap die het elektromagnetische spectrum bestudeert, worden verder in dit rapport behandeld. Instanties en studies die niet-ioniserende straling onderzoeken komen ook aan de orde.

Er wordt hier in dit rapport informatie verstrekt om de negatieve gevolgen van de niet-ioniserende straling te onderzoeken en tegen te gaan. Tot de dag van vandaag zijn er al honderden studies uitgevoerd over dit onderwerp. Op veel punten zijn geen concrete conclusies en/of resultaten maar toch zijn er daarbij tendenties aangetroffen.

Om het doel van dit onderzoek te kunnen behalen volgt hiervoor de hoofdvraag van het onderzoek: *Hoe schadelijk is de straling geproduceerd door de radar voor de bemanning?* Om hier een antwoord op te kunnen geven, zijn er metingen aan boord van het schip Bonafide uitgevoerd en de literatuur over de radarstraling is geanalyseerd. Vervolgens worden gegevens met vorige studies vergeleken waardoor ze tot een conclusie leiden.

ABSTRACT

The aim of this research report is to investigate whether the radiation emitted by the radar onboard of merchant ships into the human body affects human health. Previously studies have concluded that it is possible that under certain circumstances the radar radiation can bring negative effects to human health. On board of the vessel FWN Bonafide measurements and surveys of the radar radiation have been carried out.

Before considering the effects of the radar radiation it is important to understand the basic concepts of radiation. A distinction is made between two different radars used by the merchant navy. The S-band and the X-band radar. The basic operations and characteristics of the ship's radar are explained further in this report. Facts and basic concepts of the science studying the electromagnetic spectrum are discussed in this report. Organizations and studies about the non-ionizing radiation are also analysed.

This report provides information about negative effects of non-ionizing radiation on the human body. Nowadays there are hundreds of studies about the non-ionizing radiation related to human health. Many of those do not have a concrete conclusion and/or results, but most of them have common trends.

There is a main question in order to achieve the objective of this research. The question follows: *How harmful is the radiation produced by the ship's radar to the crew?* To provide an answer to this question measurements and surveys have been carried out on board of the vessel FWN Bonafide. Afterwards the results of these measurements and surveys have been analysed with the information collected before. A comparison with the obtained results and the studies carried out previously is done. As a result it will lead to a conclusion that answers the main and secondary questions of this report.

INHOUD

Voorwoord	1
Samenvatting	2
Abstract	3
1. Inleiding	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Onderzoeksvragen	1
2. Theoretisch kader	2
2.1 Basiswerking van de radar	2
2.2 Scheepsradars	3
2.2.1 Radarbundel	3
2.3 Organisaties	4
2.4 Het elektromagnetische spectrum	5
2.6 Elektromagnetisch veld	7
2.7 Grootheden en eenheden van elektromagnetische velden (Sociaal Europa, 2014)	8
2.8 Frequentie	8
2.9 Elektrische veldsterkte	8
2.10 Magnetische fluxdichtheid & Magnetische veldsterkte	9
2.11 Atomen	10
2.12 Niet-ioniserende en ioniserende straling	11
2.13 Radiofrequente vermogensdichtheid	11
2.14 Specifiek energieabsorptietempo & Specifieke energieabsorptie	12
2.14.1 Het effect van het specifieke energieabsorptietempo	12
2.14.2 Specifieke energieabsorptie	13
2.15 Effecten van de elektromagnetisch straling op de gezondheid van de mens	14
2.16.1 Laagfrequente velden (Sociaal Europa, 2014)	16
Hoogfrequente velden (Sociaal Europa, 2014)	17
2.16 Grenswaarden voor blootstelling	20
3 Methode	23
3.1 Onderzoeksmethode	23
3.2 Analyse	23
3.3 Meetinstrument	24
4.1 Resultaten	25

4.1.1 Metingen aan dek	25
4.1.2 Metingen in de scheepskranen en op gantry crane	26
4.1.3 Metingen aan de wal	27
4.1.4 Metingen op het monkey island	28
4.1.5 Metingen op de brug en brugvleugels	31
4.1.6 Grenswaarden voor blootstelling volgens ICES en ICNIRP	33
5 Discussie	34
6 Conclusie & Aanbevelingen	35
6.1 Conclusie	35
6.2 Aanbevelingen	35
Lijst met afkortingen	37
Bijlagen	39
Bijlage 1 Tabellen van verschillende elektromagnetische velden	39
Bijlage 2 Meetinstrument	41
Bijlage 3 SI-eenheden	42
Bijlage 4 Stralingsniveaus aan dek	43
Bijlage 5 Stralingsniveaus in de scheepskranen en op de gantry crane	44
Bijlage 6 Stralingsniveaus aan de wal	45
Bijlage 7 Stralingsniveaus op het monkey island	46
Bijlage 8 Stralingsniveaus op de brug en op de brugvleugels	48
Bibliografie	49

1. INLEIDING

Door HZ University of Applied Sciences zijn competenties opgesteld voor de opleiding Maritiem Officier die door de student beheerst dienen te worden. Dit afstudeeronderzoek is een afspiegeling van het bewijsmateriaal waaruit naar voren komt dat de onderzoeker over de gestelde competenties beschikt.

1.1 PROBLEEMSTELLING

Tijdens de laatste jaren van de Tweede Wereldoorlog werd de radartechnologie snel ontwikkeld (Rice electronics, 2009). Sinds die tijd wordt deze technologie steeds meer toegepast op de koopvaardij schepen. Tegenwoordig heeft elk schip tenminste een radar. Tijdens het varen staat de radar aan. Het is bekend dat de elektromagnetische straling in bepaalde hoeveelheden schadelijk is voor de gezondheid van de mens (Velde, 2016). Daarom is het van belang om een inzicht te krijgen in hoe schadelijk de radarstraling voor de bemanning is.

1.2 DOELSTELLING

Het doel van dit onderzoek is een inzicht krijgen in hoe schadelijk de geproduceerde radarstraling voor de bemanning is in verschillende omstandigheden met behulp van literatuuronderzoek en een elektromagnetische stralingsmeter. Als er een volledig elektromagnetisch stralingsprofiel van de radar gemaakt is, zal er gekeken worden of er conclusies getrokken kunnen worden. Als er een conclusie getrokken kan worden, dan zal er worden gekeken of er ook aanbevelingen kunnen worden gedaan. Ook wordt er gekeken in welke omstandigheden deze straling het ergste is voor de gezondheid van de zeevarenden.

1.3 ONDERZOEKSVRAGEN

Om dit te onderzoeken is er een hoofdvraag opgesteld. Die luidt als volgt:

Hoe schadelijk is de straling geproduceerd door de radar voor de bemanning?

Bij deze hoofdvraag horen de volgende deelvragen:

- 1. Vanaf welke afstand zijn de stralingen niet meer schadelijk voor de gezondheid van de bemanning?**
- 2. Is de radar schadelijk voor de gezondheid van de bemanning aan boord en aan de wal tijdens het laden en lossen?**
- 3. Is de radar schadelijk voor de gezondheid van de bemanning op de brug tijdens het varen?**

2. THEORETISCH KADER

In dit theoretische kader wordt de theorie behandeld die terugkeert in het daadwerkelijke onderzoeksverslag. Aan de hand van deskresearch in verschillende media zullen zoveel mogelijk informatiebronnen verzameld worden.

Het theoretisch kader is gericht op de toepassing van de theorie op de deelvragen en hoofdvraag van dit onderzoek. In het onderzoeksvoorstel en het onderzoeksverslag wordt alle informatie, die tot de betreffende vragen leidt, gedetailleerd beschreven.

2.1 BASISWERKING VAN DE RADAR

Het basisprincipe van dit systeem bestaat uit korte uitbarstingen van radio-energie (reizen op de snelheid van 299 792 458 m/s) uitgezonden, wordt gereflecteerd en keert daarna terug als een echo (NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY, 2016). Volgens (Wolf, 2016) en (NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY, 2016) wordt er gebruikt gemaakt van het verschijnsel echo. De vorm van het uitgestraalde elektromagnetische signaal is afhankelijk van het type informatie dat gewenst is. De radar zoals ontworpen voor de zeevaart, maakt gebruik van gemoduleerde puls. Dit soort radars bepalen de afstand tot het doel door het meten van de tijd die de extreme korte uitbarsting van radiofrequentie nodig heeft om naar het betreffende object te komen en terug te keren naar de bron als een gereflecteerde echo. Directionele antennes worden gebruikt om de puls uit te zenden en om de echo te ontvangen. Hierdoor is het mogelijk om de richting van het object te bepalen. Een keer dat de afstand en de richting van het object bepaald is (NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY, 2016), kan deze op het beeldscherm aangegeven worden. Er worden twee soorten van radiofrequenties gebruikt in de koopvaardijradarsystemen. De eerste groep ligt in de X-band die overeenkomt met een golflengte van 3cm en een frequentie die tussen 9300 en 9500MHz ligt. De tweede groep ligt in de S-band en deze komt overeen met een golflengte van 10cm en heeft een frequentiebereik van 2900 tot 3100MHZ.

Een fundamentele eis van mariene radar is de directionele verzending en ontvangst van het signaal. Dit wordt mogelijk door een nauwe horizontale balk. Om de radio-energie in deze balk te kunnen verzenden en ontvangen, moet de golflengte een paar centimeter zijn (NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY, 2016).

De radiofrequentie-energie uitgezonden door radars met gemoduleerde puls bestaat uit een reeks van pulsen met onderling gelijke afstand. De uitzendingen van radiofrequentie-energie duurt ongeveer 1 μ s of nog korter maar de tijd tussen twee reeksen van pulsen die uitgezonden worden, is relatief veel langer dan dat (NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY, 2016).

De zendcyclus moet voltooid zijn zodat de radar een bepaald object kan ontvangen. Dit is de reden waarom de verzonden pulsen door een lange tijdsperiode gescheiden moeten worden.

Anders zou het uitgezonden signaal de relatief zwakke echo dempen (NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY, 2016).

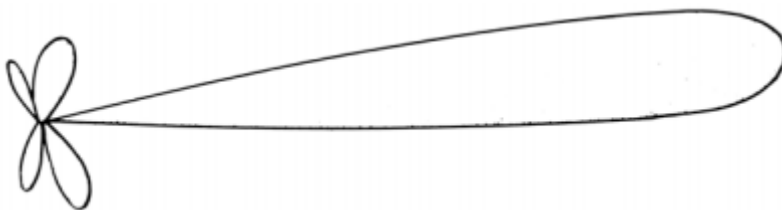
2.2 SCHEEPSRADARS

SOLAS eist dat schepen van meer dan 300gt met een X-band radar uitgerust moeten zijn. Verder wordt ook door deze organisatie vereist dat schepen van meer dan 3000gt met een secundaire S-band radar uitgerust moeten worden (International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974).

Door deze twee hoofdfrequenties, namelijk de X-band en de S-band, wordt een vermogen uitgezonden dat tussen de 1kW en de 60kW varieert. Dit is afhankelijk van de grootte van de radars (Sperry Marine, 2017) en (Furuno, 2017).

2.2.1 RADARBUNDEL

Voor een betere werking van de radar is het van belang dat de horizontale bundelhoek van het uitgezonden signaal zo smal mogelijk is. De verspreiding van de uitgezonden energie is afhankelijk van de breedte van de antenne en de golflengte van het betreffende signaal (Reedijk, 2007). In de volgende figuur wordt het vermogensdiagram van een radarantenne weergegeven.



Figuur 1 Vermogensdiagram van een radarantenne met de horizontale bundelhoek en bijbundels (NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY, 2016).

Volgens (Reedijk, 2007) kan de horizontale bundelhoek van de moderne sleufstraalantennes worden geschat met:

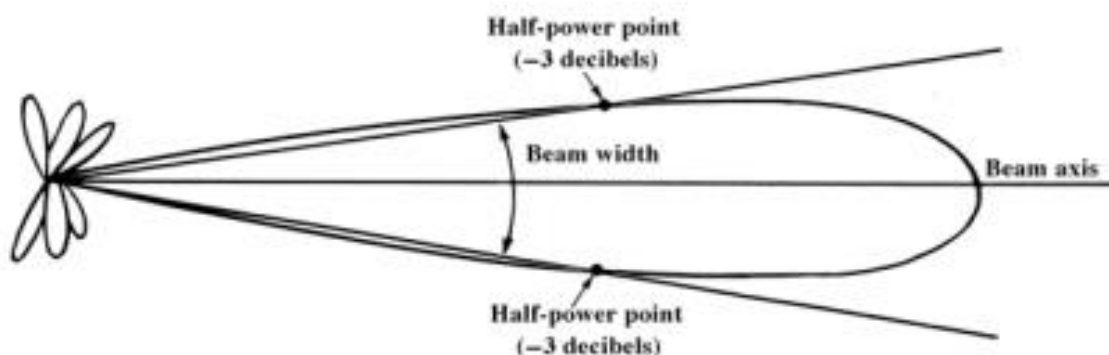
$$\text{bundelhoek} = 70 \frac{\text{Golflengte}}{\text{antennebreedte}}$$

met de golflengte en antennebreedte in meters en de bundelhoek in graden.

In verband met het peilingonderscheidingsvermogen dient de horizontale bundelhoek zo klein mogelijk te zijn. De horizontale bundelhoek van een X-band radar ligt tussen de 0.5° en 1.5° en bij een S-band radar tussen 1.5° en 2.5°. In tegenstelling tot de horizontale bundelhoek dient de verticale bundelhoek zo groot mogelijk te zijn. Anders zou er mogelijk bij het schip

een dode hoek ontstaan. De verticale bundelhoek bij de meeste scheepsradars ligt tussen de 20° en 30°.

Er zijn er twee manieren om de verticale en horizontale bundelhoek te bepalen (NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY, 2016). De meeste gebruikte manier om een bundelhoek te bepalen is als volgt: de hoek tussen twee punten waarop de vermogensintensiteit de helft is geworden ten opzichte van het oorspronkelijke vermogen en de bron van het uitgezonden signaal. Dit wordt weergegeven in figuur 2. De andere manier wordt bepaald door de hoek tussen twee punten waarop de vermogensintensiteit een kwart is geworden ten opzichte van het oorspronkelijke vermogen en de bron van het uitgezonden signaal.



Figuur 2 Bepalingen van de bundelbreedte (NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY, 2016).

2.3 ORGANISATIES

Verder in dit rapport zullen verschillende organisaties die met niet-ioniserende straling te maken hebben behandeld worden. Sommige van deze instanties hebben verschillende punten, perspectieven, resultaten en aanbevelingen. Om betere objectieve informatie te kunnen verzamelen, zal de informatie van deze verschillende instanties met elkaar vergeleken worden.

The World Health Organisation (WHO) is een instantie van de Verenigde Naties die zich met internationale volksgezondheid bezighoudt. Deze organisatie werkt in meer dan 150 landen mee om een betere gezondheid van het volk te bereiken. Ondanks dat The World Health Organisation bezig is met de gezondheid in het algemeen, onderzoekt deze instantie ook de effecten van niet-ioniserende straling op de gezondheid van de mens (World Health Organization, 2017).

De internationale commissie voor bescherming tegen niet-ioniserende straling (ICNIRP) is een onafhankelijke organisatie die regelgeving en aanbevelingen op het gebied van gezondheid en milieu biedt. Niet-ioniserende straling verwijst naar elektromagnetische straling zoals ultravi-

oet-, licht-, infrarood- en radiostraling. De blootstellingslimieten zijn ook vastgesteld door ICNIRP. Richtlijnen en uitspraken ontwikkeld door ICNIRP worden ook door de WHO gebruikt. ICNIRP heeft ook internationale richtlijnen vastgesteld voor de blootstelling van de mens aan elektromagnetische velden in het frequentiegebied van 0 Hz tot 300 GHz (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2017).

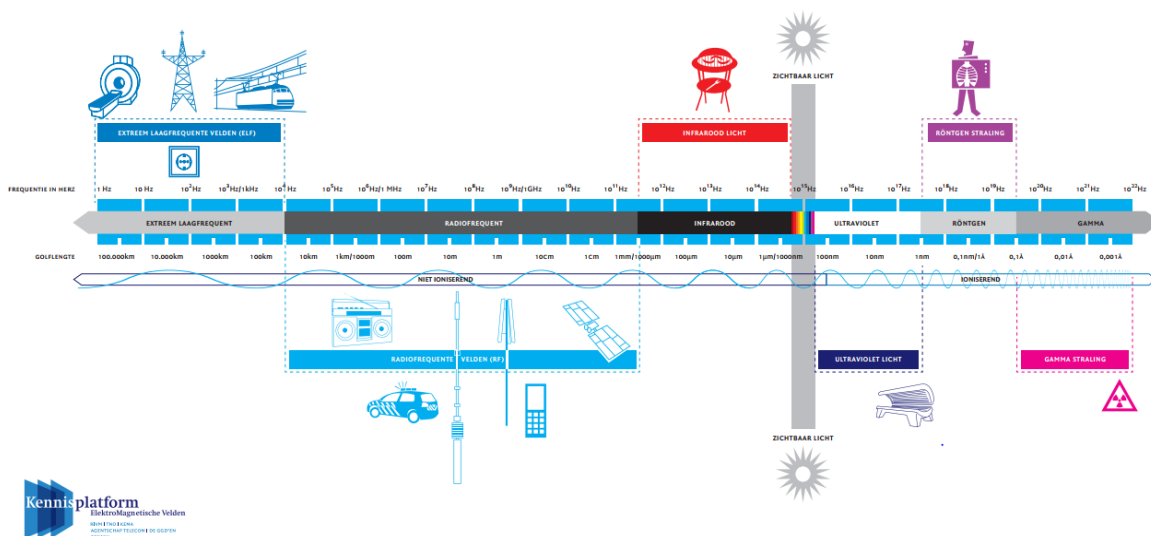
In 2002 heeft the Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA) richtlijnen over radiofrequentievelden tussen de 3KHz tot 300GHz ontwikkeld. Deze richtlijnen bepalen de gezondheidsgrenzen aan blootstelling voor de mens. Deze richtlijnen zijn bedoeld om de verwarmingseffecten die door de radiofrequentie veroorzaakt worden te minimaliseren. Deze normen hebben basisbeperkingen. Deze basisbeperkingen zijn afhankelijk van: soort mens die aan de straling blootgesteld wordt (mensen die beroepsmatig betrokken zijn of algemeen publiek) en de frequentie van de straling (Halgamuge, 2015).

Het Europese parlement en de Raad van de Europese Unie hebben de Richtlijn 2013/35/EU ontwikkeld die de gezondheid en veiligheid in verband met de blootstelling van werknemers aan de risico's van elektromagnetische velden bepaalt. Deze richtlijn heeft betrekking op alle biofysische effecten, direct en indirect, veroorzaakt door elektromagnetische velden. De grenswaarden voor blootstelling vastgesteld in deze richtlijn hebben enkel betrekking op de wetenschappelijk zorgvuldig vastgestelde verbanden tussen directe en indirecte biofysische effecten op korte termijn en blootstelling aan elektromagnetische velden. Verder heeft deze richtlijn geen betrekking op de veronderstelde effecten op lange termijn (Sociaal Europa, 2014)

De Nationale Radiological Protection Board (NRPB) heeft richtlijnen vastgesteld voor de Engelse overheid. Deze richtlijnen bepalen de maximale blootstelling van radiofrequenties opgewekt door mobiele telefoons. Deze richtlijnen zijn begonnen toen de mobiele telefoons in de maatschappij ingevoerd werden. De betreffende richtlijnen zijn gebaseerd op uitgebreide beoordelingen van de wetenschappelijk literatuur die door de NRPB uitgevoerd zijn (Independent Expert Group On Mobile Phones, 2000).

2.4 HET ELEKTROMAGNETISCHE SPECTRUM

Het elektromagnetische spectrum, zoals geïllustreerd in figuur 3, omvat een bereik van alle mogelijke frequenties van de elektromagnetische stralingen. Het spectrum gaat van lage naar hoge frequenties. De elektromagnetische golven in het spectrum zijn: extreemlaagfrequenties, radiogolven, microgolven, infraroodgolven, zichtbaar licht, ultraviolette, röntgenstraling en gammastraling. Hierbij geldt: hoe hoger de frequentie, hoe korter de golflengte, des te meer energie (Info Nu, 2006-2017).



Figuur 3 Elektromagnetisch spectrum (Rijkswaterstaat, 2017).

Het radiofrequentiespectrum is in eerste instantie ingedeeld in radiofrequente velden (RF) en extreem laagfrequente velden (ELF). Deze twee soorten frequenties van het elektromagnetische spectrum zijn ingedeeld afhankelijk van de golflengte of juist door de betreffende frequentie. De golflengte en frequentie zijn afhankelijk van elkaar. Het elektromagnetische spectrum begint met extreemlaagfrequenties waarvan de golflengte varieert tussen 100.000 tot 50 kilometer. Vervolgens komen de radiogolven waarvan de golflengte varieert tussen 50 kilometer en één millimeter. Toch bestaat er tussen deze twee verschillende onderdelen van het radiofrequentiespectrum geen precieze afbakening. In bijlage 1 staan alle RF-stralingen en ELF-stralingen vermeld met hun respectievelijke frequentie (Info Nu, 2006-2017).

In het elektromagnetische spectrum bevindt de infrarode straling tussen zichtbaar licht en radiogolven in. Infrarood heeft een golflengte van 1 mm tot 700 nm. In bijlage 1 is de indeling van de infrarode straling te vinden (Info Nu, 2006-2017).

Zichtbaar licht zit qua golflengte tussen infrarode en ultraviolette straling in. Het spectrum van licht heeft een golflengte tussen 380 nm en 750 nm. De golflengte van het licht zorgt voor de verschillende kleuren waarneembaar door de mens. In bijlage 1 staat de indeling van het zichtbare licht vermeld (Info Nu, 2006-2017).

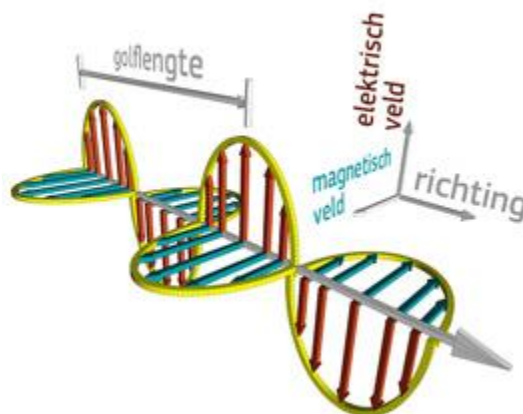
Ultravioletstraling bevindt zich tussen zichtbaar licht en röntgenstraling in. Deze straling heeft een golflengte tussen 150nm en 450nm. In dit deel van het elektromagnetische spectrum bevindt zich de grens tussen niet-ioniserende straling en ioniserende straling. Dit wordt verder in dit rapport uitgelegd. Ook bij de ultravioletstraling is er een indeling gemaakt. In bijlage 1 wordt in verschillende categorieën de ultraviolette straling weergegeven afhankelijk van de golflengte. (Info Nu, 2006-2017).

Röntgenstraling is een onderdeel van het elektromagnetische spectrum en het zit tussen ultraviolette straling en gammastraling in. De golflengte van dit soort straling zit tussen 0.01nm en 10nm (Info Nu, 2006-2017).

Gammastraling heeft de hoogste frequentie van alle straling in het elektromagnetische spectrum. De golflengte van deze straling zit tussen 3×10^{-2} nm en 3×10^{-4} nm aldus (Info Nu, 2006-2017).

2.6 ELEKTROMAGNETISCH VELD

Een elektromagnetisch veld bestaat uit elektrische en magnetische golven (Rijkwaterstaat, 2017) en (Encyclopaedia Britannica, 2014). Deze twee golven trillen op elkaar in een rechtehoek. Elektrische lading wekt elektrische golven op. Als de elektrische lading in beweging komt, ontstaan er magnetische golven. Een elektrische golf die in beweging komt, veroorzaakt altijd een magnetische golf en omgekeerd ook. Er ontstaat dus een elektromagnetisch veld door de wisselwerking tussen deze twee soorten golven.



Figuur 4 Elektromagnetisch veld (Sociaal Europa, 2014).

De kracht van een elektromagnetisch veld (veldsterkte) wordt in twee eenheden bepaald. De kracht van het elektrische veld wordt in V/m uitgedrukt en de kracht van het magnetisch veld in A/m. Dit wordt verder in dit verslag uitgelegd. Meestal wordt de veldsterkte van een radio-sigitaal in het radiofrequentiespectrum uitgedrukt in V/m. Het product van deze twee velden wordt beschouwd als de vermogensdichtheid en die wordt uitgedrukt in V/m^2 (Rijkwaterstaat, 2017) en (Vlijmen, 2000).

Hoe verder weg een punt zich van de bron zich bevindt, hoe zwakker de veldsterkte in dat punt wordt. De veldsterkte zakt lineair af terwijl de vermogensdichtheid met de afstand kwadratisch afneemt (Rijkwaterstaat, 2017).

2.7 GROOTHEDEN EN EENHEDEN VAN ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN (Sociaal Europa, 2014)

De frequentie en de intensiteit van het elektromagnetisch veld zijn de hoofdzaken die de risico's van de velden bepalen. Het veld moet vastgesteld worden in termen van natuurkundige grootheden bepaald worden om het gevaar van het elektromagnetische veld te vast te stellen. De grootheden en de eenheden gebruikt bij het meten van magnetische velden worden verder in dit verslag beschreven.

Elektromagnetische velden worden op verschillende manieren in grootheden uitgedrukt. Dat gebeurt vooral op de displays van meetinstrumenten. Een verbeterd of goed gebruik van de verstrekte informatie ontstaat bij een verbeterde betrouwbaarheid van de verschillende eenheden en grootheden. De tabel met SI-eenheden bevindt zich in bijlage 3.

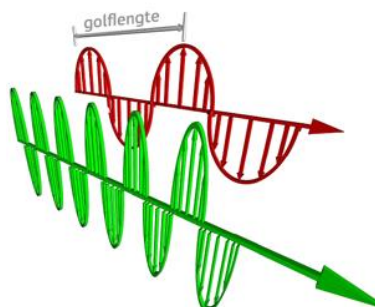
2.8 FREQUENTIE

Elektromagnetische velden ontwikkelen golven die zich in de ruimte voorplanten. De golven of trillingen verplaatsen zich met de snelheid van het licht. De frequentie van een elektromagnetisch veld geeft aan hoe vaak de plekken van de elektromagnetische golven per seconde door een gegeven punt gaan. De frequentie wordt uitgedrukt in Hz. Deze grootheid is het aantal trillingen per seconde (Rijkwaterstaat, 2017) en (Telecom ABC, 2005).

Verder wordt beschreven dat de eerdere vermelde frequenties door hun golflengte(λ) gekarakteriseerd kunnen worden (Rijkwaterstaat, 2017) en (TU Delft, 2012-2013). Deze golflengte is de afstand tussen twee maxima van een golf. Een hoge frequentie betekent ook een hoge energie. Frequentie kan als volgt berekend worden:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

- f =Frequentie (Hz)
- c = Lichtsnelheid is in een vacuüm (299.792.458 m/s)
- λ = Golflengte (m)



Figuur 5 Frequentie (Sociaal Europa, 2014).

2.9 ELEKTRISCHE VELDSTERKTE

De vectorkracht (F) die op een geladen deeltje (q) in een elektrisch veld uitgeoefend wordt, is de elektrische veldsterkte (E) op dat bepaalde punt (Group SLAC, 2013) en (Sociaal Europa, 2014). In formulevorm kan deze situatie als volgt worden weergegeven:

$$E = F/q$$

De mate van elektrische veldsterkte wordt uitgedrukt in V/m. De vectorgrootte bepaalt de mate van zowel de kracht als de richting van het elektrische veld (Sociaal Europa, 2014). “De elektrische veldsterkte van het elektrisch veld is te vergelijken met de helling van een heuvel. Hoe groter de helling, hoe sterker de kracht die ervoor zorgt dat voorwerpen van de heuvel af rollen. Voor een elektrisch veld geldt: hoe groter de elektrische veldsterkte, hoe groter de kracht op een geladen deeltje.” (Sociaal Europa, 2014) (pp. 105).

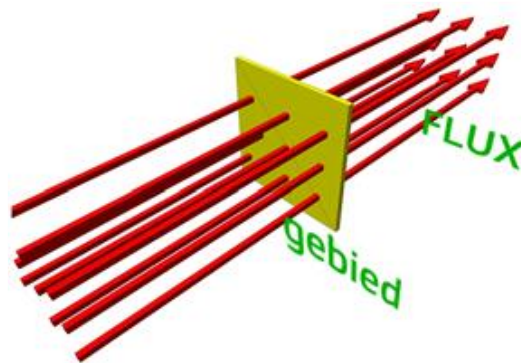
2.10 MAGNETISCHE FLUXDICHTHEID & MAGNETISCHE VELDSTERKTE

Er wordt ook beweerd dat de magnetische fluxdichtheid (B) wordt gebruikt als maat voor de magnetische flux (Φ) die door een bepaald gebied gaat (A). De grootte van de magnetische fluxdichtheid wordt bepaald door de kwantiteit veldlijnen die door een bepaalde oppervlakte heen gaat. Dus hoe meer magnetische fluxdichtheid door een bewegende lading gaat, hoe meer inwerkende kracht deze lading opneemt. De magnetische flux (uitgedrukt in Weber (Wb)) is een maat voor een scalaire grootte die rekening houdt met de sterkte en omvang van een magnetisch veld. De magnetische fluxdichtheid wordt uitgedrukt in de eenheid tesla (T). Figuur 6 geeft de magnetische flux aan die door een bepaald gebied heen gaat (Group SLAC, 2013) en (Emeritus, Electrical Machines, Drives, and Power Systems).

De waarde van magnetische fluxdichtheid is te bepalen met onderstaande formule:

$$B = \Phi/A$$

- B= Magnetische fluxdichtheid (T)
- Φ = Magnetische flux (Wb)
- A= Oppervlakte (m^2)



Figuur 6 Magnetische fluxdichtheid (Sociaal Europa, 2014)

De magnetische veldsterkte, zoals de magnetische fluxdichtheid, is een maat voor de sterkte van een magnetisch veld (Sociaal Europa, 2014). De magnetische flux wordt alleen in een lichaam opgenomen als het veld een magnetische kracht heeft (Emeritus, Electrical Machines, Drives, and Power Systems). Dus een magnetische veldsterkte. De magnetische veldsterkte wordt uitgedrukt in (A/m) en weergegeven als de letter H. Magnetische veldsterkte kan als volgt berekend worden;

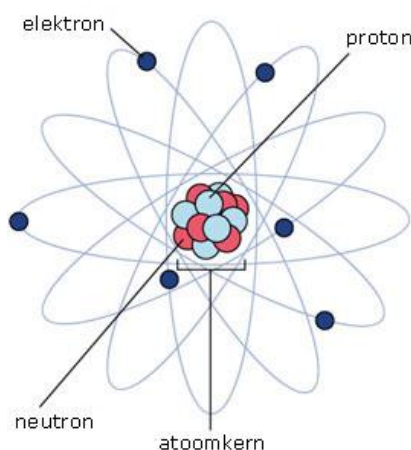
$$H=A/l$$

- H= Elektromagnetische veldsterkte (A/m)
- A= Magnetische kracht (A)
- l= Lengte het deel (m)

Magnetische fluxdichtheid wordt gebruikt om de sterkte van een magnetisch veld van extreem laagfrequenties (ELF) te bepalen, terwijl magnetische veldsterkte voor de radiofrequentie (RF) staat (Group SLAC, 2013).

2.11 ATOMEN

Een atoom bestaat uit protonen en neutronen in een kern. Deze kern wordt beschouwd als de nucleonen. De neutronen hebben een neutrale energie, dus zijn ze ongeladen. De protonen hebben een positieve lading. Omdat de som van lading in een atoom nul moet zijn, moeten er nog deeltjes zijn met een negatieve lading. Dit worden aangeduid met elektronen. De elektronen hebben een baan om de kern. Protonen en neutronen hebben een massa veel malen groter dan elektronen. Toch heeft een proton net zoveel lading als een elektron maar wel tegengesteld. De lading van een proton is gelijk aan $+1.6 \times 10^{-9}$ coulombs en de lading van een elektron is gelijk aan -1.6×10^{-9} coulombs (Info Nu, 2006-2017) en (Aljevragen, 2000-2017).



Figuur 7 Atoom (Aljevragen, 2000-2017)

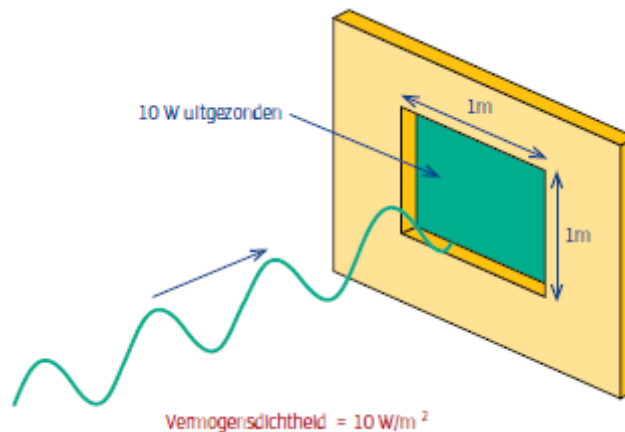
2.12 NIET-IONISERENDE EN IONISERENDE STRALING

Ionisatie is het proces waarbij een atoom een elektron kwijtraakt. Doordat het atoom verandert in een ion. Als gevolg van dit proces wordt een atoom geïoniseerd. Om een elektron kwijt te raken, is er energie nodig. Afhankelijk van de soort van het atoom is er meer of juist minder energie om het elektron kwijt te raken. Een elektron met een kortere afstand tot de kern ontsnapt moeilijker dan een elektron met een grotere afstand tot de kern. De oorzaak van daar is dat een elektron bij de kern sterker wordt aangetrokken door protonen. (Info Nu, 2006-2017) en (Sterrenkunde, sd).

Alle soorten stralingen met een frequentie hoger dan 3280THz (ultraviolettestraling) worden ioniserende stralingen genoemd. Alle andere stralingen onder de deze frequentie, zoals een deel van de ultravioletstraling, zichtbare licht, infrarode golven, microgolven en radiogolven, worden dus beschouwd als niet-ioniserende straling (Vitaal Water van Aqua Aurora, sd) en (Info Nu, 2006-2017).

2.13 RADIOFREQUENTE VERMOGENSDICHTHEID

In de literatuur wordt gebruik gemaakt van radiofrequente vermogensdichtheid (S). Dit om verschillende maximale toelaatbare blootstellingen (MTB) met elkaar te kunnen vergelijken. Hoewel deze vergelijking meestal met elektrische en magnetische veldsterkte wordt gemaakt. MTB wordt in dit rapport ook als grenswaarde voor blootstelling behandeld. Vermogensdichtheid wordt gedefinieerd als het vermogen, gemeten in watt, loodrecht vallend op een oppervlak, gemeten in vierkante meter. Het wordt uitgedrukt in watt per vierkante meter in W/m^2 . Vermogensdichtheid kan ook worden gemiddeld over een tijdsperiode die afhankelijk is van de frequentie van de straling (International Committee on Electromagnetic Safety, 2006) en (Group SLAC, 2013).



Figuur 8 Radio vermogensdichtheid (Sociaal Europa, 2014)

2.14 SPECIFIEK ENERGIEABSORPTIETEMPO & SPECIFIEKE ENERGIEABSORPTIE

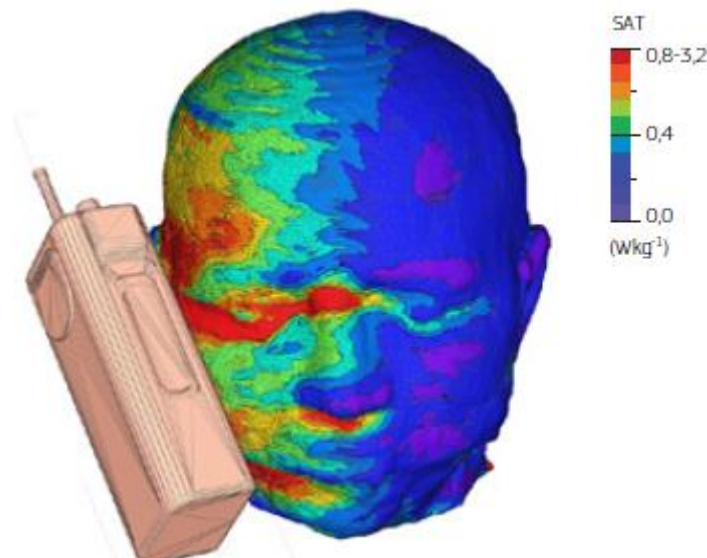
Het specifieke energieabsorptietempo (SAT) is de snelheid waarin een massa-eenheid weefsel in een lichaam energie van elektromagnetische straling opneemt. De snelheid van energieabsorptie is verbonden met de intensiteit van het EMV. Het specifieke energieabsorptietempo wordt uitgedrukt in W/kg (Sociaal Europa, 2014) en (International Committee on Electromagnetic Safety, 2006).

De specifieke energieabsorptie (SA) is de energie die wordt geabsorbeerd per massa-eenheid biologisch weefsel. Zij wordt uitgedrukt in joule per kilogram (J/kg). Deze grootheid wordt gebruikt om de grenswaarde voor blootstelling vast te stellen (Sociaal Europa, 2014) en (International Committee on Electromagnetic Safety, 2006).

2.14.1 HET EFFECT VAN HET SPECIFIEKE ENERGIEABSORPTIETEMPO

Het specifieke energieabsorptietempo is nuttig om verhogingen van de kernlichaamstemperatuur te bepalen. Dit wordt gebruikt om de mate van blootstelling aan radiofrequentievelden van het hele lichaam of juist alleen een deel daarvan te bepalen. Daarnaast blijkt dat het specifieke energieabsorptietempo bij ICNIRP en ARPANSA kan worden gebruikt om blootstellingsgrenzen vast te stellen. De kans tot opwarming van weefsel en dus schadelijke gezondheidseffecten neemt toe naarmate het SAT hoger is. Het gemiddelde SAT voor het hele lichaam van een persoon is meestal het hoogst bij de resonantiefrequentie van het lichaam van deze persoon. De resonantiefrequentie is afhankelijk van de omvang en vorm van het lichaam van de betreffende persoon en van de oriëntatie ervan ten opzichte van het invallende elektromagnetische veld. Voor een persoon met een lengte van 1.80m en een gewicht van circa 80Kg gemiddeld treedt de resonantie op bij rond 65 MHz wanneer deze persoon is geïsoleerd van elektrische aarding en het invallende veld verticaal is gepolariseerd. Een lineair gepolari-

seerd frequentieveld bestaat uit frequenties of golven die maar in één richting vibreren. Wanneer de absorptie van het invallende elektromagnetische veld ontstaat in een deel of klein gebied van het lichaam, is een plaatselijk SAT van toepassing. Een voorbeeld daarvan is wanneer het hoofd aan een walkietalkie blootgesteld wordt. Dit wordt in figuur 9 weergegeven. Het plaatselijke SAT wordt gemiddeld over 10 g aaneengesloten of verbonden weefsel in het lichaam. Het SAT voor 10 g aaneengesloten weefsel is een meer nauwkeurige weergave van plaatselijke energieabsorptie en een betere meting van SAT-verdeling in het lichaam. Wanneer de weefsels in het lichaam energie van een uitgezonden veld absorberen, hebben de weefsels tijd nodig om thermisch evenwicht te bereiken. Daarom worden zowel SAT's voor het hele lichaam als plaatselijke SAT's gemiddeld over een specifieke tijdsperiode (zes minuten). De grenswaarden voor blootstelling van elektromagnetische velden van 100 kHz tot 6 GHz zijn uitgedrukt in termen van SAT voor het gehele lichaam en lokale SAT's (Sociaal Europa, 2014) en (International Committee on Electromagnetic Safety, 2006).



Figuur 9 De verspreiding van het SAT in het hoofd bij blootstelling aan 380MHz walkietalkie (Sociaal Europa, 2014)

2.14.2 SPECIFIEKE ENERGIEABSORPTIE

De grootte van specifieke energieabsorptie wordt door de richtlijnen van het Europese parlement en de Raad van de Europese Unie en door de ICNIRP gehanteerd om grenzen aan te geven voor de effecten van gepulste microgolfstraling. Deze grenswaarden voor blootstelling voor effecten op de zintuigen hebben te maken met het vermijden van effecten op het gehoor die veroorzaakt worden door blootstellingen van het hoofd aan gepulseerde microgolven. Deze grenswaarden voor blootstelling worden in de betreffende richtlijnen tussen een bereik van 300MHz en 6GHz weergegeven. De term die hier in aanmerking komt, is de plaatselijke specifieke energieabsorptie per 10 g weefsel (Sociaal Europa, 2014).

2.15 EFFECTEN VAN DE ELEKTROMAGNETISCH STRALING OP DE GEZONDHEID VAN DE MENS

De effecten van de radiofrequenties op een levend organisme werden door verschillende instanties, zoals IEEE, WHO, ICNIRP, Royal Society of Canada en IEGMP geanalyseerd en beoordeeld. Deze studies, waarop deze verschillende instanties zich baseren, zijn vastgesteld naar de gezondheids- en biologische effecten bij de mens en andere organismen en effecten op het cellulaire niveau. Met behulp van dosimetrie werden in de onderzoeksrapporten verschillende blootstellingstoestanden geanalyseerd. De variabelen van de studies waren de modulatie en intensiteit van de radiofrequenties. Veel van deze studies hebben testen op vitro¹, vivo² en op mensen uitgevoerd. Door een vitro-onderzoek is het moeilijk te bepalen welke effecten de radiofrequenties veroorzaken op de gezondheid van de mens. Er zijn ook studies uitgevoerd bij dieren. Deze studies besteden aandacht aan onderwerpen zoals genetica, kanker, immuunsysteem en zenuwstelsel. Toch zijn de resultaten van deze studies niet direct met de mens vergelijkbaar. De fysiologie en de manier waarop de radiofrequentie-energie in het lichaam verdeeld wordt, verschilt tussen mens en dier. Er zijn specifieke effecten waargenomen bij dieren en bij vitro-studies die moeilijk met de mens vergeleken kunnen worden. Het onderzoek aan potentiële nadelige gezondheidseffecten bij de mens gebeurt door het uitvoeren van een onderzoek direct op proefpersonen. Het uitvoeren van een onderzoek direct op proefpersonen kan de afwijking van de andere studies onthullen (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, 2002).

De epidemiologische studies geven geen duidelijke resultaten qua effecten van de radiofrequenties op de gezondheid van de mens (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, 2002). Er zijn verschillende gevallen onderzocht. Daarbij viel op dat radiofrequentie verschillende soorten kanker in de mens kan veroorzaken. Maar omdat de uitkomsten van de studies onregelmatig zijn, is het niet mogelijk om concrete conclusies te trekken (Elwood, 1999). Deze theorie werd ook door anderen bewezen (Hardell, 2000) (Inskip, 2001) (Muscat, 2000). Daarnaast werd een onderzoek uitgevoerd dat aantoonde dat radiofrequentie het risico voor oculair melanoom verhoogt (Stang, 2001). Een ander onderzoek uitgevoerd over slaapproblemen was moeilijk te interpreteren (Altpeter, 1995). Dit vanwege de subjectieve aard en kans op recall bias³ van de studie. Maar er bestaat een theorie dat radiofrequenties slaapproblemen veroorzaken. Een andere studie beweert dat de bloeddruk toeneemt nadat een persoon blootgesteld wordt aan dezelfde straling, opgewekt door een mobiele telefoon (Braune, 1998).

¹ Vitro is een studie die experimentele waarnemingen van geïsoleerde cellen en/of weefselmonsters uitvoert.

² Vivo is een studie die experimentele waarnemingen van dieren en/of mensen uitvoert.

³ Verstoring van de resultaten omdat patiënten zich bepaalde zaken anders herinneren dan de manier waarop ze in werkelijkheid gebeurd zijn.

Twee studies beweren dat radiofrequentie de vruchtbaarheid bij ratten vermindert. Een van deze studies is uitgevoerd door (Magras, 1997) die met de banden VHF en UHF werkte. De andere studie uitgevoerd door (Brown-Woodman, 1989) werkte met een frequentie van 27MHz. Maar daartegen over beweert (Jensh, 1997) dat vergelijkbare experimenten uitgevoerd met microgolven incoherente uitslagen geven. Dit omdat in het onderzoek geen significante toename van het voortplantingsrisico werd aangetroffen.

(Elekes, 1996) heeft een onderzoek verricht met muizen die blootgesteld werden aan microgolven met amplitudemodulatie. Daaruit concludeerde hij dat muizen meer antilichamen produceren wanneer de microgolfstralingen een SAT van ongeveer 0.14W/Kg hadden. Dit werd in de milt van de muizen en alleen bij de mannetjes geconstateerd. Ook bij vergelijkbare experimenten is verbetering in de immuunsystemen van de muizen aangetroffen (Fesenko, 1999) en (Novoselova, 1999). Dit gebeurde ook wanneer de muizen blootgesteld werden aan zulke stralingen. Maar daarentegen wordt beweerd dat geen coherente verbetering ontstaat wanneer muizen blootgesteld worden aan microgolven met amplitudemodulatie (Jauchem, 1998) .

Experimenten in verband met radiofrequente elektromagnetische velden zijn -zoals eerder vermeld- bij dieren maar ook bij primaten uitgevoerd. Deze studies beweren ook dat de weefseltemperatuur meer dan een 1 ° C op kan lopen. Dit gebeurt als van een persoon zijn hele lichaam blootgesteld wordt of juist alleen maar bij geredelijke blootstelling. Volgens deze studies kan de toename van de lichaamstemperatuur mogelijke cataract⁴ veroorzaken. Cataracten en ook andere oogirritaties zijn meestal gemeld door werknemers die blootgesteld werden aan hoge radiofrequentie- en microgolvenstraling. Maar er zijn ook dierstudies die het hier niet mee eens zijn. Maar ze beweren dat dergelijke vormen van oogschade niet door een toename in de lichaamstemperatuur ontstaat (World Health Organization, 2017).

De aard van een reactie op blootstelling aan een elektromagnetisch veld hangt vooral af van de frequentie van het betreffende veld. Dit komt omdat het lichaam op verschillende frequenties anders gaat reageren, met als gevolg dat de effecten van laagfrequente velden niet dezelfde zijn als de effecten van hoogfrequente. Laagfrequente velden veroorzaken stimulatie van zenuwen en spieren, terwijl hoogfrequente opwarming veroorzaken (Sociaal Europa, 2014). Vanuit een rapport blijkt dat niet-ioniserende straling meestal alleen warmte in de weefsels veroorzaakt (Lumpur, 2003). De kans daarop enkel aan het lichaam is afhankelijk van twee hoofdzaken: de capaciteit van de straling om in een biologisch organisme door te dringen en de soort weefsels in het deel van een lichaam.

De aard van een reactie op blootstelling aan een elektromagnetisch veld hangt hoofdzakelijk af van de frequentie van dat veld (Sociaal Europa, 2014), (International Committee on

⁴ Cataract is een oogprobleem dat voor heel wat ongemak kan zorgen. Je ooglenzen gaan geleidelijk aan vertroebelen en je zicht kan er mistig door worden.

Electromagnetic Safety, 2006) en (Lumpur, 2003). Daardoor gaan verschillende frequenties op verschillende manieren het lichaam beïnvloeden. Daarom zullen laagfrequente velden andere effecten aan een lichaam veroorzaken dan hoogfrequente. De volgende tabel bestaat uit een samenvatting van relevante gezondheidseffecten en effecten op de zintuigen die worden gebruikt om blootstellingen in verschillende frequentiegebieden te beperken. Deze waarden zijn terug te voeren op aanbevelingen van ICNIRP.

Tabel 1 Elektromagnetische velden indeling (Sociaal Europa, 2014)

Veld en frequentie	Effecten op de zintuigen	Gezondheidseffecten
Statisch magnetisch veld 0-1 Hz	Duizeligheid, misselijkheid, metaalachtige smaak	Gewijzigde bloeddoorstroming in ledematen, gewijzigde hersenwerking Gewijzigde hartwerking
Laagfrequente velden 1 Hz-10 MHz	Fosfenen (waargenomen als lichtflitsen) (Kleine wijziging in hersenwerking 1-400 Hz)	Tintelende gewaarwording of pijn (stimulatie van zenuw) Spiertrekkingen Verstoord hartritme
Hoogfrequente velden 100 kHz-6 GHz	Effecten van microgolven op het gehoor (200 MHz-6,5 GHz)	Overmatige opwarming of brandwonden op het hele lichaam of plaatselijk
Hoogfrequente velden 6-300 GHz		Plaatselijke warmteschade aan ogen of huid

NB: De effecten van middenfrequente velden (100 kHz-10 MHz) zijn een combinatie van de effecten van laagfrequente velden en hoogfrequente velden.

2.16.1 LAAGFREQUENTE VELDEN (Sociaal Europa, 2014)

Het menselijk lichaam kan bij hoge frequenties beschouwd worden als een niet-perfecte geleidende antenne. Elektrische velden en stromen worden in de weefsels van het lichaam geïnduceerd. Als het lichaam op een grondvlak staat, gaat de geïnduceerde stroom door het lichaam naar de grond. Deze geïnduceerde elektrische velden en stromen geven aanleiding tot thermische effecten in de weefsels van het lichaam.

Het menselijk lichaam heeft een natuurlijke resonantiefrequentie die overeenkomt met een deel van de frequenties in deze sector. Radiofrequente elektromagnetische velden worden meer doeltreffend geabsorbeerd als het object in resonantie komt te liggen. Bij frequenties die kleiner zijn dan 1MHz absorbeert het lichaam van de mens zeer weinig RF-energie. Een meer doeltreffende absorptie van het elektromagnetische veld door het menselijke lichaam treedt op bij een frequentie tussen 60MHz en 80MHz als het lichaam geïsoleerd is. Wanneer het lichaam verbonden is met de aarde, gaat er bij de frequentie tussen 30MHz en 40MHz resonantie optreden. Opwarming bij hogere frequenties is meestal meer geconcentreerd op

het oppervlak van het lichaam, naarmate de doordringingsdiepte van het invallende veld afneemt.

HOOGFREQUENTE VELDEN (Sociaal Europa, 2014)

Velden met frequenties boven 100KHz tot 300GHz veroorzaken opwarming aan blootgestelde mensen door de absorptie van energie. Daardoor kan de eerste indicatie van blootstelling aan zulke frequenties het gevoel van een hogere temperatuur zijn, wanneer een persoon of delen van zijn lichaam door de straling wordt of worden opgewarmd. Gepulste velden tussen 300kHz en 6 GHz kunnen ook door de mens gehoord worden.

Zoals eerder vermeld kan langdurige blootstelling van het hele lichaam leiden tot een toename van de lichaamstemperatuur. Een toename van de temperatuur met enkele graden kan mentale verwardheid, vermoeidheid, hoofdpijn en andere symptomen van warmtestress veroorzaken. Dit effect van temperatuurstijging kan groter zijn als de persoon fysieke belasting ondervindt. Andere variabelen van deze symptomen zijn de fysieke toestand van de persoon en de kleding van het individu.

Mensen die een te hoge blootstelling hebben ondergaan, kunnen symptomen zoals hoofdpijn, darmproblemen, lethargie en het gevoel van speldenprikken in de blootgestelde weefsels hebben. Stress kan ook een effect zijn van blootstelling aan hoogfrequente velden.

Plaatselijke blootstelling van het lichaam kan plaatselijke reacties veroorzaken. Deze kunnen ontstaan bij spieren, interne organen en op de huid. Interne verwondingen kunnen ontstaan zonder zichtbare brandwonden op de huid. Door een kortstondige temperatuurstijging ontstaat in de meeste weefsels geen schade. Maar wanneer de temperatuur gedurende langer dan 30 minuten tot 41 °C of meer oploopt, is er een grotere kans op schade.

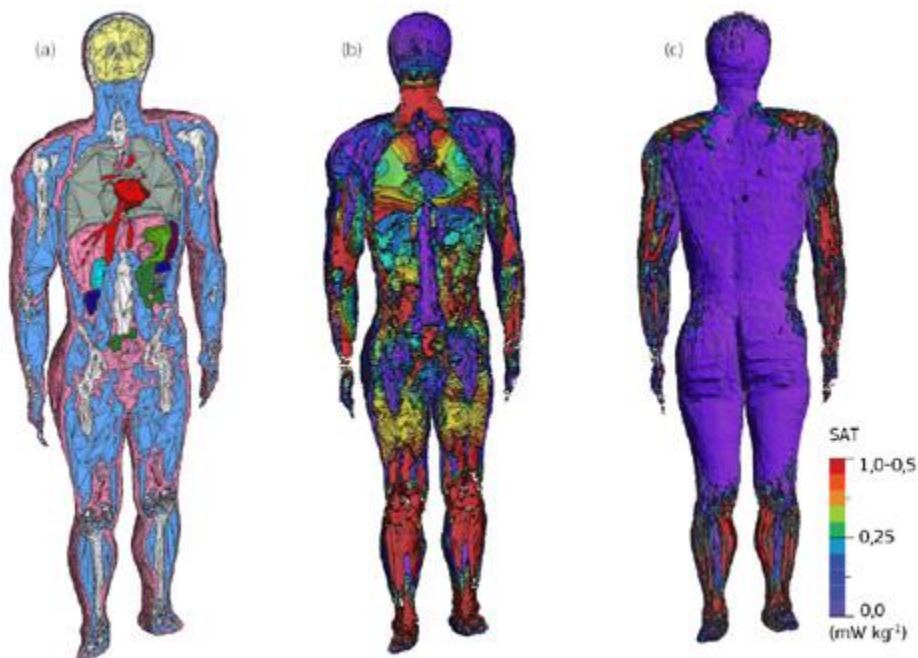
Opwarming opgewekt door zulke straling kan bij vrouwen het risico op een miskraam vroeg in de zwangerschap verhogen en bij mannen een tijdelijke daling van de spermaconcentratie veroorzaken.

Het oog is gevoelig voor warmte. Een blootstelling hoger dan de grenswaarden voor blootstelling kan leiden tot verbranding van de harde oogrok, de iris of het bindvlies. Symptomen kunnen onder andere zijn: roodheid, pijn in de ogen, gevoeligheid voor licht en vernauwing van de pupillen. Staar (vertroebeling van de lens) of zoals eerder vermeld “cataract”, is een ongevoelbaar effect veroorzaakt door blootstelling aan zulke hoge straling. Toch kan dit pas weken of maanden na de blootstelling ontstaan.

Voor velden met een frequentie van ongeveer 6GHz en hoger wordt energieabsorptie steeds meer oppervlakkig. Zulke velden worden door het hoornvlies van het oog geabsorbeerd.

Blootstellingen hoger dan de grenswaarden voor blootstellingen veroorzaken brandwonden. Dit kan gebeuren als de huid genoeg energie van deze hoogfrequente velden absorbeert.

Gezien het feit dat het SAT nauw verbonden is met de temperatuurstijging van de weefsels, wordt die aanduiding als eenheid gebruikt. De volgende figuur toont aan hoe het SAT dat in het menselijk lichaam verspreid wordt wanneer dat wordt blootgesteld aan een hoogfrequent elektromagnetisch veld. In de volgende figuur zijn drie verschillende lichamen te zien. De interne organen in het lichaam worden door lichaam a weergegeven. Het SAT opgewekt in weefsels bij blootstelling aan een elektromagnetisch veld van 40MHz wordt door lichaam b geïllustreerd. Door lichaam c wordt het SAT weergegeven, opgewekt in weefsels bij blootstelling aan een elektromagnetisch veld van 2GHz.



Figuur 10 Verspreiding van de straling door het lichaam (Sociaal Europa, 2014)

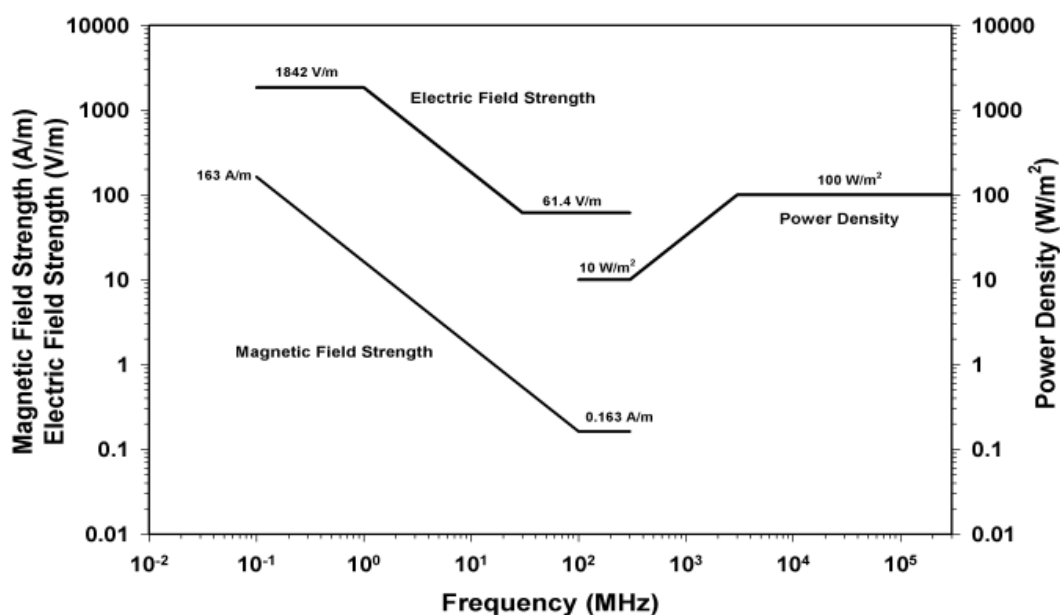
In de figuur is te zien dat naarmate dat de frequentie hoger wordt (2GHz), de straling op een meer oppervlakkig niveau blijft. De interne dosisgrootheden (elektrische velden en SAT) die worden gebruikt om de grenswaarden voor blootstelling te bepalen, zijn niet nauwkeurig aanzien veldsterktes in het menselijk lichaam niet op niet-invasieve wijze kunnen worden gemeten. De dosisgrootheden van grenswaarden voor blootstelling werden bij dieren bepaald; de gegevens kunnen evenwel beperkt zijn en de nauwkeurigheid van deze metingen is relatief zwak. Verder wijkt de fysiologie van dieren ten opzichte van de mens af, waardoor de metingen nog onnauwkeuriger worden. Dus de dosisgrootheden van grenswaarden voor blootstelling zijn slechts benaderingen.

Elektrische schokken kunnen ontstaan als een persoon in aanraking komt met een niet-geaard voorwerp. Zulke effecten kunnen ontstaan wanneer een niet-geaarde werknemer met een geaard metalen voorwerp in aanraking komt. Elektrische schokken kunnen oppervlakkig zijn of diep in het lichaam doordringen. Plaatselijk opwarming en brandwonden kunnen o.a. ontstaan bij tandvulling, lichaamspiercings en sommige pigmenten voor tatoeages.

2.16 GRENSWAARDEN VOOR BLOOTSTELLING

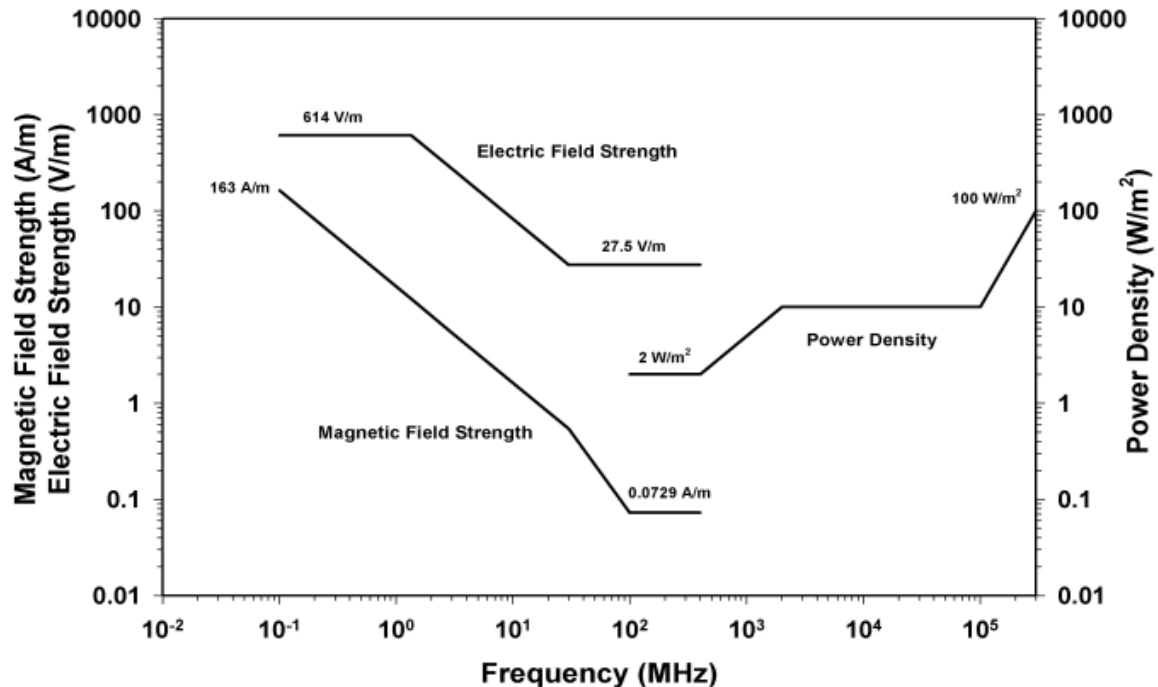
Grenswaarden geven dosisgrootheden aan binnen het lichaam die bedoeld zijn om het te beschermen tegen schadelijke gezondheidseffecten door blootstelling van het menselijke lichaam aan elektromagnetische velden. Deze dosisgrootheden zijn afhankelijk van de frequentie van het betreffende elektromagnetische veld (Sociaal Europa, 2014). Volgens de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek varieert wereldwijd het maximaal aanvaardbare stralingsniveau van 1 W/m² tot 0,01 W/m² bij frequenties tussen 10MHz en 300GHz (NWO Utrecht, sd) . Dit komt omdat er niet genoeg studies over de effecten van EMV op de gezondheid van de mens uitgevoerd zijn. Het gevolg hiervan is dat er geen vaste standards bepaald kunnen worden voor de blootstelling van de mens aan EMV (International Commission on non-ionizing Radiation Protection, 1998).

De ICES heeft twee verschillende grenswaarden voor blootstellingen ingesteld. De hoogste grenswaarden voor blootstelling zijn bedoeld voor mensen die zich in een omgeving van gecontroleerde straling bevinden. Ook dit is aan veiligheidsmarges gebonden en voor deze grenswaarden voor blootstelling is er geen wetenschappelijke bewijs dat dit schade aan de gezondheid van de mens toebrengt. De laagste grenswaarden zijn bedoeld voor het algemene publiek. Deze laatste grenswaarden zijn voor iedereen van toepassing, met uitzondering van mensen die gevoelig zijn voor radiofrequenties. Zoals patiënten die een procedure voor medische diagnose of behandeling ondergaan. Bij figuur 11 wordt de hoogste grenswaarde voor blootstelling aangegeven zoals bepaald door ICES. De lijnen tot 3300MHz die daar de grenswaarden voor blootstelling veronderstellen, zijn magnetische en elektrische veldsterkte. De lijnen boven de 3000MHz zijn dus in vermogensdichtheid aangegeven.



Figuur 11 Hoogste grenswaarden voor blootstelling volgens de (International Committee on Electromagnetic Safety, 2006)

De lijnen van figuur 12 geven hetzelfde aan als de lijnen bij de grafiek van figuur 11. Deze grafiek is bedoeld voor de laagste grenswaarden voor blootstelling volgens de ICES.



Figuur 12 Laagste grenswaarden voor blootstelling volgens de (International Committee on Electromagnetic Safety, 2006)

ARPNSA heeft net als de ICES twee verschillende grenswaarden voor blootstelling aan radio-frequentievelden opgesteld. Deze twee grenswaarden voor blootstelling gelden ook onder dezelfde voorwaarden als bij de ICES. Dus de hoogste is voor een omgeving met controlerende straling bedoeld en de laagste is van toepassing voor iedereen, behalve de betreffende uitzonderingen. Volgens ARPNSA zijn deze grenswaarden zodanig opgesteld dat ze te allen tijde aan de veiligheidsnormen van ARPNSA voldoen. Bij ARPNSA worden verschillende criteria voor verschillende frequenties gebruikt. Voor gepulseerde velden met een frequentie tussen 10kHz en 6MHz zijn de basisvoorwaarden voor specifiek energieabsortie tempo voor het hoofd en de torso bepaald. Ook voor gepulseerde velden met een frequentie tussen 6GHz tot en met 300GHz zijn de basisvoorwaarden in vermogensdichtheid bepaald (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency , 2002). Deze twee basisvoorwaarden zijn in de volgende tabellen 2 en 3 weergegeven.

Tabel 2 Grensvoorwaarden voor blootstelling van frequentie tussen 10MHz en 6GHz (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency , 2002)

Exposure category	Frequency range	Instantaneous spatial peak SAR in the head and torso (W/kg)
Occupational	10 MHz–6 GHz	10 000
General public	10 MHz–6 GHz	2 000

Volgens ARPSNA in tabel 2 categorie “Occupational” kan de mens blootgesteld worden aan een energie van totaal 10000W/kg, terwijl het “General public” een totale blootstelling van 2000W/kg mag hebben.

Tabel 3 Grensvoorwaarden voor blootstelling van frequentie tussen 6GHz en 300GHz (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency , 2002)

Exposure category	Frequency range	Time averaged power flux density (W/m ²)	Instantaneous power flux density (W/m ²)
Occupational	6 GHz–300 GHz	50	50 000
General public	6 GHz–300 GHz	10	10 000

Bij de “Time averaged power flux density” in de tabel hierboven is de gemiddelde tijd van de blootstelling afhankelijk van de frequentie. Voor frequenties tot en met 10GHz is de gemiddelde tijd 6 minuten. Terwijl frequenties boven 10GHz een gemiddelde tijd van $68/f(GHz)^{1.05}$ minuten hebben. Deze benadering compenseert de progressief kortere penetratie naarmate de stijging van de frequentie. Ook wordt in de tabel “instantaneous power flux density” behandeld. Hier wordt de grensvoorwaarde aan blootstelling voor 1 μ s bepaald (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency , 2002).

Ook ICNIRP heeft net als de vorige twee instanties twee voorwaarden voor blootstelling aan elektromagnetische velden opgesteld. Voor werknemers die bewust en getraind zijn om met radiofrequente straling om te gaan, zijn de grenswaarden voor blootstelling hoger dan voor de bevolking in algemeen. Dit is omdat het algemene publiek mensen van alle leeftijden en verschillende gezondheidsstatus omvat waardoor ze in sommige gevallen meer gevoelig voor zulke blootstellingen kunnen zijn. Bovendien kan het algemene publiek geen voorzorgsmaatregelen nemen om blootstelling te minimaliseren of te vermijden. De basisvoorwaarden bij ICNIRP van frequenties tussen 10MHz en 300GHz zijn in vermogensdichtheid aangegeven. ICNIRP heeft voor radiofrequenties tussen 10MHz tot 10GHz de volgende grenswaarden voor blootstelling bepaald: 0.4W/kg voor werknemers die bewust getraind zijn en 0.08W/kg voor het algemene publiek (International Commission on non-ionizing Radiation Protection, 1998).

3 METHODE

Voor de projectactiviteiten en -producten zijn twee verschillende methodes gebruikt die hulp bieden om analyses te verrichten. De conclusies vloeit voort uit dergelijke analyses. Hieronder worden de te gebruiken methodieken aangegeven en het doel waarvoor ze gebruikt worden.

3.1 ONDERZOEKSMETHODE

Om te bepalen of de straling geproduceerd door de radar schadelijk is voor de gezondheid van de zeevarenden in verschillende omstandigheden zullen er twee onderzoeksmethodes gebruikt worden. Als eerste wordt het kwalitatief onderzoek gebruikt worden om essentiële informatie met betrekking tot dit onderwerp te analyseren en te verzamelen. In deze vorm van onderzoek worden meerdere artikelen en rapporten van verschillende auteurs beoordeeld en samengevoegd. De andere methode is het kwantitatief onderzoek. Deze methode is gebaseerd op het meten van verschillende variabelen. Deze methode wordt in dit onderzoek gebruikt door het meten van de radarstralingen op verschillende locaties op het schip en aan de wal onder verschillende omstandigheden.

3.2 ANALYSE

De verwerking en analyse van de gegevens van de bronnen en de metingen heeft een beter beeld verschaft van de effecten van de radarstraling op de gezondheid van de zeevarenden. Er waren referentiepunten nodig om de metingen te kunnen beoordelen die aan boord gedaan zijn. Met behulp van de uitgevoerde studies zijn de effecten en risico's in verband met de radarstraling in kaart worden gebracht. Door het analyseren van de grenswaarden voor blootstellingen van meerdere organisaties zijn de grenzen en richtlijnen vastgesteld.

Alle metingen die aan boord uitgevoerd zijn, hebben minimaal drie variabelen om de resultaten zo nauwkeurig mogelijk te maken. De combinatie van het uit- en inschakelen van de radars zorgen voor deze variabelen. Dit is namelijk als volgt uitgevoerd geworden:

- S- en X-band radars aan
- Alleen S-band radars aan
- Zonder radars aan

Om de eerste deelvraag *“Vanaf welke afstand zijn de stralingen niet meer schadelijk voor de gezondheid van de bemanning?”* te kunnen beoordelen, zijn metingen zo dicht mogelijk bij de radars uitgevoerd. Dit is uitgevoerd op het monkey island op verschillende afstanden en hoogten ten opzichte van de radars.

Voor de tweede deelvraag *“Is de radar schadelijk voor de gezondheid van de bemanning aan boord en aan de wal tijdens het laden en lossen?”* waren metingen verricht worden op locaties

waar de bemanning van het schip zich bevindt en anderen, zoals stuwadoors en kraanbestuurders tijdens het laden en lossen. Deze plekken zijn namelijk: aan dek, aan de wal en in de scheepskranen.

Om de derde deelvraag *“Is de radar schadelijk voor de gezondheid van de bemanning op de brug tijdens het varen?”* te kunnen beantwoorden, waren metingen op de brug en op de brugvleugels verricht. Hiermee is een beter beeld verschaft worden van de stralingsniveaus op deze locaties.

Op basis van de combinaties van grenswaarden, de richtlijnen die vastgesteld zijn door verschillende instanties en de betreffende metingen die aan boord uitgevoerd zijn, kunnen conclusies worden getrokken. Deze conclusies hebben de deelvragen beantwoorden en leiden tot het antwoord op de hoofdvraag.

3.3 MEETINSTRUMENT

Om de metingen aan de radarstraling op verschillende omstandigheden aan boord te kunnen verrichten, is een elektromagnetische veldmeter gebruikt. Het meetinstrument is de PCE-EM29 en die wordt aangegeven in figuur 13. Het betreffende meetinstrument wordt als volgt beschreven: “De elektrische veldmeter heeft een triaxiale bolvormige sonde voor het detecteren van elektromagnetische straling. De triaxiale bolvormige sonde van de elektrische veldmeter gaat tot 3,5 GHz. Bovendien is de elektrische veldmeter ook geschikt om stralingen op het gebied van draadloze systemen (Wireless LAN), mobiele telefoons te detecteren of om magnetronstraling te bepalen. Met frequenties tot 3,5 GHz kan hij heel goed worden gebruikt in het hoge frequentiebereik. Dankzij de triaxiale sonde voorkomt men het moeten omrekenen van elke afzonderlijke as. De kleine en compacte elektrische meter is vanwege zijn eigenschappen geschikt voor gebruik op industrieel gebied en in het laboratorium” (PCE Instruments UK Ltd., 2016). Volgens (PCE group) meet het instrument de volgende parameters met de respectievelijke eenheden: elektrische veldsterkte (mV/m , V/m), magnetische veldsterkte ($\mu\text{A/m}$, mA/m) en vermogensdichtheid ($\mu\text{W/m}^2$, mW/m^2 , W/m^2 , $\mu\text{W/cm}^2$, mW/cm^2). In bijlage 2 zijn de specificaties van het meetinstrument aangegeven.



Figuur 13 PCE-EM29 (PCE Instruments UK Ltd., 2016)

4.1 RESULTATEN

De metingen en de resultaten uit het bronnenonderzoek worden in dit hoofdstuk samengevoegd en besproken. De deelvragen zijn tot stand gekomen door het uitvoeren van metingen van de radarstralingen op het schip FWN Bonafide van de rederij Forestwave. Deze metingen die daar uitgevoerd zijn, worden in mV/m, mA/m en in mW/m^2 aangegeven. Alle metingen zijn in de bijlagen 4, 5, 6, 7 en 8 te zien. Verder worden deze waarden in grafieken verwerkt. Hiermee worden de resultaten met elkaar en ook met de grenswaarden voor blootstelling van verschillende bronnen vergeleken. Met behulp van bronnen uit het theoretische kader worden de deelvragen en hoofdvraag geanalyseerd en beoordeeld.

4.1.1 METINGEN AAN DEK

Aan dek van het schip FWN Bonafide werden op zes verschillende locaties metingen uitgevoerd om een deel van deelvraag 1 te analyseren en te beoordelen. Deze locaties zijn in de richting langsscheeps verdeeld om een beter overzicht van de straling aan dek te kunnen verschaffen. Deze zes locaties hebben ten opzichte van de voorkant van de accommodatie de volgende afstanden;

- Locatie 1- 3m
- Locatie 2- 38m
- Locatie 3- 46m
- Locatie 4- 83m
- Locatie 5- 89m
- Locatie 6- 120m

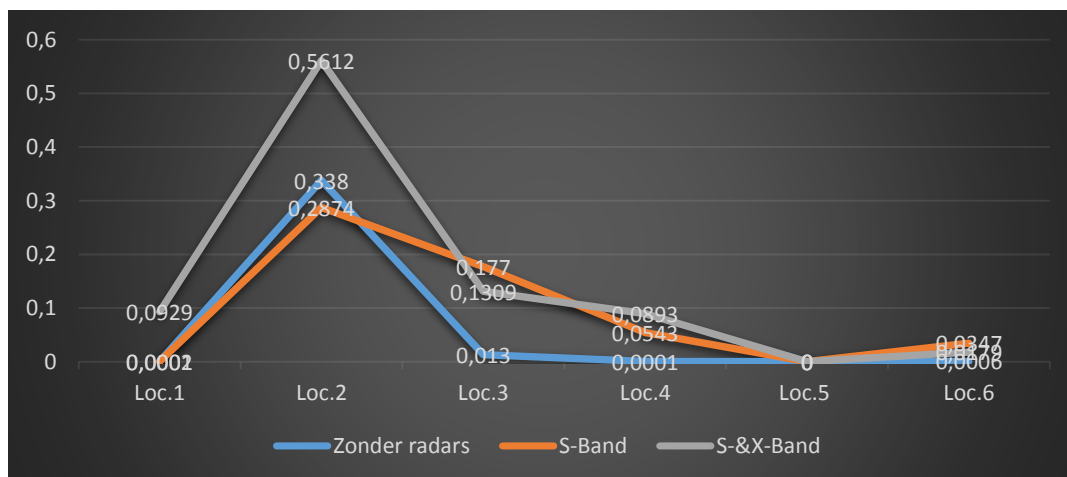
De locaties waar de metingen van de stralingen uitgevoerd zijn, worden in de volgende figuur met de respectievelijke nummers aangegeven.



Figuur 14 Metingen aan dek (Damen Shipyards Cargo, 2005-2006) & (Mota, Paint illustraties, 2017)

De volledige uitkomst van de betreffende metingen zijn in de tabellen van bijlage 4 aangegeven. Tabel 11 laat de stralingsniveaus op deze zes verschillende locaties zien, wanneer de S-

en de X-band radars aan zijn. In tabel 12 worden de stralingsniveaus op dezelfde locaties aangegeven als de S-band radar aan is. Tabel 13 geeft de stralingsniveaus op deze zes locaties aan als er geen radar aan staat. De uitkomsten van de opgenomen metingen zijn in de volgende grafiek aangegeven. Voor elke locatie van die metingen worden de waarden in mW/m^2 aangeduid.



Figuur 15 Overzicht van de stralingsniveaus aan dek

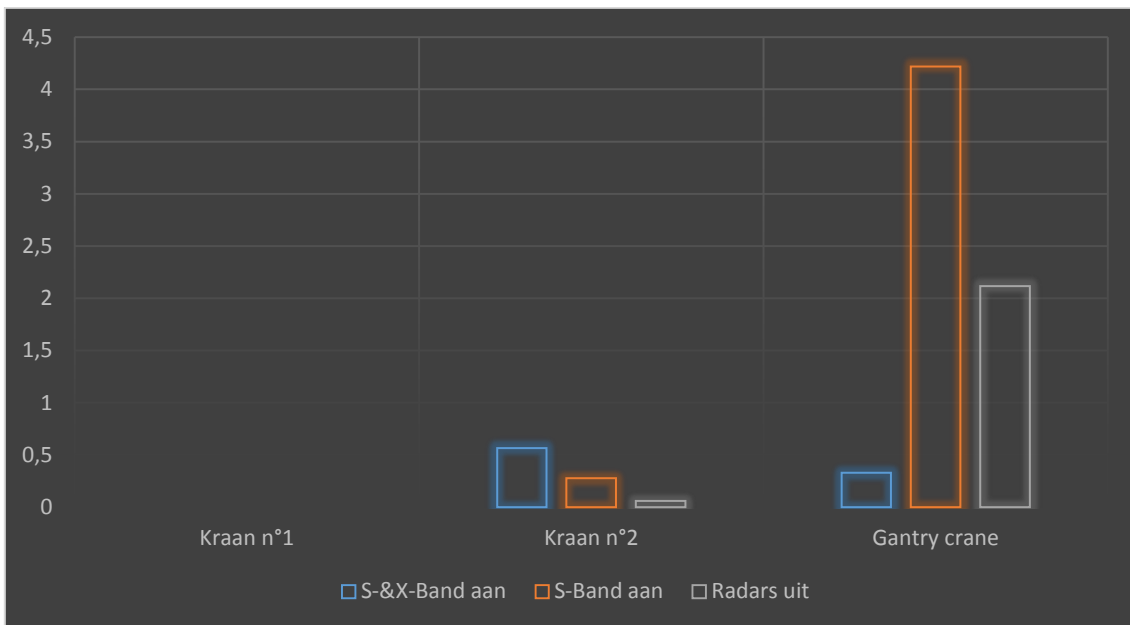
Wat opvalt in de grafiek is dat bij locatie 2 blijkt dat de stralingsniveaus onder alle omstandigheden hoger waren ten opzichte van alle andere locaties. Hierbij was de hoogste vermogensdichtheid van de straling $0.6 \text{ mW}/\text{m}^2$. Dit werd aangetroffen toen de S-en X-band radar aan waren. Maar de stralingsniveaus in locatie 2 liggen tussen de 0.6 en $0.28 \text{ mW}/\text{m}^2$. In alle andere locaties lagen de stralingsniveaus tussen de 0 en $0.2 \text{ mW}/\text{m}^2$. Dus de stralingsniveaus aan dek zijn laag.

4.1.2 METINGEN IN DE SCHEEPSKRANEN EN OP GANTRY CRANE

Het schip FWN Bonafide is uitgerust met twee scheepskranen en een gantry crane⁵. In de scheepskranen en op de gantry crane zijn metingen van de stralingsniveaus opgenomen. Met de resultaten hiervan zal een ander deel van deelvraag 1 beantwoord worden.

In beide scheepskranen en op de gantry crane zijn metingen uitgevoerd onder verschillende omstandigheden. Deze omstandigheden zijn respectievelijk: de S- en X-band radars aan, S-radar aan en zonder radars aan. De resultaten van deze drie verschillende omstandigheden worden in de tabellen 14, 15 en 16 weergegeven. Deze tabellen zijn in bijlage 5 terug te vinden. In de volgende grafiek worden de resultaten van de uitgevoerde metingen weergegeven. Deze resultaten zijn ingedeeld afhankelijk van de locatie waar ze opgenomen zijn. De eenheden zijn in mW/m^2 weergegeven.

⁵ Kraan op het scheepsdek gebruikt om pontons en tussendekken heen en weer te verplaatsen.



Figuur 16 Overzicht van de stralingsniveaus in de scheepskranen en op de gantry crane.

Uit deze grafiek is af te leiden dat het hoogste stralingsniveau zich bevindt op de gantry crane. De maximale waarde werd aangetroffen toen alleen de S-band radar aan was. Hierbij was de vermogensdichtheid van de straling 4.3 mW/m^2 . Dit komt omdat men op de gantry crane meer blootgesteld is aan de stralingen dan in de scheepskranen.

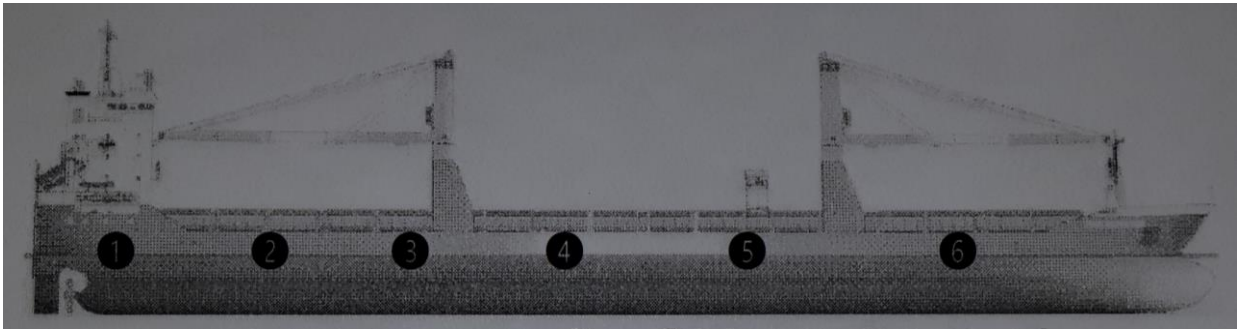
4.1.3 METINGEN AAN DE WAL

Aan de wal werden stralingsniveaus gemeten. Met de ondersteuning van de metingen aan dek, in en op de kranen; met deze metingen wordt deelvraag 1 verder beantwoord.

De metingen aan de wal zijn verdeeld in zes verschillende locaties in de richting langsscheeps. Deze locaties bevinden zich 10m dwars van de rand van het schip. Ze bevinden zich op de volgende afstanden ten opzichte van het midden van de accommodatie:

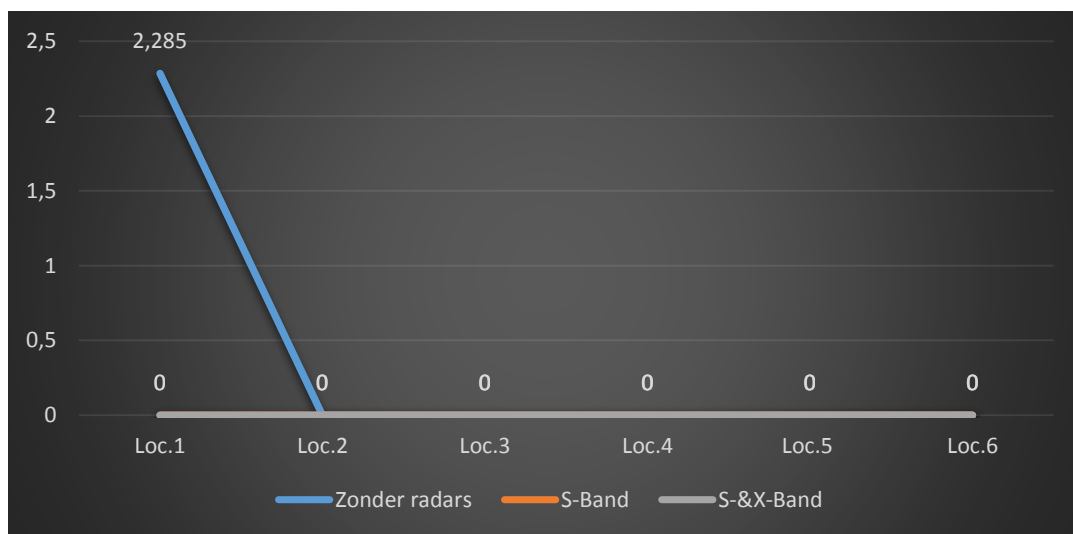
- Locatie 1- 0m
- Locatie 2- 20m
- Locatie 3- 37m
- Locatie 4- 57m
- Locatie 5- 80m
- Locatie 6- 105m

Figuur 17 geeft de zes locaties aan waar de metingen aan de wal ten opzichte van de scheeps-lengte verricht zijn. Deze locaties worden aangeduid met de respectievelijke nummers 1 t/m 6.



Figuur 17 Metingen aan wal (Damen Shipyards Cargo, 2005-2006) & (Mota, Paint illustraties, 2017)

De resultaten van de uitgevoerde metingen aan de wal zijn in de tabellen 17, 18 en 19 weergegeven. Deze tabellen bevinden zich in bijlage 6. Deze metingen werden verricht onder de drie zelfde omstandigheden als eerder genoemd. Tabel 17 geeft aan de stralingsniveaus aan de wal met de S- en X-band radar aan. In tabel 18 worden de resultaten van de uitgevoerde metingen aan de wal alleen met de S-band radar aan weergegeven. In tabel 19 worden de resultaten weergegeven als er geen radar aan is. In de volgende grafiek zijn de verrichte metingen in mW/m^2 aangegeven. Dus in vermogensdichtheid.



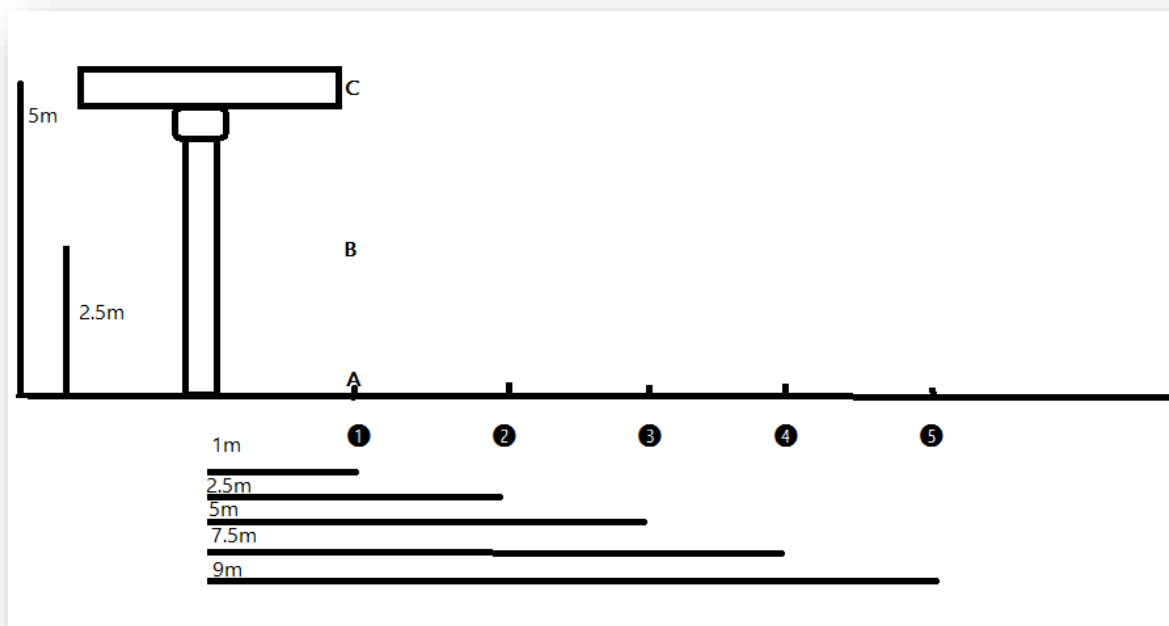
Figuur 18 Overzicht van de stralingsniveaus aan de wal

Uit deze grafiek kan geconcludeerd worden dat de hoogste vermogensdichtheid $2.29 \text{ mW}/\text{m}^2$ is. Deze werd aangetroffen in locatie 1 wanneer er geen radars aan waren. Dit is te verklaren met andere stralingen die uitgezonden worden door andere instrumenten of apparaten. Bij alle andere locaties lag de vermogensdichtheid dichtbij de $0 \text{ mW}/\text{m}^2$.

4.1.4 METINGEN OP HET MONKEY ISLAND

Op het monkey island van het schip FWN Bonafide zijn verschillende metingen onder verschillende omstandigheden op de stralingsniveaus uitgevoerd. Dit om deelvraag 2 te kunnen beantwoorden.

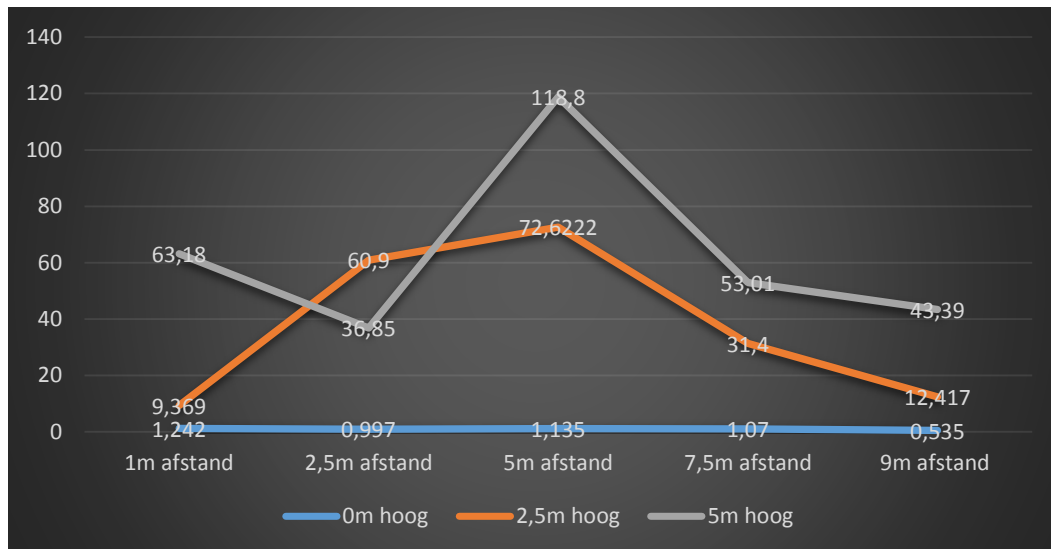
Er zijn op verschillende afstanden en hoogten metingen verricht om de stralingsniveaus zo nauwkeurig mogelijk te kunnen bepalen. De hoogten worden vanaf de floor van het monkey island berekend en de afstanden vanaf het midden van de radarscanner. Hierbij werden de reeksen van metingen in drie hoogten verdeeld, namelijk 0m, 2.5m en 5m. Op deze drie hoogten werden de metingen op de volgende afstanden uitgevoerd: 1m, 2.5m, 5m, 7.5m en 9m. Figuur 19 laat een representatieve weergave van de uitgevoerde metingen op het monkey island zien.



Figuur 19 S-band radar, afstanden en hoogten (Mota, Paint illustrations, 2017).

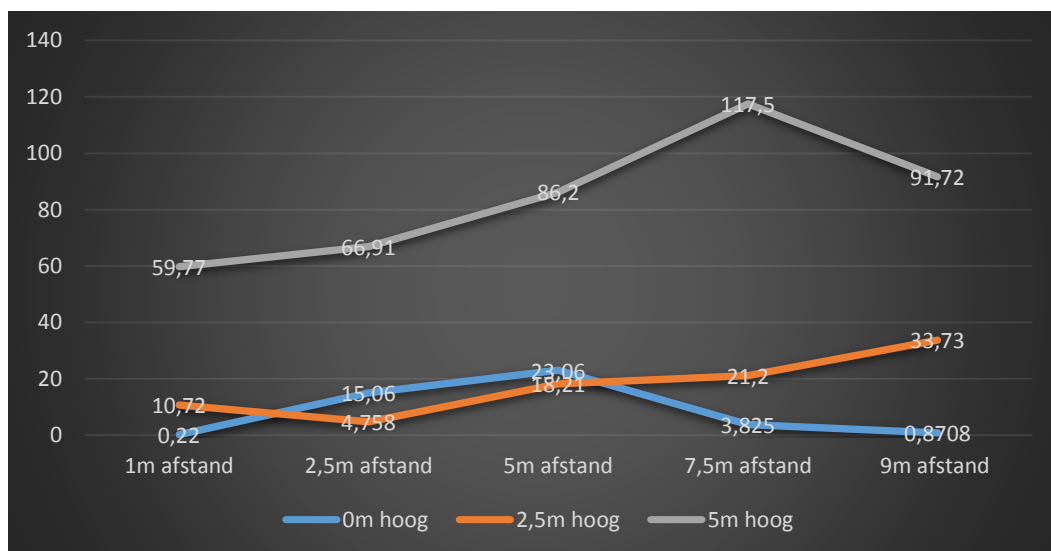
De volledige resultaten van de verrichte metingen op het monkey island zijn in bijlage 7 terug te vinden. De resultaten zijn in de tabellen 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 en 28 aangegeven. In bijlage 7 zijn de tabellen verdeeld naargelang de omstandigheden waaronder ze uitgevoerd zijn, namelijk met S- en X-band radar aan, alleen met S-band radar aan en zonder radars aan. De verdeling is verder uitgevoerd in overeenkomst met de hoogten waarop deze metingen uitgevoerd zijn.

Grafiek 21 geeft de vermogensdichtheid van de straling aan op het monkey island als op de verschillende hoogten de S- en X-band radars aan zijn. Er is ook uit de grafiek af te leiden dat op grotere hoogten de vermogensdichtheid van de straling stijgt. Dit houdt verband met de bundel uitgezonden door de radar. De vermogensdichtheid aangetroffen op 0m is rond de 0 mW/m^2 , terwijl de vermogensdichtheid op 5m hoogte tussen de 36 en 119 mW/m^2 ligt. Verder valt er te constateren dat de vermogensdichtheid op 2.5m hoogte in het algemeen lager is dan de vermogensdichtheid op een hoogte van 5m.



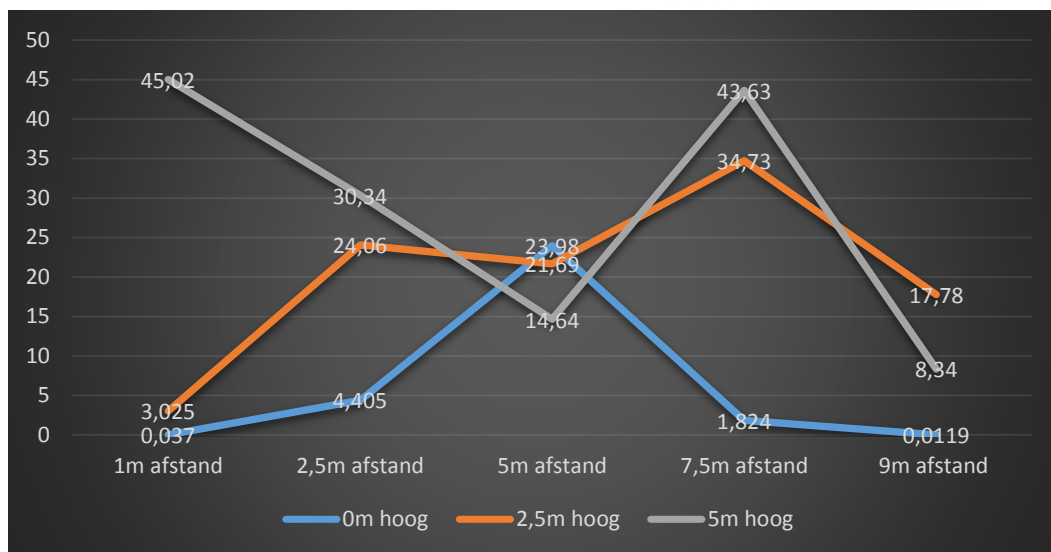
Figuur 20 Overzicht van de stralingsniveaus op het monkey island met de S- en X- band radars aan.

Figuur 21 geeft de vermogensdichtheid van de straling aan op het monkey island als op de betreffende hoogten de S-band radar aan is. Hieruit valt af te leiden dat op een hoogte van 5m de vermogensdichtheid hoger is dan bij de andere twee hoogten. Op 5m hoogte loopt de vermogensdichtheid op van 59 tot 117.5 mW/m^2 terwijl bij de andere drie hoogten de vermogensdichtheid ligt tussen de 0.22 en de 34 mW/m^2 .



Figuur 21 Overzicht van de stralingsniveaus op het monkey island met de S-band radar aan.

Grafiek 22 geeft de vermogensdichtheid van de straling aan op de betreffende plaatsen en de betreffende hoogten als er geen radar aan is. Wat opvalt in deze grafiek is dat de vermogensdichtheden op drie verschillende hoogten onregelmatig zijn. In het algemeen is de vermogensdichtheid niet groter dan 46 mW/m^2 . Dit komt door de uitgezonden stralingen van andere apparaten op het monkey island.



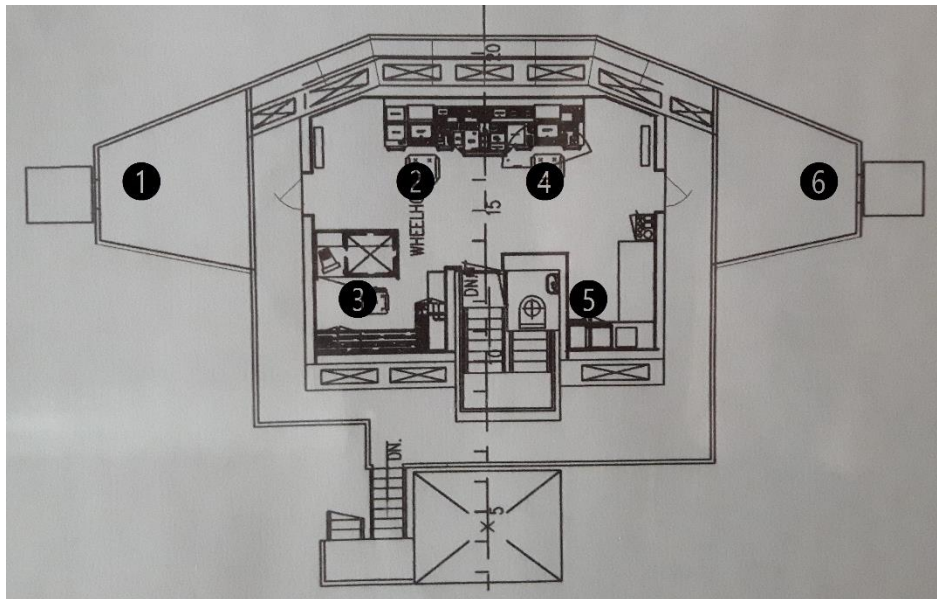
Figuur 22 Overzicht van de stralingsniveaus op het monkey island zonder radars aan.

In deze drie laatste grafieken valt op dat de stralingen met de S- en X-band radars en met alleen de S-band radar ongeveer dezelfde zijn op een hoogte 5m. De vermogensdichtheden van grafiek 23 zijn relatief laag vergeleken met de twee andere grafieken. Tussen grafiek 20 en 21 is er op een hoogte van 2.5m een verschil in vermogensdichtheid te zien. Dit komt omdat de metingen zijn uitgevoerd vanaf de S-band en niet vanaf de X-band radar. Door het meetinstrument werden de metingen in grafiek 20 weergegeven onder de radarbundel van de x-band.

4.1.5 METINGEN OP DE BRUG EN BRUGVLEUGELS

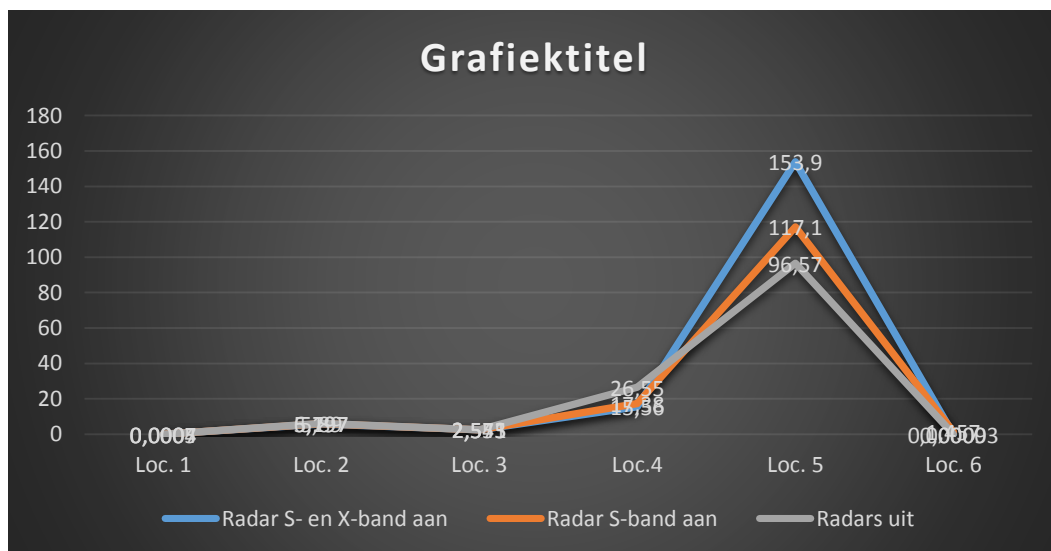
Op de brug en op de brugvleugels zijn metingen van stralingen onder verschillende omstandigheden uitgevoerd. Dit om een antwoord op deelvraag 3 te kunnen geven.

De metingen op de brug en op de brugvleugels zijn in zes verschillende locaties verdeeld. Deze locaties worden tijdens het varen bezet door de bemanning die zich op de brug bevindt tijdens het varen en het manoeuvreren van het schip. Figuur 21 laat een bovenaanzicht van de brug en de brugvleugels zien en de zes plaatsen waar de metingen verricht zijn. Nogmaals deze metingen zijn onder drie omstandigheden uitgevoerd, namelijk met de S- en X-radar, alleen met de S-band radar en zonder radars. De resultaten van deze metingen zijn in bijlage 8 terug te vinden.



Figuur 23 Brug FWN Bonafide (Damen schipyards cargo vessels, 2003) & (Mota, Paint illustrations, 2017)

Uit de volgende grafiek is af te leiden dat op de locaties 1, 2, 3, 4 en 6 de vermogensdichtheden van de stralingen onder alle omstandigheden laag zijn. De waarden hiervan liggen tussen de 0 en de 27 mW/m^2 . Terwijl de vermogensdichtheid van de stralingen op locatie 5 onder alle omstandigheden hoger ligt, namelijk tussen de 95 en 154 mW/m^2 . Dit komt doordat computers en telecommunicatieapparatuur zich op locatie 5 bevinden, terwijl de straling uitgezonden door de radars daar weinig of geen invloed heeft.



Figuur 24 Stralingsniveaus op de brug van het schip FWN Bonafide

4.1.6 GRENSWAARDEN VOOR BLOOTSTELLING VOLGENS ICES EN ICNIRP

Om uiteindelijk concrete resultaten van de deelvragen en van de hoofdvraag te kunnen verkrijgen, zullen de grenswaarden voor blootstelling van de ICES en ICNIRP hier toegepast worden. Dit zal uitgevoerd worden door het verzamelen van de gegevens van de laatste vier hoofdstukken en deze vervolgens te vergelijken met de betreffende grenswaarden voor blootstelling.

De volgende tabel is gebaseerd op ICES (International Committee on Electromagnetic Safety, 2006). Daaruit valt af te leiden dat aan de twee verschillende frequenties uitgezonden door de S- en X-band radar andere grenswaarden voor blootstelling verbonden zijn. Verder worden deze grenswaarden voor blootstelling onderverdeeld in twee andere groepen, namelijk een voor mensen die beroepsmatig betrokken zijn en een voor het publiek in het algemeen. Tabel 4 geeft deze grenswaarden voor blootstelling aan.

Tabel 4 Grenswaarden voor blootstelling volgens (International Committee on Electromagnetic Safety, 2006).

ICES	3100 MHZ (S-band radar)	9500 MHZ (X-band radar)
Beroepspersonen	$10\text{W}/\text{m}^2$	$12\text{ W}/\text{m}^2$
Algemeen publiek	$2\text{W}/\text{m}^2$	$4\text{W}/\text{m}^2$

Aangezien dat de hoogste waarde van de uitgevoerde metingen $0.18\text{ W}/\text{m}^2$ is, voldoen alle metingen aan de limieten opgesteld door ICES.

Tabel 5 is af te leiden van ICNRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2017). Deze grenswaarden voor blootstelling zijn dezelfde voor beide radars. De mensen die beroepsmatig betrokken zijn hebben een hogere grenswaarde voor blootstelling dan het algemene publiek. Deze grenswaarden voor blootstelling zijn in de volgende tabel weergegeven.

Tabel 5 Grenswaarden voor blootstelling volgens (International Commission on non-ionizing Radiation Protection, 1998).

ICNIRP	3100 MHZ (S-band radar) & 9500 MHZ (x-band radar)
Beroeps	$0.4\text{W}/\text{Kg}$
Algemene publiek	$0.08\text{W}/\text{Kg}$

Het gemiddelde lichaamsoppervlak bij mannen is 1.9m^2 en het gemiddelde gewicht is circa 80kg (Koninklijke Nederlandse Maatschappij ter bevordering der Pharmacie, 2017). Aangezien dat de hoogste gemeten waarde is $0.18\text{ W}/\text{m}^2$, valt af te leiden dat een persoon van 1.9 m^2 en 80Kg slechts aan $0.0021\text{W}/\text{Kg}$ blootgesteld is. Dat betekent dat een persoon met zo een lichaamsoppervlak en gewicht in elke situatie voldoet aan alle limieten opgesteld door ICNIRP.

5 DISCUSSIE

Voor dit onderzoek zijn de grenswaarden voor blootstelling van de ICES en ICNIRP gebruikt om de stralingsniveaus uitgezonden door de radar te bepalen en niet de grenswaarden voor blootstelling van de ARPNSA. Dit in verband met de moeilijkheid om de vermogenspiek en SAR te bepalen.

Tijdens het uitvoeren van de metingen waren andere stralingsbronnen aanwezig. De bronnen van deze stralingen zijn waarschijnlijk andere schepen en/of anderen apparatuur aan boord. Om een nauwkeurig resultaat te verkrijgen, zouden deze stralingsbronnen niet aanwezig moeten zijn. Maar in verband met de veiligheid en communicatie aan boord was het niet mogelijk om ze uit te schakelen.

Het meetinstrument heeft een bereik van 50 tot 3500MHZ. Alle radiofrequenties met dit bereik worden volgens de fabrikant van het meetinstrument met een grotere nauwkeurigheid gemeten, namelijk de straling uitgezonden door de S-band radar. De radiofrequenties boven dat bereik worden wel gemeten, maar zijn twijfelachtig. Zulke radiofrequenties worden door de X-band radar opgewekt. Daardoor is het niet mogelijk om concrete conclusies te trekken over de straling opgewekt door de X-band radar. Toch wekt volgens het literatuuronderzoek deze radar meer straling op dan de S-band radar.

De stralingsniveaus op het monkey island zijn veel lager dan voorspeld. Het was te verwachten dat de stralingen op deze plek boven de grenswaarden voor blootstelling van de hier boven genoemde organisaties zouden liggen. Dit houdt verband met de afstand tussen de stralingsbronnen en de uitgevoerde metingen. Het komt omdat de frequenties waarschijnlijk boven het bereik van het instrument liggen.

De uitgevoerde metingen op de scheepskranen waren ook lager dan voorspeld. Vooral bij scheepskraan 2. Dit komt waarschijnlijk omdat de metingen in de cabine van scheepskraan 2 uitgevoerd zijn toen de cabine buiten het bereik van de radars was.

6 CONCLUSIE & AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIE

De gezondheid van de bemanning is tijdens het laden en lossen niet in gevaar. Dat illustreren de cijfers over de sterkte van de radarstralingen aan dek, in de scheepskranen, op de gantry crane en aan de wal. Op die plaatsen is de bemanning veilig voor radarstralingen.

Op het monkey island komen verschillende radiostralingen voor zoals: VHF, MF en gps-frequenties. Daarnaast is er een onbetrouwbaarheid opgenomen in de metingen door het meet-instrument voor frequenties hoger dan 3500MHZ. Om deze twee redenen kunnen uit dit rapport geen concrete conclusies getrokken worden in verband met deelvraag 2. Maar uit berekeningen, uitgevoerd door de Canadese kustwacht, blijkt dat wanneer de radarscanner aan het draaien is de veilige afstand 0.2m is vanaf het midden van de radarscanner. Als de radarscanner aan is en niet draait, is het 6m vanaf het midden van de radarscanner veilig (The Canadian Coast Guard, 2009).

Ondanks het feit dat op de brug radiostralingen zijn aangetroffen, zijn deze stralingen niet gevaarlijk voor de mens. Daarnaast hebben de radars bijna of geen invloed op de aangetroffen stralingen. De bronnen van deze stralingen bevinden zich in de apparatuur in de brug.

Uit dit onderzoek valt te concluderen dat de straling niet schadelijk is voor de bemanningsleden, mits ze zich niet op het monkey island bevinden. Op alle locaties van het schip heeft de bemanning geen last van hoge radarstralingen. Alleen op het monkey island zijn bepaalde plekken waar de radarstraling de gezondheid van de mens schade kan toebrengen. Ogen, borsten en teelballen zijn gevoeliger voor zulke stralingen dan de rest van het lichaam.

6.2 AANBEVELINGEN

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat de bemanning het monkey island dient te vermijden. Door deze maatregel zal er geen probleem ontstaan voor de gezondheid van de bemanning als gevolg van de radarstraling. Als dit niet te vermijden is, zouden de radars uitgeschakeld of in stand-by gezet moeten worden. Toch kunnen er situaties ontstaan waarin deze twee maatregelen niet genomen kunnen worden. In dat geval moet de bemanning een veilige afstand van niet minder dan 0.2m ten opzichte van de radars aanhouden en altijd laag blijven, om niet onder de radarbundel te komen staan en ook moet ze vermijden om direct in de radars te kijken. Voor het geval dat iemand zich misselijk voelt, moet die persoon de plek onmiddellijk verlaten.

Tijdens het laden en lossen wordt aangeraden om de radars toch uit te schakelen. Ondanks het feit dat uit dit onderzoek blijkt dat er geen probleem voor de gezondheid van de bemanning ontstaat tijdens het laden en lossen, zijn er altijd nog onzekerheden op dit gebied.

Er zijn nog onzekerheden over de radarstraling en de gezondheid van de bemanning. Daarom is het noodzakelijk dat aanvullend onderzoek gedaan wordt aangaande de gezondheid van de mens dat rekening houdt met een geschikt instrument voor frequenties tussen de 2000 en 10000MHZ.

LIJST MET AFKORTINGEN

A/m	Ampère per meter
AN	Actieniveau
ARPANSA	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency
Cm	Centimeter
EHF	Extremely high frequency
EMV	Electromagnetisch veld
GHz	Gigahertz
GPS	Global positioning system
gt	Gross tonnage
HF	High frequency
Hz	Hertz
ICES	International Committee on Electromagnetic Safety
ICRNP	International Commission on non-ionizing Radiation Protection
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEGMP	Independent Expert Group on Mobile Phones
KW	Kilowatt
LAN	Local area network
LF	Low frequency
mA/m	Milli-ampère per meter
MF	Medium frequency
MHz	Megahertz
mV/m	Millivolt per meter
mW/cm^2	Milliwatt per vierkante centimeter
mW/m^2	Milliwatt per vierkante meter

nm	Nanometer
NWO-I	Nederlandse Wetenschappelijk Onderzoek Instituten
Radar:	Radio detection and ranging
Rf:	Radiofrequentie
SHF	Super high frequency
SOLAS	Safety of Life at Sea
THz	Terahertz
UHF	Ultra high frequency
V/m	Volt per meter
VLF	Very low frequency
W	Watt
W/m^2	Watt per vierkante meter
W/Kg	Watt per kilogram
W/m ²	Watt per vierkante meter
$\mu A/m$	Micro ampère per meter
μs	Microseconde
$\mu W/cm^2$	Microwatt per vierkante centimeter
$\mu W/m^2$	Microwatt per vierkante meter

BIJLAGEN
BIJLAGE 1 TABELLEN VAN VERSCHILLENDE ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN

Tabel 6 Radiofrequente velden & extreme laagfrequente velden (Info Nu, 2006-2017)

Naam RF straling	Afkorting	ITU-band (1)	Frequentie	Golflengte
Extremely High Frequency	EHF	11	30–300 GHz	1 tot 10 millimeter
Super High Frequency	SHF	10	3–30 GHz	10 tot 100 millimeter
Ultra High Frequency	UHF	9	300–3000 MHz	100 mm tot 1 meter
Naam ELF straling				
Very High Frequency	VHF	8	30–300 MHz	1 m tot 10 meter
High Frequency	HF	7	3–30 MHz	10 m tot 100 meter
Medium Frequency	MF	6	300–3000 kHz	100 m tot 1 kilometer
Low Frequency	LF	5	30–300 kHz	1 km tot 10 kilometer
Very Low Frequency	VLF	4	3–30 kHz	10 km tot 100 kilometer
Ultra Low Frequency	ULF	3	300–3000 Hz	100 km tot 1000 kilometer
Super Low Frequency	SLF	2	30–300 Hz	1000 km tot 10.000 kilometer
Extremely Low Frequency	ELF	1	3–30 Hz	10.000 km tot 100.000 kilometer

Tabel 7 Indeling van infrarode straling (Info Nu, 2006-2017)

Naam	Afkorting	Golflengte in micrometers	Frequentie in Hertz	Energie per foton in elektronvolt
Nabij infrarood	NIR	0.75–1.4 μm	214–400 THz	886–1653 meV
Korte golf infrarood	SWIR	1.4–3 μm	100–214 THz	413–886 meV
Middel infrarood	MIR	3–8 μm	37–100 THz	155–413 meV
Lange golf infrarood	LWIR	8–15 μm	20–37 THz	83–155 meV
Ver infrarood	FIR	15–1,000 μm	0.3–20 THz	1.2–83 meV

Tabel 8 Indeling van zichtbaar licht

Kleur	Golflengte in nanometers	Frequentie in terahertz	Energie in elektronvolt
Violet	380–450 nm	668–789 THz	2.75–3.26 eV
Blauw	450–495 nm	606–668 THz	2.50–2.75 eV
Groen	495–570 nm	526–606 THz	2.17–2.50 eV
Geel	570–590 nm	508–526 THz	2.10–2.17 eV
Orange	590–620 nm	484–508 THz	2.00–2.10 eV
Rood	620–750 nm	400–484 THz	1.60–2.00 eV

Tabel 9 indeling van ultraviolet straling (Info Nu, 2006-2017)

Naam	Afkorting	Golflengte (in nanometers)	Energie inhoud foton (in elektronvolt)	Eigenschappen
Ultraviolet A	UV-A	400 – 315 nm	3.10 – 3.94 eV	98,7% van deze straling bereikt het aardoppervlak
Ultraviolet B	UV-B	315 – 280 nm	3.94 – 4.43 eV	Slechts 1,3% van deze UV-straling bereikt het aardoppervlak
Ultraviolet C	UV-C	280 – 100 nm	4.43 – 12.4 eV	Wordt volledig tegengehouden door de ozonlaag
nabij ultraviolet	NUV	400 – 300 nm	3.10 – 4.13 eV	Zichtbaar voor sommige vogels, insecten en vissen
Midden ultraviolet	MUV	300 – 200 nm	4.13 – 6.20 eV	
Ver ultraviolet	FUV	200 – 122 nm	6.20 – 10.16 eV	
Hydrogen Lyman-alpha	H Lyman- α	122 – 121 nm	10.16 – 10.25 eV	Spectraallijn op 121.6 nm, 10.20 eV
Vacuüm ultraviolet	VUV	200 – 10 nm	6.20 – 124 eV	Wordt geabsorbeerd door zuurstofatomen in de atmosfeer, golflengte van 150–200 nm kunnen worden doorgegeven via stikstof
Extreem ultraviolet	EUV	121 – 10 nm	10.25 – 124 eV	Ioniserende straling, wordt volledig door de atmosfeer tegengehouden

BIJLAGE2 MEETINSTRUMENT

Specificaties



Frequentiebereik	50 MHz ... 3,5 GHz
Type sensor	Elektronisch veld (E)
Meting	3 – dimensioneel, isotropisch
Meetbereik	38 mV/m ... 11 V/m
Meetbereik selectie	Automatisch
Reactietijd	1 s Tot het bereiken van 90% van de eindwaarde
Eenheden	mV/m, V/m, $\mu\text{gA/m}$, mA/m, $\mu\text{gW/m}^2$, mW/m ²
Resolutie	0,1 mV/m; 0,1 $\mu\text{gA/m}$; 0,01 $\mu\text{gW/m}^2$
Absolute fout (bij 1V/m en 50 MHz)	$\pm 1,0$ dB
Nauwkeurigheid	$\pm 1,0$ dB (50 MHz ... 1,9 GHz) $\pm 2,4$ dB (1,9 GHz ... 3,5 GHz)
Isotropen - afwijking	$\pm 1,0$ dB (bij frequenties >50 MHz)
Maximaal overbereik	4,2 W/m ² (40 V/m)
Temperatuurgerelateerde differentieel	$\pm 1,5$ dB
Vernieuwing van de waarden op de display	Iedere 400 ms
Grenswaarde	instelbaar
Alarm	Pieptoon bij grenswaarde overschrijding
Kalibratie	Instelbaar
Berekening gemiddelde waarde	Instelbaar vanaf 4 sec. ... 15 min.

Figuur 25 Meetinstrument PCE-EM29 (PCE Instruments UK Ltd., 2016).

BIJLAGE 3 SI-EENHEDEN

Tabel 10 SI-eenheden.

Quantity	Symbol	Unit
Conductivity	σ	siemens per meter (S m^{-1})
Current	I	ampere (A)
Current density	$\mathbf{J}$	ampere per square meter (A m^{-2})
Frequency	f	hertz (Hz)
Electric field strength	$\mathbf{E}$	volt per meter (V m^{-1})
Magnetic field strength	$\mathbf{H}$	ampere per meter (A m^{-1})
Magnetic flux density	$\mathbf{B}$	tesla (T)
Magnetic permeability	μ	henry per meter (H m^{-1})
Permittivity	ϵ	farad per meter (F m^{-1})
Power density	$\mathbf{S}$	watt per square meter (W m^{-2})
Specific energy absorption	SA	joule per kilogram (J kg^{-1})
Specific energy absorption rate	SAR	watt per kilogram (W kg^{-1})

BIJLAGE 4 STRALINGSNIVEAUS AAN DEK

Tabel 11 Stralingsniveau bij S- en X-band radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5	Loc.6
mV/m	187.2	448.1	222.2	183.5	50.1	81.7
mA/m	0.4965	1.22	0.5893	0.4867	0.1328	0.218
mW/m²	0.0929	0.5612	0.1309	0.0893	0.0066	0.0179

Tabel 12 Stralingsniveaus bij S-band radar aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5	Loc.6
mV/m	6.2	329.6	258.5	143.3	50.2	91.6
mA/m	0.0164	0.898	0.685	0.379	0.138	0.250
mW/m²	0.0001	287.4	0.177	0.0543	0.0076	0.0347

Tabel 13 Stralingsniveaus zonder radars aan (Mota, Metingen, 2017) .

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5	Loc.6
mV/m	10.1	110.9	73.4	10.6	50.2	14.1
mA/m	0.0233	0.2994	0.1946	0.0135	0.376	0.374
mW/m²	0.0002	0.0338	0.013	0.0001	0.0019	0.0006

BIJLAGE 5 STRALINGSNIVEAUS IN DE SCHEEPSKRANEN EN OP DE GANTRY CRANE

Tabel 14 Stralingsniveaus van in de scheepskranen en op de gantry crane met de S- en X-band radars aan (Mota, Metingen, 2017) .

Eenheden	Kraan n°1	Kraan n°2	Gantry crane
mV/m	53.9	462	350.8
mA/m	0.143	1.22	0.930
mW/m ²	0.008	0.566	0.329

Tabel 15 Stralingsniveaus van in de scheepskranen en op de gantry crane met de S-band radar aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Kraan n°1	Kraan n°2	Gantry crane
mV/m	26.6	323.3	1261
mA/m	0.070	0.857	3.345
mW/m ²	0.002	0.277	4.219

Tabel 16 Stralingsniveaus van in de scheepskranen en op de gantry crane zonder radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Kraan n°1	Kraan n°2	Gantry crane
mV/m	27.9	48.5	893.2
mA/m	0.074	0.1286	2.369
mW/m ²	0.002	0.06	2.116

BIJLAGE 6 STRALINGSNIVEAUS AAN DE WAL
Tabel 17 Stralingsniveaus aan de wal met de S- en X-band radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5	Loc.6
mV/m	7.2	30	24.9	9.2	12.4	6.5
mA/m	0.020	79.5	0.066	0.024	0.032	0.017
mW/m²	0.0003	0.0023	0.0016	0.0002	0.0004	0.0001

Tabel 18 Stralingsniveaus aan de wal met de S-radar aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5	Loc.6
mV/m	6.3	005	30	039.4	015.7	5.8
mA/m	0.016	0.013	0.79	0.105	0.416	0.015
mW/m²	0.0001	0.0001	0.002	0.004	0.0006	0.0001

Tabel 19 Stralingsniveaus aan de wal zonder radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5	Loc.6
mV/m	928.2	008	385.2	41.3	026.8	33.9
mA/m	2.462	0.021	1.021	0.104	0.076	0.09
mW/m²	2.285	0.0001	0.395	0.004	0.002	0.003

BIJLAGE 7 STRALINGSNIVEAUS OP HET MONKEY ISLAND

Tabel 20 Stralingsniveaus op het monkey island op de hoogte A (0m) met de S- en X-band radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5
mV/m	684.5	613.1	655.4	635.4	419.7
mA/m	1.815	1.626	1.738	1.427	1.88
mW/m ²	1.242	0.997	1.135	1.070	0.535

Tabel 21 Stralingsniveaus op het monkey island op de hoogte B (2.5m) met de S- en X-band radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5
mV/m	1828	4791	4953	4.070	3.095
mA/m	5.125	12.70	13.300	10.79	4.012
mW/m ²	9.369	60.90	72.622	31.40	12.417

Tabel 22 Stralingsniveaus op het monkey island op de hoogte C (5m) met de S- en X-band radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5
mV/m	4880	3847	6693	4470	3654
mA/m	12.94	10.20	17.75	11.85	9.695
mW/m ²	63.18	36.85	118.8	53.01	45.390

Tabel 23 Stralingsniveaus op het monkey island op de hoogte A (0m) met de S-band radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5
mV/m	287.3	2.381	2.930	1.205	516.5
mA/m	0.762	6.321	7.821	3.196	1.370
mW/m ²	0.220	15.05	23.06	3.825	0.8708

Tabel 24 Stralingsniveaus op het monkey island op de hoogte B (2.5m) met de S-band radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5
mV/m	2039	1339	2620	2681	3.539
mA/m	5.408	3.550	6.951	7.290	9.382
mW/m ²	10.72	4.758	18.21	21.20	33.73

Tabel 25 Stralingsniveaus op het monkey island op de hoogte C (5m) met de S-band radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5
mV/m	4932	5022	5700	7082	5880
mA/m	12.10	13.32	15.12	13.28	14.56
mW/m ²	59.77	66.91	86.20	117.5	91.72

Tabel 26 Stralingsniveaus op het monkey island op de hoogte A (0m) zonder radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5
mV/m	119.3	1.321	3.007	0.827	063.8
mA/m	0.316	3.558	7.976	2.193	0.178
mW/m ²	0.037	4.405	23.98	1.824	0.0119

Tabel 27 Stralingsniveaus op het monkey island op de hoogte B (2.5m) zonder radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5
mV/m	1.329	3.012	2.859	3.618	2.589
mA/m	3.525	7.990	7.585	9.598	6.868
mW/m ²	3.025	24.06	21.69	34.73	17.78

Tabel 28 Stralingsniveaus op het monkey island op de hoogte C (5m) zonder radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5
mV/m	4.120	3.382	2.349	4.056	3.422
mA/m	10.92	8.971	6.233	10.75	4.561
mW/m ²	45.02	30.34	14.64	43.63	8.340

BIJLAGE 8 STRALINGSNIVEAUS OP DE BRUG EN OP DE BRUGVLEUGELS
Tabel 29 Stralingsniveaus op de brug op de hoogte A (0m) met de S- en X-band radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5	Loc.6
mV/m	533.6	1419	984.7	2422	7618	527.8
mA/m	1.415	3.811	2.610	6.424	20.20	1.550
mW/m²	0.000533	5.797	2.571	15.560	153.9	0.000906

Tabel 30 Stralingsniveaus op de brug op de hoogte B (2.5m) met de S-band radar aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5	Loc.6
mV/m	397.9	1490	979.2	2560	6645	741.3
mA/m	1.055	3.952	2.597	6.790	17.62	1.966
mW/m²	0.000419	5.890	2.543	17.38	117.1	1.457

Tabel 31 Stralingsniveaus op de brug op de hoogte C (5m) zonder radars aan (Mota, Metingen, 2017).

Eenheden	Loc.1	Loc.2	Loc.3	Loc.4	Loc.5	Loc.6
mV/m	573.2	1528	1044	3163	6033	030.0
mA/m	1.520	4.054	2.603	8.392	16.000	0.000091
mW/m²	0.000784	6.197	2.555	26.550	96.57	0.000003

BIBLIOGRAFIE

- Koninklijke Nederlandse Maatschappij ter bevordering der Pharmacie. (2017). *KNMP*. Opgehaald van https://www.knmp.nl/rekenmodules/lichaamsoppervlak_html
- Aljevragen. (2000-2017). Opgehaald van Aljevragen: <http://www.aljevragen.nl/sk/atoombouw/ATM048.html>
- Altpeter, E. S. (1995). *Study on health effects of*. Bern, Switzerland: BEW Publication Series.
- Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency . (2002). *Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields - 3kHz to 300GHz*. Chief Executive Officer of ARPANSA.
- Braune, S. W. (1998). *Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field*.
- Brown-Woodman, P. D. (1989). *Evaluation of reproductive function of female rats exposed to radiofrequency fields (27.12 MHz) near a shortwave diathermy device*.
- Damen shipyards cargo vessels. (2003). General Arrangement. Gorinchem 4200AA, Holland.
- Damen Shipyards Cargo. (2005-2006). Schip's tekeningen. *General Arrangement*. Nederland.
- Elekes, E. T. (1996). *'Effect on the immune system of mice exposed chronically to 50 Hz amplitude-modulated 2.45 GHz microwaves*.
- Elwood, J. (1999). *A critical review of epidemiologic studies of radiofrequency exposure and human cancers*. Dunedin.
- Emeritus, P. (2006). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. Person Education, Inc.
- Encyclopaedia Britannica. (2014). *Encyclopaedia Britannica*. Opgehaald van <http://corporate.britannica.com/>
- Fesenko, E. E. (1999). *Microwaves and cellular immunity. I. Effect of whole body microwave irradiation on tumor necrosis factor production in mouse cells*.
- Furuno. (2017). Opgehaald van www.FurunoUSA.com:
<https://www.furunousa.com/Learning%20Center%20Documents/FurunoRadarGuide-LR.pdf>
- Government United Kingdom . (2017). Opgehaald van <https://www.gov.uk/government/collections/national-radiological-protection-board-nrpb-report-series>
- Group SLAC. (2013, 6 30). Opgehaald van National Accelerator Laboratory: <http://www-group.slac.stanford.edu/esh/eshmanual/references/nirReqExpLimits.pdf>
- Halgamuge, M. N. (2015). Radio Hazard Safety Assessment for Marine Ship Transmitters:. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17.
- Hardell, L. N. (2000). *Use of cellular telephones and the risk for brain tumours*. International Journal of Oncology.
- Independent Expert Group On Mobile Phones. (2000). *Mobile Phones and Health*.
- Info Nu. (2006-2017). Opgehaald van Info Nu: <http://wetenschap.infonu.nl/natuurkunde/76087-wat-is-ionisatie.html>

- Inskip, P. D. (2001). *Cellulartelephone*. United States: New England Journal of Medicine.
- International Commission on non-ionizing Radiation Protection. (1998). *ICNIRP GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHZ)*.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2017). <http://www.icnirp.org/>. Opgehaald van <http://www.icnirp.org/en/home/home-read-more.html>
- International Convention for the Safety of Life at Sea. (1974). International Maritime Organization.
- Jauchem, J. R. (1998). *'Health effects of microwave exposures: a review of recent (1995-1998) literature*. Journal of Microwave Power and Electromagnetic.
- Jensh, R. P. (1997). *'Behavioral teratologic studies using microwave radiation: is there an increased risk from exposure to cellular phones and microwave ovens*.
- Lumpur, K. (2003). *Non-Ionizing Radiations—Sources, Biological Effects, Emissions*. Malaysia.
- Magras, I. N. (1997). *RF radiation-induced changes in the prenatal*.
- Mota, M. (2017, 6). Metingen. Falklands.
- Mota, M. (2017, februari). Paint illustraties.
- Muscat, J. E. (2000). *Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer*.
- NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY. (2016). www.nga.mil. Opgehaald van http://msi.nga.mil/MSISiteContent/StaticFiles/NAV_PUBS/RNM/310ch1.pdf
- Nederlandse vereniging voor audiologie. (2017). Opgehaald van Audiologieboek: <http://www.audiologieboek.nl/index.htm>
- Nederlandse Vereniging voor Stralingshygiëne. (2014-2017). Opgehaald van <https://www.nvs-straling.nl/>: <https://www.nvs-straling.nl/kennis/wat-is-straling>
- Novoselova, E. G. (1999). *Microwaves and cellular immunity. II. Immunostimulating effects of microwaves and naturally occurring antioxidant nutrients*.
- NWO Utrecht. (2017). www.nwo-i.nl. Opgehaald van <https://www.nwo-i.nl/personeelsinformatie/werk-en-arbo/werkenmetstraling/niet-ioniserende-straling/wat-zijn-de-risicos-van-niet-ioniserende-straling/>
- PCE group. (2014). PCE-EM29 Instruction Manual. Duitsland.
- PCE Instruments UK Ltd. (2016, 12 15). *PCE instruments*. Opgehaald van <https://www.pce-inst-benelux.nl/technische-specificaties/elektrische-veldmeter-pce-em-29.htm>
- Reedijk, D. (2007). *Nautische instrumenten en systemen*. Smit en Wytzes.
- Rice electronics. (2009). Opgehaald van www.riceelectronics.com: <http://www.riceelectronics.com/marine-radar.html>
- Rijkswaterstaat. (2017). Opgehaald van Antennebureau alles over antennes: <https://www.antennebureau.nl/>
- Sociaal Europa. (2014). *Elektromagnetische velden*. Europese Commissie.

- Sperry Marine. (2017). Opgehaald van <http://www.sperrymarine.com>:
<http://www.sperrymarine.com/system/files/downloads/59438fdc-b575-8884-61e2-09d26ca63759/VisionMaster%20FT%20Radar.pdf>
- Stang, A. A.-H. (2001). *The possible role of radiofrequency radiation in the development of*.
- Sterrenkunde. (sd). Opgehaald van Sterrenkunde:
<http://www.sterrenkunde.nl/index/encyclopedie/ionisati.html>
- Sterrenkunde. (2017). Opgehaald van Sterrenkunde:
<http://www.sterrenkunde.nl/index/encyclopedie/ionisati.html>
- Telecom ABC. (2005). *Telecom ABC*. Opgehaald van <http://www.telecomabc.nl/e/em.html>
- The Canadian Coast Guard. (2009). Radar Safety Guidelines. Canada.
- TU Delft. (2012-2013). *Golflengte en golfrequentie*. Opgehaald van Wat is radioactieve straling:
<http://watisradioactievestraling.tudelft.nl/site/info/golflengte-en-frequentie>
- Vitaal Water van Aqua Aurora. (sd). Opgehaald van <http://www.aqua-aurora.nl>: <http://www.aqua-aurora.nl/water-en-elektromagnetische-straling>
- Vitaal Water van Aqua Aurora. (2017). Opgehaald van <http://www.aqua-aurora.nl>: <http://www.aqua-aurora.nl/water-en-elektromagnetische-straling>
- Vlijmen, O. v. (2000). *Het cgs-eenhedenstelsel en afgeleiden*. Opgehaald van
<https://home.kpn.nl/vanadovv/cgs.html>
- Wolf, C. (2016). Opgehaald van Radar tutorial: <http://www.radartutorial.eu>
- World Health Organization. (2017). *Electromagnetic fields and public health: radars and human health*.
Opgehaald van Copyright World Health Organization: <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs226/en/>