

# TNO Defensie en Veiligheid

ONGERUBRICEERD

## TNO-rapport

### TNO-DV1 2005 C130

## Literatuurstudie naar de gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden rond 10 GHz: actualisering stand van zaken

TNO Defensie en Veiligheid  
Oude Waalsdorperweg 63  
Postbus 96864  
Den Haag

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

T 070 374 00 00  
F 070 328 09 61  
[info-DenV@tno.nl](mailto:info-DenV@tno.nl)

Datum	september 2005
Auteur(s)	Dr.ir. E.J. de Boer Ir. Chr.H.M. Clemens Dr.ir. E.I.M. Tjoe Nij Prof.dr.ir. A.P.M. Zwamborn Dr.ir. S.H.J.A. Vossen
Opdrachtgever	Ministerie van Defensie
Projectnummer	
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Titel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Aantal pagina's	45 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2005 TNO

ONGERUBRICEERD

# Managementuittreksel

Titel	:	Literatuurstudie naar de gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden rond 10 GHz: actualisering stand van zaken
Auteur(s)	:	Dr.ir. E.J. de Boer Ir. Chr.H.M. Clemens Dr.ir. E.I.M. Tjoe Nij Prof.dr.ir. A.P.M. Zwamborn Dr.ir. S.H.J.A. Vossen
Datum	:	7 oktober 2005
Opdrachtnr.	:	-
Rapportnr.	:	TNO-DV1 2005 C130

## **Probleemstelling**

Naar aanleiding van vragen over het optreden van kanker gerelateerd aan blootstelling aan radarstraling afkomstig van het grond-lucht-geleide-wapensysteem 'HAWK' heeft de Staatssecretaris van Defensie aan de Tweede Kamer toegezegd dat er literatuuronderzoek zal worden uitgevoerd. De hiertoe bij TNO geplaatste opdracht heeft tot doel het advies van de Gezondheidsraad uit 1997 over de blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden te actualiseren. In het licht van dit advies was een verband tussen het ontstaan van ziekteverschijnselen en blootstelling aan elektromagnetische velden van het HAWK-systeem niet aannemelijk. Met de resultaten van dit onderzoek moet kunnen worden vastgesteld of deze stelling staande kan worden gehouden. Het onderzoek beperkt zich tot niet-ioniserende straling in de door het HAWK-systeem gebruikte frequentieruimte (circa 10 GHz).

Uitgangspunt is het advies van de Gezondheidsraad uit 1997 waarin wordt geconcludeerd dat, om negatieve gevolgen voor de gezondheid te voorkomen binnen de relevante frequentieruimte, de specifieke absorptie van energie (SAR) waaraan men kan worden blootgesteld niet zou moeten worden overschreden. In zijn advies sloot de Gezondheidsraad hiermee aan bij gezaghebbende internationale organisaties zoals NRPB, ICNIRP en ANSI.

## **Beschrijving van de werkzaamheden**

Na het verschijnen van het advies van de Gezondheidsraad is zeer veel gepubliceerd op het gebied van blootstelling aan niet-ioniserende straling. Om gericht te zoeken naar literatuur die tot nieuwe inzichten kan leiden in relatie tot het HAWK-systeem was het nodig een afbakening met betrekking tot frequentie en kwaliteit van de publicaties te maken. Enkele publicaties die buiten de afbakening vallen zijn toch in het onderzoek meegenomen omdat deze, al dan niet relevant, geregeld worden aangehaald indien vermeende gezondheidseffecten worden toegeschreven aan de blootstelling aan elektromagnetische velden. Voorbeelden van deze publicaties zijn artikelen uit vaktijdschriften, rapporten van onderzoeksorganisaties en adviesbureaus en defensieorganisaties.

Bij de bestudering van de literatuur is een onderverdeling gemaakt in drie hoofdgroepen: overzichtstudies, epidemiologische studies en in vivo/in vitro onderzoek. De conform de hierboven aangegeven criteria geselecteerde literatuur is op

wetenschappelijke waarde beoordeeld. Daar waar een nadere toelichting op deze beoordeling wenselijk werd geacht, is de discussie uitgebreid. Tenslotte is het conceptrapport door een externe door TNO ingehuurde deskundige kritisch beoordeeld en daar waar nodig is het rapport aangepast..

### **Conclusies**

Uit de recente literatuur ontbreekt overtuigende bewijskracht dat blootstelling aan elektromagnetische velden bij de in deze literatuurstudie betrokken frequenties kanker zou kunnen veroorzaken. Het enige wetenschappelijk aangetoond effect is gezondheidsschade door opwarming. Met betrekking tot de onderzochte blootstellingkarakteristieken zijn er geen overtuigende aanwijzingen de op thermische effecten gebaseerde blootstellinglimieten zoals voorgesteld in het in 1997 uitgebrachte advies Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz – 300 GHz) voor radarsystemen zoals HAWK te herzien of aan te passen.

# Inhoudsopgave

	<b>Managementuittreksel.....</b>	<b>2</b>
	<b>Lijst van afkortingen .....</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Advies van de Gezondheidsraad uit 1997 .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Afbakening en beoordelingscriteria .....</b>	<b>10</b>
3.1	Periode van publicatie.....	10
3.2	Aard van de publicaties.....	10
3.3	Wetenschappelijke literatuur .....	10
3.4	Overige literatuur .....	13
3.5	Frequentieafbakening.....	13
3.6	Ioniserende straling.....	14
3.7	Verstorende factoren.....	15
<b>4</b>	<b>Defensiegerelateerde (internationale) ontwikkelingen .....</b>	<b>17</b>
4.1	Nederland.....	17
4.2	België.....	17
4.3	USA .....	17
4.4	Duitsland.....	19
4.5	Noorwegen.....	20
<b>5</b>	<b>Literatuurstudie .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Overzichtstudies.....</b>	<b>22</b>
6.1	Gezondheidsraad.....	22
6.2	ICNIRP .....	22
6.3	NRPB .....	22
<b>7</b>	<b>Epidemiologisch onderzoek .....</b>	<b>24</b>
7.1	Inleiding.....	24
7.2	Mortaliteit .....	24
7.3	Kanker.....	25
7.4	Cataract .....	28
7.5	Discussie .....	28
<b>8</b>	<b>Niet-epidemiologisch onderzoek.....</b>	<b>33</b>
8.1	In vivo onderzoek .....	33
8.2	In vitro onderzoek.....	34
8.3	Conclusie .....	35
<b>9</b>	<b>Conclusies .....</b>	<b>36</b>
<b>10</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>37</b>
<b>11</b>	<b>Ondertekening.....</b>	<b>40</b>

**Bijlage(n)**

A Electric field intensity levels near the HAWK system

B Elektrische veldsterkte in de omgeving van de HIPIR op GGW de Peel en Vliegbasis  
Leeuwarden

C Technische gegevens HAWK-systeem

## Lijst van afkortingen

ANSI	American National Standards Institute
AR	Attributief Risico
BBB	Blood Brain Barrier
CNS	Central Nervous System
DNA	Desoxyribonucleïnezuur
ELF	Extreem Lage Frequentie
EHF	Extreem Hoge Frequentie
EMF	Electromagnetic Field
GSM	Global System for Mobile communications
HF	Hoge Frequentie
HL	Human Lymfocytes
HPA	Health Protection Agency
HPM	High Power Microwaves
ICNIRP	International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection
LF	Lage Frequentie
NAVO	Noord Atlantische Verdrag Organisatie
NATO	North Atlantic Treaty Organisation
NRG	Nuclear Research & Consultancy Group
NRPB	National Radiological Protection Board
MF	Midden Frequentie
MOD	Ministry Of Defence
OR	Odds Ratio
RF	Radio frequent
RFR	Radio Frequency Radiation
RR	Relatief Risico
SAR	Specific Absorption Rate
SHF	Super Hoge Frequentie
SMR	Standardized Mortality Ratio
STANAG	Standard NATO Agreement
TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
UHF	Ultra Hoge Frequentie
USAF	US Airforce
UV	Ultra violet
UWB	Ultra Wideband
VF	Spraak Frequentie
VHF	Zeer Hoge Frequentie
VLF	Zeer Lage Frequentie

# 1 Inleiding

De HAWK is een grond-lucht-geleide-wapensysteem dat vanaf een mobiel onderstel wordt gelanceerd. Vakorganisaties in België hebben in 2004 grote zorgen geuit over het aantal sterfgevallen onder militairen die met het HAWK-systeem hebben gewerkt. In januari 2005 verscheen in een landelijk dagblad een artikel waarin een relatie werd gelegd tussen het optreden van kanker en blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van het HAWK-systeem. Hiermee is de veronderstelde relatie tussen het werken met het HAWK-systeem en schade aan de gezondheid weer actueel geworden. Naar aanleiding van dit artikel heeft de Staatssecretaris van Defensie aan de Tweede Kamer toegezegd dat er een literatuuronderzoek zal worden gestart naar deze relatie.

De kwestie van de HAWK, in het bijzonder de vermeende schade aan de gezondheid na blootstelling aan de elektromagnetische velden van de opsporingsradar die met het systeem is verbonden, is enige jaren geleden al onderwerp van onderzoek geweest en heeft in 2001 geleid tot twee TNO-rapporten [1], [2]. In deze rapporten, waarvan de managementuittreksels in de bijlagen A en B van dit rapport zijn opgenomen, is de blootstelling aan elektromagnetische velden tengevolge van het HAWK-systeem beschreven. In het licht van het uit 1997 daterende advies van de Gezondheidsraad [3] over de blootstelling aan radiofrequente (RF) elektromagnetische velden was een verband tussen het ontstaan van ziekteverschijnselen en blootstelling aan elektromagnetische velden van het HAWK-systeem niet aannemelijk.

Nu de vraag of er verband bestaat tussen het ontstaan van ziekteverschijnselen en het werken met het HAWK-systeem opnieuw actueel is geworden is het belangrijk nieuwe inzichten vanaf het uitkomen van het advies van de Gezondheidsraad te bestuderen. Voor wat betreft de blootstelling kan worden verwezen naar de hiervoor genoemde TNO-rapporten. Om tot nieuwe inzichten te kunnen komen is ervoor gekozen een literatuuronderzoek uit te voeren met als doel het actualiseren van het in 1997 door de Gezondheidsraad uitgebrachte advies. Hiertoe is door het Ministerie van Defensie aan TNO een opdracht versterkt. Het onderzoek is uitgevoerd door TNO Defensie en Veiligheid en TNO Kwaliteit van Leven.

In hoofdstuk 2 wordt kort ingegaan op het in 1997 door de Gezondheidsraad uitgebrachte advies. Het HAWK-systeem werkt in een klein gedeelte (rond 10 GHz) van de frequentieruimte die door de Gezondheidsraad in zijn advies is betrokken. De literatuurstudie zal beperkt blijven tot niet-ioniserende straling in de voor het HAWK-systeem relevante frequentiebanden. De afbakening van de literatuurstudie wordt in hoofdstuk 3 nader toegelicht. Tevens wordt hier ingegaan op de eisen die aan wetenschappelijk onderzoek dienen te worden gesteld willen de resultaten hiervan gebruikt kunnen worden voor het vaststellen van een causaal verband tussen blootstelling aan elektromagnetische velden en het optreden van negatieve effecten op de gezondheid.

De bezorgdheid over de blootstelling aan elektromagnetische velden bij het HAWK-systeem wordt vaak in verband gebracht met soortgelijke vraagstukken bij buitenlandse defensieorganisaties. In hoofdstuk 4 is daarom een kort overzicht van internationale defensiegerelateerde ontwikkelingen en onderzoeksprogramma's opgenomen.

Hoofdstuk 5 beschrijft het eigenlijke literatuuronderzoek waarbij met zoekmachines naar relevante wetenschappelijke literatuur is gezocht. De in het onderzoek gevonden publicaties worden becommentarieerd en op bruikbaarheid beoordeeld. Hierbij is een onderverdeling gemaakt in drie hoofdgroepen: overzichtstudies (hoofdstuk 6), epidemiologische studies (hoofdstuk 7) en in vivo onderzoek/in vitro onderzoek (hoofdstuk 8).

In hoofdstuk 9 wordt op basis van de bestudeerde wetenschappelijke literatuur en overige documenten conclusies getrokken ten aanzien van de noodzaak tot het aanpassen van het advies van de Gezondheidsraad uit 1997.



## 2 Advies van de Gezondheidsraad uit 1997

Op 15 februari 1995 installeerde de Voorzitter van de Gezondheidsraad de Commissie “Radiofrequente Straling”. De opdracht aan de commissie bestond uit het inventariseren van de wetenschappelijke stand van zaken op het gebied van de blootstelling aan elektromagnetische velden en het doen van aanbevelingen voor maximaal aanvaardbare blootstelling. De commissie heeft zich van haar opdracht gekweten door een antwoord te geven op een tweetal vragen met betrekking tot de blootstelling aan elektromagnetische velden:

- 1 Welke aanbevelingen voor gezondheidkundige advieswaarden kunnen worden gegeven met betrekking tot blootstelling aan RF-elektromagnetische velden, die zoveel mogelijk overeenkomen met internationale normen en richtlijnen?
- 2 Welke gevolgen heeft de implementatie van de voor te stellen richtlijnen voor het werken met RF elektromagnetische velden of het gebruik van specifieke toepassingen, zoals draadloze telecommunicatieapparatuur of 'sealing' apparaten?

De beantwoording van deze twee vragen heeft geleid tot een advies [3]. Het advies heeft betrekking op frequenties tussen 300 Hz en 300 GHz.

Voor frequenties boven 10 MHz is de Gezondheidsraad bij het vaststellen van de maximale blootstellingsadvieswaarden uitgegaan van thermische gezondheidseffecten. De met het opstellen van het advies belaste commissie kon de vermeende biologische effecten als gevolg van niet-thermische mechanismen niet gebruiken bij het vaststellen van blootstellingsadvieswaarden omdat het onderzoek naar deze mechanismen niet voldeed aan de door de Gezondheidsraad aan wetenschappelijk onderzoek gestelde eisen.

De commissie heeft in 1997 geconcludeerd dat, om negatieve gevolgen voor de gezondheid te voorkomen, bepaalde niveaus voor de in het lichaam geïnduceerde elektrische stroomdichtheid, de specifieke absorptie van energie (SAR) en de vermogensdichtheid van elektromagnetische velden tijdens blootstelling niet zouden moeten worden overschreden. Deze gezondheidkundige blootstellingsadvieswaarden worden in het advies aangeduid met de benaming 'basisbeperkingen'. In zijn advies sloot de Gezondheidsraad hiermee aan bij gezaghebbende internationale organisaties zoals NRPB<sup>1</sup>, ICNIRP en ANSI.

Geïnduceerde elektrische stroomdichtheid en SAR zijn in een mens in de praktijk niet danwel moeilijk te meten. De commissie heeft daarom uit de basisbeperkingen meetbare blootstellinglimieten afgeleid. De bij deze afleiding gebruikte modellen wijken soms af van de modellen die door andere organisaties zijn toegepast. Hierdoor zijn er internationaal onderling kleine verschillen in de afgeleide blootstellinglimieten.

---

<sup>1</sup> On 1 April 2005 the National Radiological Protection Board merged with the Health Protection Agency forming its new Radiation Protection Division

## 3 Afbakening en beoordelingscriteria

### 3.1 Periode van publicatie

Het advies "Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz – 300 GHz)" van de Gezondheidsraad is uitgebracht in januari 1997. Het advies geeft een overzicht van de stand van de wetenschap tot medio 1996. Aangezien met het onderhavige onderzoek een actualisatie van dit advies wordt beoogd zal in eerste instantie de literatuur die is verschenen in de periode medio 1996 tot september 2005 worden betrokken.

### 3.2 Aard van de publicaties

Het literatuuronderzoek handelt over gezondheid in relatie tot blootstelling aan elektromagnetische velden en richt zich specifiek op frequentiegebieden waarvan radarsystemen gebruik maken. Hierbij zijn naast epidemiologische studies theoretische en experimentele studies betrokken. Specifiek is gekeken naar gerapporteerde effecten die tot ernstige gezondheidsklachten kunnen leiden.

### 3.3 Wetenschappelijke literatuur

Conclusies ten aanzien van de effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden op de gezondheid zullen worden gebaseerd op een analyse van de wetenschappelijke literatuur. Bij het beoordelen van de resultaten van een (epidemiologische) studie is het niet alleen belangrijk om de resultaten en de vorm van het onderzoek te bestuderen maar ook het aantonen van relaties tussen determinanten en ziekte in oorzaak-gevolg (causaliteit, zie paragraaf 3.3.2). Een effect, biologisch danwel op de gezondheid, wordt geacht wetenschappelijk te zijn aangetoond, indien is voldaan aan de vijf hierna volgende objectieve eisen. Deze eisen komen overeen met die de Gezondheidsraad bij het opstellen van zijn adviezen hanteert en sluiten de eisen die door Hill [4] zijn geformuleerd voor epidemiologisch onderzoek in.

- 1 Het onderzoek is gepubliceerd in internationaal gerefereerde tijdschriften van algemeen in de wetenschappelijke wereld geaccepteerde adequate kwaliteit.
- 2 Het onderzoek is van adequate kwaliteit volgens de in de wetenschappelijke wereld gangbare normen.
- 3 De onderzoeksresultaten zijn reproduceerbaar gebleken (voor laboratoriumonderzoek) of consistent (zie paragraaf 3.3.2) op grond van onderzoek als bedoeld onder (1) en (2) dat is uitgevoerd door andere, onafhankelijke onderzoekers.
- 4 Het onderzoeksresultaat is onderbouwd met een kwantitatieve analyse, die leidt tot de conclusie dat er een statistisch significante relatie bestaat tussen blootstelling en effect. Voor epidemiologisch onderzoek geldt daarbij dat een oorzakelijk verband aannemelijker wordt naarmate de associatie sterker is (zie ook paragraaf 3.3.2).
- 5 De sterkte van het effect is gerelateerd aan de sterkte van de prikkel, ofwel: er is een dosis-respons relatie (zie ook paragraaf 3.3.2). Deze relatie hoeft niet zodanig te zijn dat het effect toeneemt met sterkere prikkel, maar kan ook een resonantie-effect inhouden. Dat wil zeggen dat bij een bepaalde stimulus er een maximaal effect is en bij een sterkere of minder sterke prikkel een minder of zelfs geen effect.

Dat de blootstelling aan een elektromagnetisch veld een biologisch effect of een effect op de gezondheid veroorzaakt wordt geacht te zijn aangetoond indien de beschikbare literatuur aan al deze vijf voorwaarden voldoet. Daarnaast is het van belang of er een voor deskundigen aanvaardbare hypothese bestaat over de wijze waarop de stimulus het effect kan veroorzaken, ofwel of er een mogelijk biologisch (of psychologisch) mechanisme is. Kennis over een mechanisme wordt echter niet als een noodzakelijke voorwaarde gesteld indien dit een duidelijk en niet te negeren oorzakelijk verband aantoont. Bij zwakke associaties in epidemiologisch onderzoek is kennis over een mechanisme echter wel van belang.

Het vaststellen of aan de hiervoor genoemde eisen wordt voldaan is niet eenvoudig. Recent zijn door Lin [5] eisen voor het evalueren van de literatuur over biologische effecten van RF elektromagnetische velden gepubliceerd. In zijn publicatie geeft hij een aantal algemene principes die dienen te worden gehanteerd bij het vaststellen van de waarschijnlijkheid dat een biologisch effect wordt veroorzaakt door een bepaalde blootstelling. Hij gaat met name in op het belang van het goed beschrijven van de onderzoeksmethode en de toegepaste blootstellingssystemen. Door het sterk heterogene karakter dat weefsels kunnen hebben voldoen simpele modellen voor het bepalen van de blootstelling veelal niet. Biologische effecten kunnen hierdoor ten onrechte worden toegeschreven aan een bepaalde blootstelling.

Is een biologisch effect door middel van onderzoek met proefdieren eenmaal vastgesteld dan dient er voor gewaakt te worden dat onderzoeksresultaten van niet humaan onderzoek zonder meer worden geëxtrapoleerd naar een effect bij de mens.

Tot slot besteedt Lin uitgebreid aandacht aan het feit dat niet elk biologisch effect dat wordt waargenomen een negatief gevolg voor de gezondheid hoeft te hebben.

### 3.3.1 *Observationeel onderzoek bij mensen*

Observationeel onderzoek onderscheidt zich van interventieonderzoek en observeert de relatie tussen specifieke factoren (bijvoorbeeld de voeding) en gezondheid bij een groep mensen. Bij observationeel onderzoek wordt het natuurlijke beloop van de ziekte bestudeerd zonder actief in te grijpen. Hiermee is het observationeel onderzoek tegengesteld aan een experimenteel onderzoek, waarbij juist wel actief wordt ingegrepen (zie interventiestudies). Observationeel onderzoek is vervolgens onder te verdelen in patiënt-controle-onderzoek en cohortonderzoek [6].

- **Patiënt-controle-onderzoek**

Bij patiënt-controle-onderzoek vormt de ziekte het uitgangspunt. De onderzoekers beginnen meestal met het verzamelen van personen met de ziekte. Bij deze patiëntengroep wordt een geschikte controlegroep gezocht. Vervolgens wordt bij de mensen uit beide groepen informatie verzameld over bijvoorbeeld blootstelling aan een bepaalde factor (zoals soort beroep) in het verleden. Er wordt bijvoorbeeld navraag gedaan naar de blootstelling aan een bepaalde factor in het jaar voorafgaand aan de diagnose om te onderzoeken of de blootstellingsfactor een bijdrage heeft geleverd aan de ontwikkeling van de ziekte. Een beperking van dit type observationeel onderzoek is dat de mensen bij aanvang van de studie al ziek zijn. Hierdoor is het niet duidelijk of de blootstellingsfactor die onderzocht wordt de oorzaak of het gevolg van de ziekte is. Mensen met een ziekte hebben misschien al voordat de ziekte zich manifesteerde hun beroep veranderd. Verder wordt bij het navragen van de blootstelling in het verleden een groot beroep gedaan op het geheugen van mensen hetgeen een extra onzekerheid introduceert. Doordat de

determinant en het gevolg niet in chronologische volgorde worden nagevraagd wordt aan dit type onderzoek minder “bewijskracht” gegeven dan aan een cohortonderzoek [6].

- Cohortonderzoek

In een cohortonderzoek wordt bij veelal een grote groep personen, die bij aanvang van de studie ogenschijnlijk gezond waren, herhaaldelijk navraag gedaan naar bepaalde blootstellingsfactoren (bijvoorbeeld soort beroep). De groep wordt in de tijd gevolgd (follow-up) en gedurende deze follow-up periode kunnen mensen uit de cohort ziek worden of overlijden. Uiteindelijk wordt bestudeerd of een bepaalde blootstellingsfactor mogelijk samenhangt met het optreden van (ernstige) ziektes bijvoorbeeld kanker of hart- en vaatziekten. De richting bij een cohortonderzoek is van determinant (oorzaak) naar gevolg. Omdat informatie over de determinant wordt verkregen voordat mensen weten of ze uiteindelijk een ziekte zullen krijgen of niet, wordt aan dit type onderzoek een duidelijke waarde gehecht. Cohortonderzoek kan echter geen bewijs leveren dat een bepaalde blootstellingsfactor de ziekte heeft veroorzaakt. Mogelijk zijn er andere ongemeten of onbekende factoren in het spel.

Indien er een verband is gevonden voor een bepaalde blootstellingsfactor in relatie tot de gezondheid, is aanvullend interventie-onderzoek nodig om te bepalen of deze specifieke factor ook daadwerkelijk een bepaald gezondheidseffect veroorzaakt.

De onderzoeksresultaten van observationeel onderzoek moeten dus voorzichtig worden geïnterpreteerd en zijn in de regel hypothese genererend.

### 3.3.2 *Causaliteit*

Om een zo goed mogelijke schatting van de bijdrage van een determinant aan het ontstaan van een bestudeerde aandoening te kunnen geven, worden onderzoeksresultaten samengevat aan de hand van enkele criteria welke ook deels in paragraaf 3.3 kort zijn aangehaald. Met behulp van deze criteria kan in de literatuur op systematische wijze worden nagegaan of er wellicht sprake is van een causale relatie.

De criteria voor bewijskracht uit experimenteel onderzoek, validiteit en biologische plausibiliteit hebben betrekking op de vorm van het onderzoek en de inhoud van de onderzochte relatie. De criteria voor tijdsrelatie, de sterkte van het verband, de aanwezigheid van een blootstelling-effect relatie, de consistentie van de bevindingen en het bestaan van analogieën hebben betrekking op de interpretatie van de onderzoeksresultaten. De criteria zullen hier kort worden toegelicht.

- Bewijskracht uit experimenteel onderzoek  
Als op grond van observationeel onderzoek duidelijkheid is over bepaalde risicofactoren of prognostische factoren kan in een experiment worden onderzocht of het wegnemen van de oorzaak of prognostische factor het ontstaan van een ziekte of aandoening beïnvloedt.
- Validiteit  
Is het betreffende verband geldig voor de onderzochte populatie (intern) en zijn de conclusies van toepassing op andere populaties (extern).
- Biologische plausibiliteit  
Hierbij is het van belang of het biologisch aannemelijk is dat een causaal verband waarschijnlijk is.
- Tijdsrelatie  
Het is een noodzakelijke voorwaarde dat de oorzaak voorafgaat aan het gevolg.

Echter, het aanwezig zijn van de juiste volgorde hoeft nog niet de aanwezigheid van een causaal verband te betekenen.

- **Sterkte van het verband**  
Over het algemeen kan worden gesteld dat hoe sterker het verband, hoe waarschijnlijker het is dat er sprake is van een causale relatie. Twee maten die vaak worden gebruikt bij het uitdrukken van een verband zijn het relatief risico (RR) waarmee de verhouding tussen de incidentie van de blootgestelde en niet-blootgestelde personen wordt aangeduid en de odds ratio (OR). Met de OR wordt de prevalentie (aantal zieke personen in een bepaalde periode) van de blootstelling in de patiënten groep met die in de controlegroep vergeleken.
- **Blootstelling-effect relatie**  
Verondersteld wordt dat het effect toeneemt bij een toename in intensiteit en duur van de veronderstelde oorzaak. Echter, een mogelijke versturende factor (zie paragraaf 3.7) kan ook een blootstelling-effect relatie veroorzaken. Enige voorzichtigheid bij het interpreteren van een mogelijke blootstelling-effect relatie is dus noodzakelijk.
- **Consistentie**  
Hierbij is het van belang dat hetzelfde verband door verschillende onderzoekers wordt aangetoond. Verder is het belangrijk dat hetzelfde verband tevens op verschillende momenten, in verschillende populaties en het liefst met een verschillende onderzoeksopzet wordt gevonden.
- **Analogie**  
Bij dit criterium is het van belang dat de onderzoeker zich de vraag stelt of er van de bestudeerde relatie verwante voorbeelden bekend zijn waarbij de causale relatie wel is vastgesteld. Hierbij kan worden gedacht aan analoge blootstellingen die dezelfde effecten hebben.

### 3.4 Overige literatuur

Publicaties die niet voldoen aan de eisen die genoemd in paragraaf 3.3 worden in beperkte mate, zelfs als de resultaten niet in een zogenoemd peer-reviewed tijdschrift zijn gepubliceerd, in het onderzoek meegenomen waarbij het projectteam optreedt als peer-reviewer. In dit geval kunnen uiteraard geen conclusies worden getrokken ten aanzien van de relatie tussen blootstelling en gezondheidseffecten. Voorbeelden van dit soort niet wetenschappelijke publicaties zijn artikelen uit vaktijdschriften, rapporten van onderzoeksorganisaties en adviesbureaus. De reden om deze publicaties in dit onderzoek te betrekken is dat deze, al dan niet ten onrechte, geregeld worden aangehaald indien vermeende gezondheidseffecten worden toegeschreven aan de blootstelling aan elektromagnetische velden.

### 3.5 Frequentieafbakening

Met name in de frequentiebanden die worden toegepast bij mobiele communicatie zoals GSM (0,9 GHz en 1,8 GHz) is veel onderzoek verricht en is dienovereenkomstig veel literatuur beschikbaar. Het HAWK-systeem opereert in het frequentiegebied rond 10 GHz (zie Bijlage C) en maakt hiermee gebruik van frequenties die een stuk hoger liggen dan die voor GSM worden toegepast. Hoewel de relevantie van onderzoeksresultaten verkregen op GSM frequenties voor deze literatuurstudie discutabel is, is er, omwille van in paragraaf 3.4 aangegeven redenen, in bepaalde gevallen toch voor gekozen het frequentiegebied dat globaal loopt van 1 GHz tot 10 GHz te betrekken in het onderzoek. In de vakliteratuur worden deze frequenties

veelal aangeduid met UHF en SHF. Tabel 2.1 geeft de indeling, benaming en voorbeelden van bronnen binnen de verschillende frequentiegebieden.

Tabel 2.1 Indeling frequentiespectrum (ITU indeling).

Frequentiegebied	Benaming		Voorbeelden van bronnen
0-30 Hz	Sub-extremely low frequency		
30-300 Hz	Extremely low frequency	ELF	Elektrische energievoorziening, audio, onderwaterradiocommunicatie
0.3-3 kHz	Voice frequency	VF	Stem en audio
3-30 kHz	Very low frequency	VLF	Long-range communications, navigatie, audio
30-300 MHz	Low frequency	LF	Radionavigatie, langegolfomroep
0.3-3 MHz	Medium frequency	MF	Middengolfradio, radionavigatie, amateurradio, industriële installaties
3-30 MHz	High frequency	HF	CB radio, amateurradio, medische diathermie-apparaten, industriële installaties
30-300 MHz	Very high frequency	VHF	Televisie, FM radio, amateurradio, lucht/verkeers controle, politie/brandweer/ambulance communicatieapparatuur
300-3,000 MHz	Ultra high frequency	UHF	Radar, TV, CB radio, amateur radio, radio navigatie, magnetrons, medicinale diathermie, GSM, UMTS, industriële installaties, WiFi, Bluetooth
3-30 GHz	Super high frequency	SHF	Radarinstallaties, satellietcommunicatie
30-300 GHz	Extremely high frequency	EHF	Radarinstallaties, satellietcommunicatie, straalverbindingen

De frequentieafbakening houdt in dat in het huidige onderzoek in principe niet wordt gerapporteerd over studies die betrekking hebben op lagere frequenties zoals die optreden bij hoogspanningskabels en radio- en televisieomroep of over studies op hogere frequenties (EHF).

### 3.6 Ioniserende straling

Gezondheidseffecten van blootstelling aan ioniserende straling vormen geen onderdeel van dit literatuuronderzoek. Dit heeft twee redenen. Ten eerste is de relatie tussen blootstelling aan ioniserende straling en kanker bekend. Ioniserende straling kan weefsel en DNA beschadigen. Hierdoor neemt bij verhoogde blootstelling de kans op gezondheidsschade, zoals het ontstaan van kanker, toe [8]. Bovendien is in 2001 in opdracht van het Ministerie van Defensie door de Nuclear Research & Consultancy Group (NRG) al onderzoek verricht naar dosimetrie van parasitaire röntgenstraling afkomstig van HAWK-systemen. De NRG concludeerde dat bij de metingen die zijn uitgevoerd aan de toen operationele HAWK-systemen geen aanwijzingen konden worden gevonden van blootstelling aan parasitaire röntgenstraling onder operationele omstandigheden [9].

### 3.7 Versturende factoren

#### 3.7.1 *Misclassificatie van de blootstelling*

Een belangrijk aspect bij het vaststellen van een mogelijke blootstelling aan elektromagnetische velden is het bepalen van de duur en intensiteit hiervan. Fouten die resulteren in een vertekende weergave van het werkelijke verband worden niet alleen gegenereerd door onzekerheid in de blootstelling aan elektromagnetische velden. Slecht geregistreeerde blootstelling leidt veelal tot misclassificatie. Dit houdt in dat personen ten onrechte in een bepaalde blootstellingscategorie worden geplaatst. Misclassificatie van de blootstelling kan onder andere het gevolg zijn van “*recall bias*”, waarbij de blootstelling achteraf geschat moet worden op basis van herinneringen van de onderzochte persoon. Misclassificatie die ontstaat door het foutief verdelen van de onderzoekspopulatie in blootstellingsgroepen leidt vaak tot een onderschatting van het werkelijke effect.

De SAR is een maat voor de opname van elektromagnetisch vermogen in het lichaam en is daarmee gecombineerd met het thermoregulerend vermogen van het lichaam een maat voor de opwarming. In zijn advies van 1997 onderschrijft de Gezondheidsraad dat bij een langdurige verhoging van de kerntemperatuur van het lichaam de temperatuurstijging niet hoger moet zijn dan 1 °C, wil er geen gezondheidsschade optreden. Uit dierexperimenten blijkt dat deze opwarming niet optreedt bij een SAR die gemiddeld over het hele lichaam een waarde van 4 W/kg niet te boven gaat. Blootstelling met een SAR van meer dan 4 W/kg kan zowel korte- als langetermijneffecten veroorzaken. Kortetermijneffecten zoals het ontstaan van gedragsveranderingen zijn bekend maar of een grote temperatuurverhoging via het beschadigen van DNA kan leiden tot kanker dat als een langetermijneffect kan worden aangemerkt is nog onduidelijk [3].

Het bepalen van de SAR is in de praktijk erg moeilijk. De in de literatuur genoemde resultaten zijn veelal niet gebaseerd op metingen van de blootstelling maar op bepaalde blootstellingkarakteristieken die worden toegekend aan een bepaald beroep, of het wonen of werken op een bepaalde afstand tot een bron van elektromagnetische velden. Als gevolg hiervan moet bij de beoordeling van de literatuur ervan worden uitgegaan dat de blootstelling onjuist geclassificeerd kan zijn.

#### 3.7.2 *Confounding*

Een vertekening van het werkelijke verband tussen blootstelling en effect kan ook ontstaan doordat onvoldoende rekening wordt gehouden met het versturende effect van andere blootstellingsfactoren [7]. Er wordt van “*confounding*” gesproken als het geregistreeerde effect ten onrechte aan een bepaalde blootstelling wordt toegekend, of als het effect het gevolg is van een combinatie van factoren. Voor het bepalen van een mogelijk gezondheidsrisico na blootstelling aan elektromagnetische velden op UHF/SHF frequenties is het bijvoorbeeld belangrijk om rekening te houden andere fysische factoren zoals blootstelling aan ELF elektromagnetische velden of chemische factoren. In hoofdstuk 4 komt het werk van de in Duitsland ingestelde Radarkommission [10] aan de orde. Uit het rapport van deze commissie komt naar voren dat militairen die aan radarapparatuur hebben gewerkt hetzij tijdens een militaire operatie of militairen die onderhouds- en reparatiewerkzaamheden aan radarapparatuur hebben uitgevoerd, mogelijk ook blootgesteld zijn aan röntgenstraling (ioniserend) en aan de straling van radium bevattende verf. Behalve dat een vertekening kan ontstaan omdat de

gezondheidsschade ontstaat door blootstelling aan andere factoren dan de blootstelling aan elektromagnetische velden, kan een combinatie van verschillende blootstellingen verantwoordelijk zijn voor een effect. Zo zouden effecten vaker op kunnen treden bij rokers, ook na correctie voor rookgedrag, omdat het totale effect groter is dan de som van de effecten.

### 3.7.3 *Selectie bias (healthy worker effect)*

Naast versturende factoren kan een bepaald selectiemechanisme voorafgaand aan het onderzoek van invloed zijn op de uitkomst van het onderzoek. Selectiebias is een systematische fout in een onderzoek die wordt veroorzaakt door procedures die zijn gebruikt om individuen te selecteren voor een onderzoek en door factoren die de bereidheid om mee te doen aan een onderzoek beïnvloeden. Het komt erop neer dat de blootstellings-respons relatie hierdoor verschillend is voor deelnemers en niet-deelnemers aan de studie. Een specifieke vorm van selectie bias is het healthy worker effect.

Een voorbeeld hiervan is het schatten van beroepsrisico's die verbonden zijn aan het werken in een bepaalde bedrijfstak (bijvoorbeeld militairen). In epidemiologisch onderzoek worden vaak mortaliteitscijfers (sterftcijfers) in de desbetreffende industriële cohort vergeleken met die in de algemene bevolking. Doorgaans zullen werknemers vergeleken met de algemene bevolking een kleinere kans hebben op het krijgen van ernstige aandoeningen. In de afwezigheid van een effect van de beroepsmatige blootstellingen op de mortaliteit bestaat er veelal een negatieve associatie tussen cumulatieve blootstelling en mortaliteit. Dit fenomeen wordt het "healthy worker" effect genoemd. De oorzaak is dat personen met een goede gezondheid een grotere kans op tewerkstelling hebben en minder snel uit een beroeps populatie zullen verdwijnen dan personen met een zwakke gezondheid. Militairen ondergaan een aanstellingskeuring en krijgen gedurende hun diensttijd periodiek geneeskundig onderzoek, waardoor verwacht mag worden dat na correctie voor sterfte door oorlogshandelingen, deze vorm van vertekening een vrij groot effect heeft op de uitkomsten van onderzoek binnen deze populatie [11], [12].



## 4 Defensiegerelateerde (internationale) ontwikkelingen

In dit hoofdstuk worden enkele onderzoeksorganisaties, studies en publicaties aan de orde gesteld die gerelateerd zijn aan de problematiek van blootstelling aan elektromagnetische velden onder militaire omstandigheden. Reden om deze te vermelden is dat ze geregeld worden aangehaald indien vermeende gezondheidsklachten worden toegeschreven aan de blootstelling aan elektromagnetische velden. Van alle publicaties zal de relevantie voor het vigerende onderzoek worden aangegeven.

### 4.1 Nederland

Naar aanleiding van de berichtgeving over vermeende schadelijke effecten tengevolge van het werken met het HAWK-systeem is enige jaren geleden de behoefte ontstaan om van alle bij Defensie in gebruik zijnde radarsystemen voor verschillende operationele omstandigheden de veiligheidsafstanden te bepalen danwel te verifiëren [13]. Deze door TNO uitgevoerde inventarisatie toonde aan dat voor nagenoeg alle radarsystemen door Defensie een grotere veiligheidsafstand werd gehanteerd dan de veiligheidsafstanden die TNO op basis van uitgevoerde metingen en berekeningen had bepaald. De inventarisatie had slechts betrekking op de veiligheidsafstanden. Als basis voor het bepalen van deze veiligheidsafstanden is de door NATO uitgegeven standaard STANAG 2345 [14] gebruikt. Het TNO-rapport over de veiligheidsafstanden gaat niet in op biologische effecten van de blootstelling aan elektromagnetische velden.

### 4.2 België

In België is eind jaren negentig van de vorige eeuw zorg ontstaan over sterfgevallen onder militairen die met het HAWK-systeem hebben gewerkt. Deze sterfgevallen werden toegeschreven aan het werken met het HAWK-systeem. Naar aanleiding hiervan is een epidemiologisch onderzoek gestart waarvan de resultaten in augustus 2005 zijn gepubliceerd [15]. De resultaten van dit onderzoek worden aan de orde gesteld in hoofdstuk 7.

### 4.3 USA

Het Amerikaanse Ministerie van Defensie is wereldwijd een van de grootste ontwikkelaars en gebruikers van apparatuur die gebruik maakt van RF elektromagnetische velden. Naar schatting zijn er 8000 verschillende soorten apparaten operationeel. Momenteel wordt nieuwe apparatuur ontwikkeld die gebruik maakt van “high power microwaves” (HPM) en “ultra-wideband” (UWB) elektromagnetische velden. Bij gebruik van dergelijke apparatuur worden mens en milieu onvermijdelijk in enige mate blootgesteld aan elektromagnetische velden, terwijl vooral militairen risico lopen op onvoorziene blootstelling aan hogere niveaus.

#### 4.3.1 *PAVE PAWS Radar Systeem*

Het PAVE PAW Radar System is een radar systeem van de Amerikaanse luchtmacht (USAF) werkend op 450 MHz en een vermogen van circa 582 kW. De antenne van het systeem heeft een diameter van circa 25 m. In de omgeving van deze antenne is eind jaren negentig van de vorige eeuw bij de bevolking zorg ontstaan over gezondheidseffecten tengevolge van de aanwezigheid van dit radarsysteem. Deze zorg

is vervolgens gevoed door publicaties en uitlatingen van Dr. R.A. Albanese. De frequentie waarop deze rader werkt ligt buiten het aandachtsgebied van het literatuuronderzoek. De onrust over het PAVE PAWS systeem wordt hier toch als voorbeeld genoemd omdat hiermee wordt geïllustreerd wat de gevolgen zijn van het niet hanteren van de in hoofdstuk 2.3.1 genoemde criteria voor wetenschappelijk onderzoek. In een reactie door R.K. Adair [16] worden alle argumenten van Albanese weerlegd door feitelijk aan te tonen dat het werk dat Albanese aanhaalt niet voldoet aan de criteria voor wetenschappelijk onderzoek.

#### 4.3.2 *Onderzoek*

De U.S. Air Force voert onderzoek uit met als doel de potentiële gevaren van RF-apparatuur en -emitters te identificeren en te beheren, zodat deze apparatuur voor de nationale defensie kan worden ingezet met minimaal gevaar voor personen en het milieu [17]. Het Amerikaanse onderzoek richt zich op vier sleutelgebieden:

##### 4.3.2.1 *Biologische effecten van HPM*

De term HPM verwijst gewoonlijk naar gepulste microgolven die worden uitgezonden met een hoog piekvermogen en laag gemiddeld vermogen. Wereldwijd wordt veel HPM-apparatuur gebruikt. Dit zijn typisch zenders die microseconde-pulsen uitzenden met een piekvermogen tussen een kilowatt en een megawatt en zich bevinden op of nabij grote luchthavens of militaire installaties.

##### 4.3.2.2 *Biologische effecten van UWB elektromagnetische velden*

Ultra-wideband elektromagnetische velden bestaat uit zeer kortdurende pulsen (nanoseconden) met een korte stijgtijd. Vanwege deze korte stijgtijd en korte duur hebben UWB-pulsen een uitzonderlijk grote bandbreedte in het elektromagnetische spectrum. De elektrische veldwaarden van dergelijke pulsen kunnen nabij de bron een zeer hoge amplitude hebben van honderden kV/m.

##### 4.3.2.3 *Biologische effecten van millimetergolven*

Sinds het begin van de jaren tachtig vinden millimetergolven voornamelijk militaire toepassing (radar & communicatie). Momenteel wordt in dit frequentiegebied apparatuur ontwikkeld voor civiele toepassingen op het gebied van communicatie en verkeerstoezicht. Recente rapporten tonen aan dat het Amerikaanse leger overweegt om 95 GHz millimetergolven te gebruiken voor een uniek, niet-dodelijk dwang- en verdedigingsmiddel. Hierbij zou een bundel elektromagnetische energie op mensen worden gericht, met het oogmerk de huidtemperatuur te doen stijgen tot een niveau dat wel pijnlijk maar niet schadelijk is.

##### 4.3.2.4 *Menselijke thermofysiologische reacties op blootstelling aan elektromagnetische velden*

Het voornaamste doel van het RF-onderzoek naar biologische effecten dat is uitgevoerd met gebruik van cellen, weefsel en dieren is te komen tot een schatting van de effecten op mensen. Hoewel een groot deel van dit directe onderzoek op mensen te belastend of gevaarlijk is voor de proefpersonen zijn enkele studies wel mogelijk. Sinds 1994 sponsort de U.S. Air Force het onderzoek naar de thermofysiologische reacties van vrijwilligers die worden blootgesteld aan elektromagnetische velden.

## 4.4 Duitsland

### 4.4.1 *Rapport van de werkgroep onder leiding van Dr. Sommer*

Een werkgroep onder de naam "Arbeitsstab Dr. Sommer" heeft in opdracht van het Duitse Ministerie van Defensie een rapport opgesteld over de risico's en gevaren tengevolge van blootstelling aan chemische en fysische agentia tijdens het uitvoeren van de dienst [18]. Een van de aspecten die in het rapport aan de orde komen is de blootstelling aan niet-ioniserende velden afkomstig van radarinstallaties. In het Duitse rapport, dat werd samengesteld onder leiding van de journalist Theo Sommer, is vastgesteld dat een intense blootstelling aan niet-ioniserende straling van radarapparatuur effecten kan hebben op de gezondheid. Het gaat echter met name om kortetermijneffecten, zoals de merkbare opwarming in de omgeving van radarapparatuur. Een mogelijke relatie met het optreden van bepaalde vormen van kanker wordt in het Duitse rapport niet gelegd.

### 4.4.2 *Rapport van de Radarkommission*

Naar aanleiding van de zorg dat de gezondheid van personen gevaar kon lopen omdat zij vroeger hadden gewerkt op radarinstallaties, heeft het Duitse Ministerie van Defensie een commissie onder de naam "Radarkommission" ingesteld [10]. De doelstellingen van deze commissie met betrekking tot de blootstelling aan elektromagnetische velden van radarsystemen op SHF frequenties waren:

- Het leveren van een bijdrage aan een beeld van de voormalige arbeidsomstandigheden, waarbij de reeds beschikbare resultaten in ogenschouw moesten worden genomen.
- Een rapport opstellen over de blootstellingwaarden waarvan werd uitgegaan in het Dienstbeschädigungsverfahren (procedures betreffende letsel ontstaan tijdens het vervullen van de plicht).
- Indien nodig, het verwerken van aanvullende en nieuwe bevindingen over gezondheidseffecten in geval van blootstelling aan elektromagnetische velden tengevolge van radarinstallaties.
- Bepalen van de laatste wetenschappelijke ontwikkelingen met betrekking tot mogelijke gezondheidsschade tengevolge van blootstelling aan SHF frequenties.

De Radarkommission heeft zelf geen onafhankelijk onderzoek uitgevoerd, maar een grote hoeveelheid gegevens, documenten en wetenschappelijke publicaties geëvalueerd en een reeks hoorzittingen gehouden.

Voor het evalueren van symptomen heeft het Duitse Ministerie van Defensie geanonimiseerde gegevens ter beschikking gesteld aan de commissie. In deze gegevens werd de exacte frequentie waarin de afzonderlijke ziektes optraden niet beschreven. Bovendien ontbrak een uiteenzetting over statistische groei van afzonderlijke ziektes binnen de groep die aan elektromagnetische velden was blootgesteld. De registratie van de zieke personen was onvolledig en de omvang en leeftijdsopbouw van de populatie waarvan men is uitgegaan was onbekend.

De conclusies van de commissie waren als volgt:

- Volgens de huidige wetenschappelijk inzichten is alleen het thermische effect van belang, wat bij hoge dosering tot een vertroebeling van de lens kan leiden (grauwe staar).

- De schatting van de dosering bleek te berusten op een aantal methodische onvolkomenheden en afwijkingen die te maken hadden met de werkwijze van verschillende militaire regionale overheden. Bovendien vindt de Radarkommission dat de getroffen personen te weinig in de procedures zijn betrokken. Dit is mede van belang vanwege de problemen die bestonden bij het reconstrueren van de arbeidsomstandigheden tijdens de beginjaren.
- Er is behoefte aan onderzoek, met name naar de gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden bij radarfrequenties.
- Binnen de termijn die te rechtvaardigen is in het licht van compensatieprocedures zouden nadere inspecties, onderzoeken en research geen nieuwe besluitvormingsgrondslagen opleveren die relevant zijn voor de algemene evaluatie.

Met deze conclusies biedt de Radarkommission geen nieuwe inzichten in de blootstellingproblematiek in relatie met het HAWK-systeem.

#### 4.5 Noorwegen

In Noorwegen heeft de Koninklijke Noorse Marine onderzoek gedaan naar gevallen van lichamelijke afwijkingen bij pasgeborenen van wie de vaders hadden gediend aan boord van de KNM Kvik [19]. In het voorjaar van 1996 werd informatie vrijgegeven over een schijnbare toename in lichamelijke afwijkingen onder kinderen van deze vaders. Er werd een verband verondersteld tussen deze toename en de specifieke elektromagnetische omgeving aan boord van de KNM Kvik, ten tijde dat de KNM Kvik door de Noorse Marine werd gebruikt als platform voor elektronische oorlogvoering. Bij deze specifieke missie werd gebruik gemaakt van een 750 W stoorzender voor frequenties in de HF-band.

In het rapport van de Noorse Marine werd geconcludeerd dat tegen de achtergrond van de totale hoeveelheid beschikbare medische en technische documentatie er geen oorzakelijk verband schijnt te zijn tussen de blootstelling aan de elektromagnetische velden in de HF-band aan boord van de KNM Kvik en de aangeboren lichaamsafwijkingen.

Uit een studie, uitgevoerd op verzoek van de Noorse Marine door de Universiteit van Bergen, bleek in 2004 dat aangeboren lichamelijke afwijkingen in hoge mate oververtegenwoordigd waren onder nakomelingen van de bemanning die aan boord van de KNM Kvik had gediend [20]. Overeenkomstige resultaten werden gevonden ten aanzien van doodgeboren kinderen en perinatale sterfte, zij het in lagere aantallen. Ook bestond er een trend in de richting van vruchtbaarheidsproblemen bij de bemanning van de KNM Kvik.

Beide onderzoeken zijn niet gepubliceerd in een peer-reviewed wetenschappelijk tijdschrift. Bovendien werkte de RF bron in de HF-band, terwijl het onderhavige rapport ingaat op blootstelling aan elektromagnetische velden in de SHF-band. Biologische effecten bij HF-frequenties verschillen dermate veel van die bij SHF-frequenties dat de bevindingen van het Noorse onderzoek niet bruikbaar zijn voor de beoordeling van het effect van blootstelling aan de elektromagnetische velden van het HAWK-systeem.

## 5 Literatuurstudie

Voor de uitvoering van de literatuurstudie is gezocht via Medline en Current contents over de jaren 1996-2005, op de termen radiofrequency, electromagnetic, radar, GHz, case control, case-control, casecontrol, cohort\*, epidemiol\* in combinatie met carcino\*, tumour\*, tumor\*, cancer en cataracts. Specifiek is gezocht naar recente publicaties over gezondheidseffecten die worden toegeschreven aan langdurige blootstelling aan niet-ioniserende straling in het frequentiegebied van 1 GHz -10 GHz.

Sinds het verschijnen van het advies van de Gezondheidsraad in 1997 zijn vele duizenden publicaties verschenen over onderzoek naar effecten van blootstelling aan elektromagnetische velden. De resultaten hiervan zijn voor een belangrijk deel samengevat in overzichtstudies. Er is echter maar een zeer beperkt aantal studies waarin specifiek de blootstelling aan elektromagnetische velden in de SHF frequentieband wordt behandeld die bovendien slechts in een enkel geval zijn gepubliceerd in een peer-reviewed wetenschappelijk tijdschrift. Specifiek over signaalvormen zoals radars produceren is sporadisch literatuur te vinden.

Door het literatuuronderzoek is een overzicht verkregen van de meest recente publicaties over specifieke studies met betrekking tot blootstelling aan niet-ioniserende straling in relatie tot de gezondheid. Indien beschikbaar is hier in eerste instantie gebruik gemaakt van overzichtsstudies [21], [22], [23], [24], [25]. Daarnaast zijn enkele openbare rapporten van (internationale) onderzoekscommissies en onderzoeksinstituten geraadpleegd [10], [18], [26]. De in het onderhavige rapport beschreven epidemiologische studies zijn vooral patiënt-controlestudies en/of cohortstudies.

De in het onderzoek gevonden publicaties worden becommentarieerd en op bruikbaarheid beoordeeld. Hierbij is een onderverdeling gemaakt in drie hoofdgroepen:

1. overzichtstudies;
2. epidemiologische studies;
3. in vivo onderzoek/in vitro onderzoek.

## 6 Overzichtstudies

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van reviews van de literatuur opgenomen die door diverse organisaties zijn uitgevoerd. Het consulteren van reviews dient met enige voorzichtigheid te gebeuren daar de ervaring leert dat publicaties die een relatie vinden tussen blootstelling aan elektromagnetische velden en een optredend effect veelal kritisch worden bekeken terwijl publicaties die rapporteren over onderzoek waarin geen relatie is gevonden geen, of weinig aandacht krijgen. Voor de gevonden reviews die voornamelijk betrekking hebben op epidemiologische studies wordt verwezen naar hoofdstuk 7.

### 6.1 Gezondheidsraad

De Commissie Elektromagnetische velden van de Gezondheidsraad heeft de opdracht regelmatig te rapporteren over actuele wetenschappelijke ontwikkelingen met betrekking tot mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden. De commissie doet dit in de vorm van Jaarberichten, waarvan het eerste exemplaar in 2001 is verschenen [27]. Dit jaarbericht heeft evenals de later verschenen jaarberichten geen aanleiding gegeven om het in 1997 door de Gezondheidsraad uitgebrachte advies op het gebied van de blootstelling aan elektromagnetische velden op SHF frequenties te herzien.

### 6.2 ICNIRP

ICNIRP heeft een uitgebreide evaluatie uitgevoerd van de epidemiologische onderzoeken naar de effecten van RF elektromagnetische velden op de menselijke gezondheid. Deze evaluatie diende als samenvatting van de huidige inzichten, toelichting van de relevante methodologische kwesties en als hulpmiddel voor het plannen van toekomstige studies. Zie hoofdstuk 7.

### 6.3 NRPB

Onlangs heeft de NRPB [28] op verzoek van het UK Department of Health het wetenschappelijke bewijs betreffende mogelijke gezondheidsklachten door blootstelling aan elektromagnetische velden in het frequentiebereik 0 - 300 GHz beoordeeld.

Bewijs van andere dan thermische effecten die in verband worden gebracht met blootstelling aan elektromagnetische velden is voornamelijk ontleend aan epidemiologische onderzoeken en aan enkele experimentele onderzoeken. Dergelijke onderzoeken waren voornamelijk, doch niet uitsluitend, gericht op het leggen van een relatie met kanker. De NRPB heeft geconcludeerd dat momenteel de uitkomsten van deze onderzoeken over elektromagnetische velden en gezondheid ontoereikend zijn. Dit geldt zowel voor het maken van een definitieve beoordeling van causaliteit als voor aanpassing van de blootstellinglimieten.

Deze conclusie strookt met de wijze waarop andere expertiseorganen blootstellingrichtlijnen voor elektromagnetische velden hebben ontwikkeld.

In sommige studies is gerapporteerd over een grote verscheidenheid aan biologische effecten die optraden bij het schijnbaar ontbreken van een meetbare verhitting. Hoewel

de mogelijkheid van niet-thermische effecten niet volledig kan worden uitgesloten, beschouwt men geen van deze effecten als een solide basis voor aanpassing van de blootstellingslimieten.

De NRPB concludeert dat er wetenschappelijke aanwijzingen zijn voor een behoefte tot het beperken van de blootstelling. Deze aanwijzingen zijn ontleend aan experimentele studies naar de effecten van elektromagnetische velden op het centrale zenuwstelsel en thermische effecten. De aard van zulke effecten en de hieraan ten grondslag liggende mechanismen zijn door de NRPB beoordeeld en verwerkt in het advies van 2004.

In zijn advies van 2004 beveelt de NRPB aan beperkingen op blootstelling aan elektromagnetische velden te baseren op de richtlijnen van ICNIRP uit 1998.

## 7 Epidemiologisch onderzoek

### 7.1 Inleiding

In de literatuur worden vele mogelijke gezondheidseffecten na blootstelling aan elektromagnetische velden gerapporteerd. Dit rapport beperkt zich tot studies die de relatie tussen blootstelling aan elektromagnetische velden en het ontstaan van kanker (vooral leukemie, hersenen, en oogmelanomen) of staar (cataract) in de periode 1996-2005 beschrijven. Verder wordt aandacht besteed aan de tot nu toe enige studie die de relatie tussen blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van het HAWK-systeem en mortaliteit beschrijft. Per onderzoek kunnen verschillende eindpunten beschreven worden. In de literatuur worden ook andere ernstige gezondheidseffecten beschreven, zoals het optreden van problemen gerelateerd aan de vruchtbaarheid. Na overleg met de opdrachtgever is besloten om vooral de eindpunten kanker en staar te beschrijven..

### 7.2 Mortaliteit

Recent werd door Degraeve en medewerkers [15] een cohortonderzoek uitgevoerd onder 43799 Belgische militairen. Uit verschillende militaire archieven werd vastgesteld of de militairen minimaal één dag hadden gewerkt met het HAWK-systeem. In dit onderzoek is aangenomen dat 27671 militairen zijn blootgesteld aan elektromagnetische velden afkomstig van het HAWK-systeem, omdat ze in een HAWK bataljon gewerkt hebben. Als controle groep werden militairen van twee artilleriebataljons en één pantserbataljon geïncludeerd (n=16128). Aangenomen is dat deze groep geen blootstelling heeft ondervonden aan elektromagnetische velden afkomstig van een HAWK radarsystemen. Beide groepen bestonden uit beroepsmilitairen en dienstplichtigen. Na een periode van 36 jaar waren 2366 (5,4%) militairen overleden. Bijna alle leeftijdsspecifieke sterftcijfers waren statistisch significant lager dan de sterftcijfers van de algemene Belgische populatie uit 1994. Dit kan worden verklaard door het healthy worker effect. Verdere analyses hadden betrekking op het vergelijken van de sterftcijfers in de blootgestelde groep met het sterftcijfer in de niet-blootgestelde groep. Na een periode van 36 jaar was het leeftijdsgestandaardiseerde sterftcijfer (SMR) van beroepsmilitairen, die hebben gewerkt in een HAWK bataljon 1,05 (95% betrouwbaarheidsinterval 0,95-1,16) in vergelijking met de controle groep. Beroepsmilitairen die gewerkt hebben in een HAWK bataljon, hadden geen statistisch significant verhoogd risico om na een periode van 36 jaar eerder te overlijden in vergelijking met militairen uit de controlegroep (RR 1,07 (95% betrouwbaarheidsinterval 0,90-1,23). In deze analyse werd gecorrigeerd voor het aantal jaren in dienst en de leeftijd bij intreding van militaire dienst.

Voor dienstplichtigen die minimaal één dag in een HAWK bataljon werkzaam zijn geweest was de leeftijdsgestandaardiseerde SMR 0,80 (95% betrouwbaarheidsinterval 0,75-0,85) in vergelijking met niet blootgestelde dienstplichtigen. Het aantal overleden dienstplichtige militairen uit een HAWK bataljon was statistisch significant lager dan in de controle groep.

Tot nog toe is het cohortonderzoek van Degraeve en medewerkers [15] het enige onderzoek dat de mortaliteitscijfers onder militairen werkzaam aan het HAWK-systeem vergelijkt met de mortaliteitscijfers in de algemene bevolking en niet blootgestelde



militairen. In het artikel wordt niet duidelijk gemaakt waarom de totale sterfte als eindpunt onderzocht is en waarom niet naar specifieke doodsoorzaken gekeken is. Auteurs geven ook aan dat het cohort vermoedelijk niet compleet is omdat door het ontbreken van een elektronische database met persoonsgegevens van militairen (vooral voor 1977) personen indirect geïdentificeerd zijn. De beperkte registratie leidt er ook toe dat de follow up niet compleet is. De blootstelling is bepaald aan de hand van de proxy “minimaal één dag gewerkt in een bataljon uitgerust met radars”. Er wordt geen informatie gegeven over mogelijke radarblootstelling van militairen in de controlegroep. Ook andere factoren of blootstellingen die mogelijk kunnen leiden tot hogere sterfte in de controlegroep worden niet beschreven. Bovendien ontbreekt informatie over versturende factoren zoals blootstelling aan chemische agentia. Omdat een goed beeld van de blootstelling aan elektromagnetische velden en andere factoren nauwelijks in kaart is gebracht en slechts is gekeken naar de totale mortaliteit, is de statistische bewijskracht van deze studie zeer beperkt.

### 7.3 Kanker

Groves en medewerkers [29] onderzochten een populatie van 40581 medewerkers van de Amerikaanse marine. Deze recente cohortstudie is een vervolg op de eerdere studie van Robinette en medewerkers [30]. Ruim 20000 personen waren tijdens de oorlog in Korea blootgesteld aan elektromagnetische velden afkomstig van radarinstallaties. Het blootstellingsniveau werd geschat op grond van de beroepsbeschrijving en op basis van aanwijzingen van marinepersoneel werkzaam in trainingen en operaties. Personen belast met het bedienen van radar- en radiosystemen werden in de laag blootgestelde groep ingedeeld. Personen met technische beroepen werden in de hoog blootgestelde groep ingedeeld met soms een blootstelling boven de  $100 \text{ mW/cm}^2$  (range onbekend). In tegenstelling tot de eerdere studie uit 1980 werden in de recente studie mogelijke versturende factoren meegenomen. Tevens werden de mortaliteitsgegevens met externe gegevens vergeleken. Deze resultaten zijn gebaseerd op vergelijking met de algemene Amerikaanse blanke mannelijke bevolking. Ook werd de hoog blootgestelde groep vergeleken met de laag blootgestelde groep en als laatste werden de afzonderlijke beroepen in de hoog blootgestelde groep vergeleken met de totale groep laag blootgestelden.

Na een periode van 40 jaar waren in totaal 8393 personen overleden. Het gestandaardiseerde sterftcijfer voor het de cohort was 0,74 (95% betrouwbaarheidsinterval 0,73-0,76). Dit betekent dat het sterftcijfer in de cohort statistisch significant lager ligt dan het sterftcijfer van de algemene Amerikaanse blanke mannelijke bevolking. Het gestandaardiseerde sterftcijfer voor hersenkanker in zowel de gehele cohort als in de hoog blootgestelde groep was niet verhoogd. Voor leukemie was het gestandaardiseerde sterftcijfer 0,96 (95% betrouwbaarheidsinterval 0,80-1,16).

Mannen in de hoog blootgestelde groep hadden een statistisch significant hoger risico om na een periode van 40 jaar te overlijden aan leukemie dan mannen die zich in de laag blootgestelde groep bevonden (relatief risico 1,48, 95% betrouwbaarheidsinterval 1,01-2,17). Een gelijksoortig verhoogd risico werd gevonden voor niet-lymfatische leukemie (relatief risico 1,82, 95% betrouwbaarheidsinterval 1,05-3,14). Dit verhoogde risico beperkte zich echter tot één van drie hoog blootgestelde beroepsgroepen (namelijk vliegtuigelektrotechnici). Deze beroepsgroep was volgens de auteurs waarschijnlijk ook het sterkste blootgesteld vanwege het gebruik van mobiele radarapparatuur. Hoog blootgestelden hadden ten opzichte van de laag blootgestelden

geen verhoogd risico op het krijgen van hersenkanker. In deze studie ontbrak informatie over blootstelling voor de periode na het verlaten van de dienst.. Onduidelijk is *of en hoe* de informatie over chemische factoren in de analyses is meegenomen. Bovendien ontbreekt informatie over de duur van de blootstelling.

Door Morgan en medewerkers [31] werd een cohortonderzoek uitgevoerd onder 195775 (voormalig) personeelsleden van Motorola. In deze studie waren 24621 mannen en vrouwen beroepsmatig blootgesteld aan elektromagnetische velden van mobiele telefoons. Na een periode van 10 jaar waren 6296 personeelsleden overleden waarvan 193 personen waren overleden aan leukemie en lymfomen en 52 personen aan een hersentumor. Met behulp van een blootstellingsmatrix en gesprekken met deskundigen werden 9724 beroepen in een hoge, middelmatige of lage blootstellingsgroep ingedeeld. Alle medewerkers die gedurende 6 maanden of langer bij Motorola voor ten minste een dag tussen 1976-1996 hadden gewerkt, werden in deze studie betrokken. Voor overlijden aan kanker waren de resultaten vergelijkbaar met de algemene populatie uit de regio's Arizona, Florida, Illinois en Texas. Mensen in de "blootgestelde" groep (middelmatige en hoge blootstelling) hadden ten opzichte van mensen in de "laag" blootgestelde groep geen verhoogd risico om na een periode van 10 jaar te overlijden aan kanker. Op het gebruik van mobiele telefoons buiten de werkplek wordt niet ingegaan. Door de relatieve lage leeftijd van de onderzoekspersonen en daardoor het lage percentage personen (3,2%) dat aan kanker is overleden, is de statistische zeggingskracht beperkt.

Finkelstein en medewerkers [34] onderzochten onder 22197 politieagenten de aanwezigheid van een toename van het aantal nieuwe kankerpatiënten in de periode 1970-1995 (incidentie). De oorzaak voor een mogelijke toename werd gezocht in de blootstelling aan verkeersradarapparatuur (range 10,5-35,0 GHz). Het aantal mannelijke politieagenten wat na 15 jaar kanker kreeg was lager dan in de algemene populatie van Ontario (SIR=0,90; 90% betrouwbaarheidsinterval 0,83-0,98). De incidentie werd vooral verklaard door de lage kans op longkanker. Dit resultaat wordt door de auteurs verklaard als een mogelijk "healthy worker" effect. Het aandeel rokers onder de agenten was bijvoorbeeld veel lager dan in de algemene bevolking. De auteurs vonden een statistisch significante toename van het aantal patiënten met testes en huid (melanoom) kanker. Het kan niet uitgesloten worden dat de resultaten vertekend zijn doordat niet alle politiebureaus van Ontario aan het onderzoek hebben deelgenomen. Bijvoorbeeld: gebruikt elk bureau verkeersradarapparatuur? Bovendien is er geen informatie over de mate en duur van blootstelling aan handradarapparatuur. Verder is de invloed van mogelijke versturende factoren niet onderzocht. Geconcludeerd werd dat het onwaarschijnlijk is dat huidkanker een gevolg is van blootstelling aan elektromagnetische velden afkomstig van verkeersradarapparatuur.

In veel cohortstudies wordt de diagnosedatum van de eerste tumor beschouwd als einde van de follow-up periode (uitkomst). In deze Canadese studie is dit echter niet het geval. De follow-up periode bleef doorlopen na het optreden van een eerste tumor. Personen die kanker hadden gekregen bleven dus "at risk". Hierdoor kunnen de resultaten niet worden vergeleken met resultaten van andere cohortstudies [22].

Szmigielski en medewerkers [32], [33] onderzochten het aantal nieuwe kankerpatiënten onder Poolse militairen die in de periode 1971 tot 1996 blootgesteld waren aan hoogfrequent elektromagnetische velden (incidentie). Het betrof hier militair personeel dat voornamelijk onderhouds- en reparatiewerkzaamheden uitvoerden. Deze studie is

een vervolg op de eerder uitgevoerde studie in 1988. Van de gemiddeld 128000 personen waren er ongeveer 3700 elk jaar blootgesteld aan elektromagnetische velden. Gegevens over de beroepsmatige blootstelling waren afkomstig uit medische dossiers en van metingen. De blootstelling was voornamelijk afkomstig van gepulste elektromagnetische velden van 150-3500 MHz waarvan de meerderheid onder de  $0,2 \text{ mW/cm}^2$  lag. De analyses hadden betrekking op een interne vergelijking met de groep die als niet blootgesteld werd gedefinieerd. Bij de berekening van de waargenomen/verwacht ratio (OER) werd de niet-blootgestelde groep als referentiegroep genomen. Hierdoor benadert de OER de odds ratio (OR) als schatting van het risico. Voor alle kwaadaardige aandoeningen samen werden verhoogde risico's gevonden (OR=2,07, 95% betrouwbaarheidsinterval 1,12-3,58). Militairen in de blootgestelde groep hadden ten opzichte van de niet blootgestelde groep een verhoogd risico om na een periode van 15 jaar kanker aan het zenuwstelsel of hersentumoren te krijgen (OR=1,91, 95% betrouwbaarheidsinterval 1,08-3,47). Ook voor leukemie en lymfomen werd een verhoogd risico gevonden (OR=6,13; 95% betrouwbaarheidsinterval 3,12-14,32). Doordat de omvang van de populatie van jaar tot jaar veranderde moeten de resultaten van deze studie voorzichtig geïnterpreteerd worden. Een verklaring hiervoor is dat de gevolgde methodologie niet overeen komt met de methodologie van een cohort studie. De precieze verdeling van de blootgestelde en niet-blootgestelde groepen is niet bekend en de waargenomen en het verwachte aantal kankerpatiënten wordt niet gegeven. Tevens lijkt het volgens de reviewers Breckenkamp [22] en Ahlbom [21] erop dat er van de kankerpatiënten meer gegevens over blootstelling bekend zijn dan van de controles. Van iedere nieuw gediagnosticeerde kankerpatiënt is informatie over blootstelling aan elektromagnetische velden maar de auteurs geven niet aan of deze informatie ook in de controlegroep beschikbaar was. Dit kan een mogelijke verklaring zijn voor de hoge ORs voor de verschillende kwaadaardige aandoeningen. Verder zijn de resultaten niet vergeleken met de verwachte sterfte aan kanker in de algemene Poolse populatie. Hierdoor kan een mogelijk "healthy worker" effect in zowel de blootgestelde en niet-blootgestelde militairen niet bepaald worden. Ook ontbreekt relevante informatie over hoe in de analyses rekening is gehouden met versturende factoren zoals een mogelijke blootstelling aan chemische agentia. Ook is een mogelijke blootstelling aan röntgenstraling (ioniserend) niet uit te sluiten.

Grayson en medewerkers [34] publiceerden resultaten van een patiënt-controle onderzoek binnen een groot cohort van Amerikaanse mannelijke luchtmacht medewerkers. De mannen moesten in de periode tussen 1970 en 1989 minstens een jaar werkzaam zijn binnen de luchtmacht. In dit onderzoek werden 230 patiënten met een hersentumor gematched met 920 controles. Voor het schatten van de blootstelling aan elektromagnetische velden werd gebruik gemaakt van een beroepen-blootstellingsmatrix. Deze matrix bevatte 552 verschillende beroepen waarvoor een mogelijke blootstelling aan extreem lage frequentie (ELF), elektromagnetische velden boven de  $10 \text{ mW/cm}^2$  en ioniserende straling bepaald werd. Mannen die blootgesteld waren aan ELF velden hadden een licht verhoogd risico om een hersentumor te krijgen in vergelijking met mannen die niet blootgesteld waren (odds ratio (OR)=1,28 (95% betrouwbaarheidsinterval 0,95-1,74) Vergeleken met niet-blootgestelden was het risico op het krijgen van een hersentumor, voor mannen die blootgesteld waren aan elektromagnetische velden boven de  $10 \text{ mW/cm}^2$ , 1,39 (95% betrouwbaarheidsinterval 1,01-1,90). Voor mannen blootgesteld aan ioniserende straling werd geen verhoogd risico op een hersentumor gevonden. Een mogelijke verklaring hiervoor is het kleine aantal patiënten en controles blootgesteld aan uitsluitend ioniserende straling. Een

belangrijke bevinding was de aanwezigheid van een samenhang tussen militaire rang en de kans op het krijgen van een hersentumor. Vooral (hoge) officieren hadden een statistisch significant hoger risico om een hersentumor te krijgen dan soldaten. Er was hierbij geen vertekening of gezamenlijk effect tussen senior militaire rang en het aantal maanden in militaire dienst. Het risico op een hersentumor werd groter bij hogere cumulatieve blootstellingsscores (niet statistisch significant). Een goede verklaring voor deze bevindingen geven de auteurs niet. Speculaties van een mogelijk selectiemechanisme naar diagnose wijzen de auteurs van de hand doordat voor alle rangen in de Amerikaanse luchtmacht medische zorg gratis is en verschillen in beschikbare medische zorg naar militaire rang ondenkbaar is zeker in het geval van ernstige gezondheidsaandoeningen. Histologisch onderscheid naar type hersentumor werd niet gemaakt en verder werd het uitgeoefende beroep gebruikt als schatting van de blootstelling aan elektromagnetische velden.

Stang en medewerkers [35] onderzochten in een klein patiënt-controle onderzoek of blootstelling aan elektromagnetische velden samenhang met het risico op het ontstaan van oogmelanomen (kwaadaardige tumor van het oog). Een mogelijke beroepsmatige blootstelling aan elektromagnetische velden werd door middel van een interview nagevraagd. Tijdens het interview werden vragen gesteld over de medische geschiedenis, leefstijlfactoren, beroepshistorie, beroepsmatige blootstelling aan elektromagnetische velden en blootstelling aan radarapparatuur. Een mogelijke beroepsmatige blootstelling aan elektromagnetische velden werd geschat door het gebruik van mobiele telefoons, radio apparatuur en andere gelijkwaardige apparatuur te inventariseren. In totaal werden in dit onderzoek de gegevens van 118 patiënten met oogmelanomen en 475 controles meegenomen. Gebruik van radar en video apparatuur was niet geassocieerd met het krijgen van oogmelanomen. Echter, na het indelen van het gebruik van een mobiele telefoon in de categorieën mogelijk en waarschijnlijk/zeker bleek het risico op oogmelanomen statistisch significant samen te hangen met het waarschijnlijk/zeker gebruik van een mobiele telefoon (OR=4,2, 95% betrouwbaarheidsinterval 1,2-14,5). Doordat de vragenlijst niet speciaal voor deze studie ontworpen is, ontbreken vragen over de gebruiksfrequentie van mobiele telefoons, aantal uren dat de telefoon gebruikt is, en de overeenstemming tussen tumorlocatie en de plaats van het hoofd waar de mobiele telefoon gebruikt is. Het bepalen van de blootstelling is beperkt en een mogelijke verstoring van de resultaten door blootstelling aan UV straling is niet uit te sluiten. Dit bemoeilijkt de interpretatie van de resultaten.

#### 7.4 **Cataract**

Uit de literatuursearch kwamen geen recente artikelen over de relatie tussen blootstelling aan elektromagnetische velden en cataract naar voren. In het overzichtsartikel van Ahlbom en medewerkers [21] worden drie epidemiologische studies uit de jaren zestig en zeventig kort beschreven. De afzonderlijke studies lieten tegenstrijdige resultaten zien. De reviewers geven aan dat voor het aantonen van een mogelijke causale relatie meer specifiek onderzoek nodig is [21].

#### 7.5 **Discussie**

Nationaal en internationaal gezien is er behoefte om de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan elektromagnetische velden te identificeren. In deze epidemiologische rapportage werd specifiek gekeken naar het frequentiegebied waar radarapparatuur van de HAWK gebruik van maakt. In de recente literatuur zijn slechts

enkele studies gevonden die de relatie tussen blootstelling aan radarapparatuur en gezondheidseffecten bestuderen [15], [29], [32]-[36]. Helaas zijn deze studies behept met verschillende methodologische tekortkomingen, hetgeen het trekken van conclusies bemoeilijkt (zie tabel 7.1). De methodologische beperkingen van de verschillende onderzoeken worden door de desbetreffende auteur(s) zelf beschreven, worden aan de orde gesteld in overzichtsartikelen [21], [22], [23] of in andere publicaties zoals het rapport van de Radarkommision [10]

Tabel 7.1 Beschrijving van epidemiologische studies naar blootstelling aan radarapparatuur en gezondheidseffecten

Populatie	Type onderzoek	Blootstellings-definiering	Gemeten effecten	Tekortkomingen	Referentie
Militairen	Cohort studie	Militaire archieven	Leeftijdgestandaardiseerd sterftecijfer	Blootstellingskarakterisering ontbreekt Blootstellings-misclassificatie Eindpunt niet voldoende specifiek Cohort niet compleet Follow up niet compleet Healthy worker effect Residual confounding.	Degrave [15]
Marine- personeel	Cohort studie	Uitgeoefende beroep en beoordeling van expert	Sterfte aan hersentumoren, Leukemie	Residual confounding	Groves [29]
Militairen	Cohort studie	Medische dossiers, blootstelling niveau's gegeven gebaseerd op metingen	Incidentie hersentumoren + tumoren aan het zenuwstelsel, Leukemie + lymfomen	Blootstellings-misclassificatie Healthy worker effect Residual confounding Blootstellings-misclassificatie Methodologie niet overeenkomstig methodologie van cohort studie	Szmigielski [32], [33]
Politieagenten	Cohort studie	Personeels-bestanden	Incidentie kanker, testes en huid kanker	Healthy worker effect Residual confounding Blootstellings-misclassificatie	Finkelstein [34]
Amerikaans luchtmacht- personeel	Geneste patiënt-controle onderzoek	Militaire beroepsarchieven, beroepenmatrix	Incidentie hersentumoren	Blootstellings-misclassificatie	Grayson [35]
Alg. Duitse bevolking en ziekenhuis populatie	Op alg. populatie en ziekenhuis populatie gebaseerd patiënt-controle onderzoek	Interview	Incidentie oogmelanomen	Residual confounding Blootstellings-misclassificatie	Stang [36]

Er is in veel onderzoeken onvoldoende aandacht besteed aan een goede schatting van de mate, duur en intensiteit van de blootstelling. In het onderzoek van Grayson en medewerkers [35] werd gebruik gemaakt van een blootstellingsmatrix, hetgeen mogelijk heeft geresulteerd in minder misclassificatie van blootstelling. De blootstellingsduur werd in twee onderzoeken meegenomen [15], [29]. In de meeste onderzoeken is de blootstelling ingedeeld in twee of drie klassen (wel/niet blootgesteld of hoog/ midden/laag blootgesteld). Om de individuen in een categorie in te delen zijn verschillende bronnen gebruikt, zoals medische dossiers en beschrijvingen van beroepen. Geen van beide bronnen hebben het schatten van de blootstelling aan elektromagnetische velden tot doel gehad..

De resultaten van de diverse epidemiologische studies naar een mogelijk verband tussen niet-ioniserende straling van radarapparatuur en kanker zijn inconsistent (zie paragraaf 7.3) en moeilijk vergelijkbaar. Het vergelijken van studies zou het eenvoudigst zijn als niet alleen de blootstelling op dezelfde manier in kaart zou zijn gebracht, maar ook naar dezelfde eindpunten gekeken zou zijn. De uitkomsten van de studies zijn echter verschillend gedefinieerd. In sommige onderzoeken wordt naar morbiditeit (optreden van ziekte) gekeken en in andere onderzoeken naar sterfte.

#### 7.5.1 *Causaliteit*

De bewijskracht van de gerapporteerde resultaten uit de verschillende epidemiologische studies wordt op waarde geschat door de resultaten af te zetten tegen enkele eerder genoemde criteria voor causaliteit (zie paragraaf 3.3.2).

#### *Tijdsrelatie*

Een voorwaarde is dat de oorzaak (blootstelling) vooraf gaat aan het gevolg. Alleen bij cohort- en patiënt-controlestudies wordt een inschatting gemaakt van de blootstelling voorafgaand aan de ziekte. Echter, in de beschreven studies is de inschatting van de mate van blootstelling veelal op onvolledige informatie gebaseerd. De blootstelling is in veel gevallen onduidelijk gedefinieerd en daarnaast is met grote waarschijnlijkheid sprake van zowel selectie bias als recall bias. De kans is groot dat hierdoor individuen in een verkeerde blootstellingsgroep zijn geplaatst. Zo is er veelal voor het tijdsinterval van blootstelling tot het ontstaan van de ziekte geen tot onvoldoende informatie beschikbaar. Dit is vooral van belang bij het kankerproces dat bestaat uit verschillende fasen en waarbij het enige tijd duurt voordat klinische symptomen zich voordoen.

#### *Sterkte van de associatie*

In het algemeen geldt dat hoe sterker een mogelijk verband, hoe waarschijnlijker een mogelijk causaal verband. Relatieve risico's tussen 1,5-2 worden veelal beschouwd als zwakke verbanden die mogelijk verklaard kunnen worden door de invloed van versturende factoren of toeval. Zo is in geen van de studies de invloed van mogelijke andere blootstellingen (bijvoorbeeld chemische agentia) in de analyses meegenomen. Het is bekend dat militairen die werken met radarapparatuur mogelijk ook blootgesteld worden aan ioniserende straling. In de analyses van Grayson en medewerkers [35] wordt deze blootstelling aan ioniserende straling wel meegenomen. In de studies die een verband aantoonde tussen blootstelling aan elektromagnetische velden en gezondheidseffecten, gaven de resultaten een verdubbeling van het relatieve risico op nadelige gezondheidseffecten aan. Alleen in de studie van Szmigielski [32] werden voor blootgestelde Poolse militairen ten opzichte van niet-blootgestelde militairen sterk verhoogde risico's op het krijgen van verschillende soorten kanker gevonden. Echter, de

verhoogde gezondheidsrisico's gevonden in de studie van Szmigielski [32] zijn tot nu toe nog niet bevestigd in andere studies [3].

#### *Blootstelling-effect relatie*

De aanwezigheid van een causaal verband wordt aannemelijker wanneer met een toenemende blootstelling het sterftcijfer of incidentie van een bepaalde aandoening ook toeneemt. Alleen in de studie van Grayson [35] werd de duur van de blootstelling meegenomen in de analyses. Echter, een consistente blootstelling-effect relatie werd niet aangetoond. In de studie van Degrave [15] is de blootstellingkarakterisering zo beperkt dat ook op basis daarvan een blootstelling-effect relatie niet gelegd kan worden. De recente epidemiologische studies geven geen tot onvoldoende inzicht in de aanwezigheid van een mogelijke blootstelling-effect relatie.

#### *Consistentie*

Bij consistentie is het van belang of de gevonden resultaten in een meerderheid van de studies in overeenstemming zijn. De resultaten van de recente epidemiologische studies naar de relatie tussen blootstelling aan elektromagnetische velden en kanker verschillen onderling. Zo was het sterftcijfer voor hersenkanker in twee grote cohortstudies lager (niet statistisch significant) dan het sterftcijfer in de algemene populatie [29], [31]. Verder vonden Groves en medewerkers [29] dat hoog blootgestelde mariniers ten opzichte van laag blootgestelde mariniers geen verhoogd risico hadden om na een periode van 40 jaar te overlijden aan hersenkanker. Echter, Szmigielski en medewerkers [32] vonden dat blootgestelde Poolse militairen ten opzichte van de niet-blootgestelde militairen een statistisch significant verhoogd risico hadden op kanker aan het zenuwstelsel of op hersentumoren.

In twee cohortstudies was het sterftcijfer voor leukemie in vergelijking met de algemene populatie niet verhoogd [29], [31]. Verder rapporteerden Groves en medewerkers dat mannen in de hoog blootgestelde groep een licht verhoogd, statistisch significant, risico hadden om na een periode van 40 jaar te overlijden aan leukemie in vergelijking met laag blootgestelde mannen. Voor blootgestelde Poolse militairen was het risico om leukemie en lymfomen te krijgen vele malen hoger (OER 6,13) dan in vergelijking met niet blootgestelde militairen.

De resultaten uit de enige tot nu toe uitgevoerde cohortstudie onder militairen die werkzaam waren aan het HAWK-systeem wijzen niet op een hoger sterftcijfer in vergelijking met niet-blootgestelde militairen.

De resultaten geven een inconsistent beeld en er kan niet met overtuiging gezegd worden dat er een verhoogd risico bestaat op het voorkomen van hersentumoren of leukemie bij hoog blootgestelden. Door de vormen van misclassificatie die voorkomen in de genoemde onderzoeken is er een kans dat een bestaande blootstelling-respons relatie onderschat wordt. Dit heeft niet alleen invloed op de afleiding van de grootte van een eventueel risico maar ook op een mogelijke causale relatie.



## 8 Niet-epidemiologisch onderzoek

In dit hoofdstuk worden voor de volledigheid enige publicaties behandeld die niet als epidemiologische studie zijn aan te merken. Met het geven van de conclusies van deze studies wordt beoogd het beeld van de ontwikkelingen sinds het verschijnen van het advies van de Gezondheidsraad uit 1997 zo veel mogelijk te completeren. Er is een globale indeling gemaakt in "in vivo onderzoek" en "in vitro onderzoek". Bij het beoordelen van de studies valt op dat de blootstelling zowel in duur als intensiteit slecht is vastgelegd. Een uitzondering hierop vormen de onderzoeken binnen het REFLEX onderzoeksprogramma. Het binnen dit programma gebruikte blootstellingsysteem is wel goed beschreven; replicatie ontbreekt vooralsnog.

### 8.1 In vivo onderzoek

Ellisson en medewerkers [33] onderstellen dat elektromagnetische velden kunnen fungeren als een initiator voor chemische interactie tussen cellen. Het artikel beschrijft de ontwikkeling van een experimentele opstelling om dergelijke effecten aan te kunnen tonen bij frequenties tot enkele honderden GHz. Onderzoeksresultaten worden in hun hypothese genererende artikel niet gegeven.

Elder en Chau [34] hebben in 2003 een overzicht gegeven van het auditory effect (geluidsensatie) dat kan optreden bij blootstelling aan gepulste elektromagnetische velden zoals die bijvoorbeeld door een radar wordt uitgezonden. Gebaseerd op dit literatuuroverzicht kan worden geconcludeerd dat de perceptie van een door elektromagnetische velden opgewekte gehoorsensatie niet als een negatief gezondheidseffect wordt beschouwd.

Hocking sluit "microgolfziekte" niet uit [42]. Microgolfziekte heeft betrekking op het zenuwstelsel, uit zich in subjectieve gezondheidsklachten en wordt toegeschreven aan blootstelling aan elektromagnetische velden bij een sterkte lager dan de vigerende limietwaarden. Conclusie is dat de recent geconstateerde veranderingen van neurologische functies na lage blootstellingen door mobiele telefoons het bestaan van een basis voor het syndroom suggereren en dat "microgolfziekte" als een potentieel gezondheidsrisico voor werkers beschouwd dient te worden.

D'Andrea en medewerkers hebben begin 2005 een overzichtstudie gepubliceerd over de effecten van microgolven op het zenuwstelsel [40]. Zij concluderen dat er algemeen wordt aangenomen dat er effecten op de "blood brain barrier" (BBB) aantoonbaar zijn bij een blootstelling die overwegend thermische effecten veroorzaakt. Bij lagere niveaus, waar geen thermische effecten worden verwacht, zijn de effecten op de BBB controversieel. Verder concluderen zij dat blootstelling aan elektromagnetische velden met een hoge veldsterkte de structuur en de functie van het zenuwstelsel kan beschadigen.

Studies met proefpersonen die aangaven gevoelig te zijn voor elektrische en magnetische velden gaven geen aanwijzing voor het bestaan van negatieve effecten op de gezondheid ten gevolge van blootstelling. Het vergelijken van studies bleek evenwel moeilijk omdat de vele parameters waarmee de blootstelling wordt beschreven, zoals frequentie, oriëntatie van de proefpersoon ten opzichte van het veld, duur van de blootstelling bij diverse studies te zeer van elkaar verschilden. De verschillen in de

inrichting van de diverse, in de studie betrokken, onderzoeken en het ontbreken van replicatieonderzoek staan het trekken van uitgesproken conclusies ten aanzien van ernstige gezondheidseffecten op het zenuwstelsel in de weg. Vast staat slechts dat blootstelling aan velden met een hoge energiedichtheid, ver boven de vigerende limietwaarden, tot gezondheidsschade kan leiden ten gevolge van thermische effecten.

Ook het overzicht van Jahn [41] komt tot de conclusie dat er geen wetenschappelijke basis is om negatieve gezondheidseffecten toe te schrijven aan een blootstelling lager dan de door ICNIRP richtlijnen voor maximale blootstelling. Hypersensitiviteit voor elektromagnetische velden is vooralsnog niet klinisch bewezen. De bevindingen van Jahn sluiten aan bij die van D'Andrea [40].

## 8.2 In vitro onderzoek

Laurence en medewerkers [39] hebben een model voorgesteld waarin gepulste microgolfstraling de trigger vormt van een structuurverandering in eiwitten door een warmtetransient van het eiwit of de directe nabijheid hiervan. Met het model worden vervolgens de veelgenoemde 'power windows' verklaard van vaak gerapporteerde niet thermische effecten van blootstelling aan RF elektromagnetische velden. Niet thermische effecten zijn effecten die optreden bij met conventionele middelen niet meetbare temperatuurverandering.

Hun model kan worden gebruikt bij het zoeken naar een biologisch mechanisme dat mogelijk ten grondslag ligt aan niet-thermische effecten. Echter, zonder experimentele validaties is geen uitspraak te doen over effecten op de gezondheid.

In een Kroatische studie hebben Lalic en medewerkers bij werkers genotoxische effecten op perifere bloed lymfocyten onderzocht in relatie tot de blootstelling aan zowel ioniserende als niet ioniserende straling [38]. De conclusie van het onderzoek voor wat betreft de blootstelling aan niet ioniserende straling luidt dat een toename van chromosoom afwijkingen wordt waargenomen waarbij door de onderzoekers de nodige kanttekeningen worden gemaakt.

Adair en Petersen [43] hebben in 2002 een overzicht gegeven van de meeste statistisch significant bevestigde biologische effecten. Geconcludeerd wordt dat normen voor blootstelling sinds het opstellen van de eerste blootstellingnorm niet wezenlijk zijn aangepast. Aanpassingen die hebben plaatsgevonden zijn voornamelijk ingegeven door beter inzicht in de dosimetrie.

Het primaire doel van het REFLEX-project [44] was in-vitro onderzoek naar de effecten van elektromagnetische velden op afzonderlijke cellen op moleculair niveau, bij elektromagnetische velden met een sterkte beneden de huidige basisrestricties. Het project was er op beantwoorden van de vraag of kritieke ziekteverwekkende gebeurtenissen, zoals genmutaties, celproliferatie en onderdrukte of versterkte geprogrammeerde celsterfte (apoptosis) in levende cellen kon voorkomen na blootstelling aan elektromagnetische velden.

Het binnen het REFLEX-project toegepaste blootstellingsysteem maakt een gestandaardiseerde blootstelling mogelijk ten aanzien van veldsterkte, polarisatie, modulatie en temperatuur in de GSM-1800 frequentieband.

Blootstelling van de cellen met het blootstellingsysteem resulteerde in effecten in

fibroblasts, granulocellen en HL60-cellen. Cellen reageerden op blootstelling bij SAR-waarden van 0,3 tot 2,0 W/kg met een aanzienlijke toename van breuken in enkel- en dubbelstrengs DNA en frequentie van micronuclei. Na blootstelling werden afwijkingen van chromosomen in fibroblasts geconstateerd.

Er was geen bewijs dat blootstelling aan RF elektromagnetische velden invloed had op processen zoals celproliferatie, apoptose of de functionaliteit van immuuncellen. Ten aanzien van zowel ELF als RF elektromagnetische velden gaven de resultaten van analyses aan dat elektromagnetische velden diverse groepen van genen kan activeren die een rol spelen in celdeling, celproliferatie en celdifferentiatie. Vooralsnog kan de biologische relevantie van deze bevindingen niet worden beoordeeld.

### 8.3 Conclusie

De in vivo studies die in dit hoofdstuk worden genoemd geven geen bewijs voor het bestaan van "microgolfziekte" of langetermijneffecten op het zenuwstelsel. Het enige wetenschappelijk aangetoond effect is gezondheidsschade door opwarming. Deze opwarming kan optreden bij blootstelling aan elektromagnetische velden met een sterkte die de vigerende adviezen ver te boven gaat.

De genoemde in vitro studies leveren geen bewijs voor DNA schade. Onderzoeksresultaten verkregen bij frequenties rond 10 GHz zijn niet beschikbaar. Het recent afgesloten REFLEX onderzoeksprogramma geeft een aanwijzing voor het optreden van DNA-schade. Deze aanwijzing is echter zwak en kan niet worden geëxtrapoleerd naar de humane situatie.

Zowel de in dit hoofdstuk beschreven in vivo als de in vitro studies geven geen aanleiding te onderstellen dat blootstelling aan elektromagnetische velden, met een veldsterkte beneden de internationaal aanvaarde advieswaarden voor maximale blootstelling, tot ernstige gezondheidsklachten leidt.

## 9 Conclusies

Het in dit rapport beschreven literatuuronderzoek voor het Ministerie van Defensie, is uitgevoerd naar aanleiding van vragen uit de Tweede Kamer. De opdracht bestond uit een actualisering van het advies van de Gezondheidsraad uit 1997 [3]. Met betrekking tot thermische effecten concludeerde de Gezondheidsraad dat, om negatieve gevolgen voor de gezondheid te voorkomen, de specifieke absorptie van energie (SAR), een op wetenschappelijk bewijs gefundeerde waarde niet zou moeten overschrijden.

Het accent in deze literatuurstudie is gelegd op mogelijke blijvende gezondheidsschade, waaronder carcinogeniteit, tengevolge van RF elektromagnetische velden die vergelijkbaar zijn van die van het HAWK-systeem.

Op basis van de in dit onderzoek betrokken literatuur wordt geconcludeerd dat

- Het epidemiologisch onderzoek vanaf 1996 geen aanwijzingen biedt dat RF elektromagnetische velden een carcinogeen effect hebben. De resultaten uit de recente epidemiologische studies geven onvoldoende bewijskracht voor het bestaan van een causale relatie tussen de blootstelling aan elektromagnetische velden, waaronder radarstraling, en ernstige gezondheidseffecten zoals kanker. Het vaststellen van de mate, duur en intensiteit van de blootstelling aan elektromagnetische velden is veelal onvoldoende. Verder ontbreekt geregeld informatie over de periode tussen blootstelling en het moment van optreden van een nadelig gezondheidseffect. De verschillende resultaten zijn niet consistent, onvoldoende sterk en een blootstelling-effect relatie wordt niet aangetoond. Bovendien ontbreekt het in de studies aan bewijs hoe blootstelling aan elektromagnetische velden ernstige gezondheidseffecten zoals kanker zou kunnen veroorzaken.
- In vivo studies geen bewijs geven voor het bestaan van "microgolfziekte" of langetermijneffecten op het zenuwstelsel. Het enige wetenschappelijk aangetoond effect is gezondheidsschade door opwarming.
- In vitro studies geen bewijs voor DNA schade leveren. Onderzoeksresultaten verkregen bij frequenties rond 10 GHz zijn niet beschikbaar. Opgemerkt wordt dat het recent afgesloten en vaak geciteerde REFLEX onderzoeksprogramma een aanwijzing geeft voor het optreden van DNA-schade. Deze aanwijzing is echter zwak en kan niet worden geëxtrapoleerd naar de humane situatie.
- In de literatuur aangegeven niet-thermische effecten geven geen aanwijzing voor een redelijk en gegrond vermoeden van gezondheidsrisico's. Gerapporteerde niet-thermische effecten bieden geen wetenschappelijke basis voor het aanpassen van de blootstellingslimieten.

Samenvattend ontbreekt in de recente epidemiologische literatuur de overtuigende bewijskracht dat blootstelling aan elektromagnetische velden bij de in deze literatuurstudie betrokken frequenties kanker zou kunnen veroorzaken. Het enige wetenschappelijk aangetoond effect is gezondheidsschade door opwarming. Met betrekking tot de onderzochte blootstellingkarakteristieken zijn er geen overtuigende aanwijzingen de op thermische effecten gebaseerde blootstellingslimieten zoals voorgesteld in het in 1997 uitgebrachte advies Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz – 300 GHz) voor radarsystemen zoals HAWK te herzien of aan te passen.

## 10 Referenties

- [1] Assche, J.P.P.M. van, Woltering, A.B., "Electric field intensity levels near the HAWK system", TNO-rapport FEL-99-A224, December 1999.
- [2] Assche, J.P.P.M. van, "Elektrische veldsterkte in de omgeving van de HIPIR op GGW de Peel en Vliegbasis Leeuwarden", TNO-rapport FEL-00-A120, 2000.
- [3] Gezondheidsraad, Commissie Radiofrequente Straling, "Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz – 300 GHz)", Rijswijk: Gezondheidsraad, publicatie nr. 1997/01, 1997.
- [4] Hill, A.B., "The Environment and Disease: Association or Causation?", Proc. Royal Soc. Med., 58, 295, 1966.
- [5] Lin, J.C., "Scientific Literature on Biological Effects of Radio Frequency Radiation: Criteria for Evaluation", IEEE trans. Antenna's and Propagation Magazine, Vol. 44, No. 2, April 2002.
- [6] Bouter, L.M., Dongen, M.C.J.M. van, "Interventie", In Bohn Stafleu Van Loghum, editors, Epidemiologisch onderzoek: opzet en interpretatie, Houten, pp. 338-369, 1995.
- [7] Bouter, L.M., Dongen, M.C.J.M. van, "Opzet van epidemiologisch onderzoek". In Bohn Stafleu Van Loghum, editors, Epidemiologisch onderzoek: opzet en interpretatie, Houten, pp. 105-173, 1995.
- [8] Gezondheidsraad: Commissie Stralingsrisico's, "Stralingsrisico's. Evaluatie van wetenschappelijke gegevens over de gezondheidsrisico's van blootstelling aan ioniserende straling ten behoeve van normstelling." Den Haag: Gezondheidsraad, publicatie nr 1991/22, 10 december 1991.
- [9] P. de Jong, F.A.I. Busscher, Dijk, W. van, "Onderzoek naar de mogelijke blootstelling aan ioniserende straling bij de HAWK", Nuclear Research & Consultancy Group, rapport K5002/01.IM505, 30 november 2001.
- [10] Radarkommission, „Bericht der Expertenkommission zur frage der Gefährdung durch Strahlung in früheren Radareinrichtungen der Bundeswehr und der NVA (Radarkommission)“, 2003.
- [11] Feychting, M., "Health effects of static magnetic fields--a review of the epidemiological evidence", Prog Biophys Mol Biol, 87, pp. 241-6, 2005.
- [12] Richardson, D., Wing, S., Steenland, K., McKelvey, W., "Time-related aspects of the healthy worker survivor effect", Ann. Epidemiol., 14, pp. 633-9, 2004.
- [13] Assche, J.P.P.M. van, Woltering, A.B., "Veiligheidsafstanden Radars Defensie", TNO-rapport FEL-02-C053, 2002.
- [14] NATO Standardization Agreement (STANAG) 2345, "Evaluation and Control of Personnel Exposure to Radio Frequency Fields – 3 kHz to 300 GHz", Edition 2, 1997.
- [15] Degraeve, E., Autier, P., Grivegnée, A.R., Zizi, M., "All-Cause Mortality Among Belgian Military Radar Operators: A 40-Year Controlled Longitudinal Study", European Journal of Epidemiology, Vol. 20, No. 8, pp. 677-681, August 2005.
- [16] Adair, R.K., "environmental Objections to the PAVE PAWS Radar System: A Scientific Review", Radiation Research, Vol. 159, pp. 128-134, 2003.
- [17] Murphy, M.R., Merritt, J.H., "Health and Safety of Radio Frequency Radiation: U.S. Military Research and Exposure Standards", Proceedings of the 20<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biological Society, Vol. 20, No. 6, 1998.

- [18] „Die Bundeswehr und ihr Umgang mit Gefährdungen und Gefahrstoffen - Uranmunition, Radar, Asbest -, Bericht des Arbeitsstabes Dr. Sommer“, 21 Juni 2001
- [19] Royal Norwegian Navy, “Medical and technical studies into a possible causal link between high frequency electromagnetic fields and congenital malformations”, Report no.: 633-71331-100-002E, February 1998.
- [20] “Surveillance of the work environment in the Royal Norwegian Navy: Higher Risk of Congenital Anomalies found in the Offspring of personell who have Served Aboard a Missile Topredo Boat”, Occupational and Environmental Med., Poster session 2; 61: 43. P2.16, 2004.
- [21] Ahlbom., A, Green, A., Kheifets, L., Savitz, D., Swerdlow, A., “Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure”, Environ Health Perspect, 112, pp. 1741-1754, 2004.
- [22] Breckenkamp J, Berg G, Blettner M., “Biological effects on human health due to radiofrequency/microwave exposure: a synopsis of cohort studies”, Radiat Environ Biophys, 42, pp. 141-154, 2003.
- [23] Heynick LN, Johnston, S.A., Mason P.A., “Radio frequency electromagnetic fields: cancer, mutagenesis, and genotoxicity. Bioelectromagnetics, Suppl 6, pp. 74-100, 2003.
- [24] Repacholi, M.H., “Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs”, Bioelectromagnetics, 19, pp. 1-19, 1998.
- [25] Goldsmith, J.R., “Epidemiologic evidence relevant to radar (microwave) effects”, Environ Health Perspect, 105 Suppl. 6, pp. 1579-1587, 1997.
- [26] Bolte, J., Pruppers, M., “Gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden-Probleemanalyse niet-ioniserende straling”, RIVM, pp. 1-127, 2004.
- [27] Gezondheidsraad: Commissie Elektromagnetische velden. “Elektromagnetische Velden: jaarbericht 2001”, Den Haag: Gezondheidsraad, publicatie nr. 2001/14, 2001.
- [28] "Review of the Scientific Evidence for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0-300 GHz)", National Radiological Protection Board, Documents of the NRPB, Vol. 15, No. 3, 2004
- [29] Groves, F.D., Page, W.F., Gridley, G., Lisimaque, L., Stewart, P.A., Tarone, R.E., Gail, M.H., Boice, J.D. Jr. Beebe, G.W., “Cancer in Korean war navy technicians: mortality survey after 40 years”, Am. J. Epidemiol., 155, pp. 810-818, 2002.
- [30] Robinette, C.D., Silverman, C. Jablon, S., “Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation (radar)”, Am. J. Epidemiol., 112, pp. 39-53, 2000.
- [31] Morgan, R.W., Kelsh, M.A., Zhao, K., Exuzides, K.A., Heringer, S., Negrete, W., “Radiofrequency exposure and mortality from cancer of the brain and lymphatic/hematopoietic systems”, Epidemiology, 11, pp. 118-127, 2000.
- [32] Szmigielski, S., "Cancer Morbidity in Subjects Occupationally exposed to High Frequency (Radiofrequency and Microwave) Electromagnetic Radiation", The Science of the Total Environment, Vol. 180, pp. 9-17, 1996.
- [33] Szmigielski, S., Sobiczewska, E., Kubacki, R., “Carcinogenic potency of microwave radiation: overview of the problem and results of epidemiological studies on Polish military personnel”, Eur. J. Oncol., 6, pp. 193-199, 2001.
- [34] Finkelstein, M.M., “Cancer incidence among Ontario police officers”, Am. J. Ind. Med., 34, pp. 157-162, 1998.

- [35] Grayson, J.K., "Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumor risk in the US Air Force: a nested case-control study", *Am. J. Epidemiol.*, 143, pp. 480-486, 1996.
- [36] Stang, A., Anastassiou, G., Ahrens, W., Broman, K., Bornfeld, N., Jockel, K.H., "The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma", *Epidemiology*, 12, pp. 7-12, 2001. [37] Ellison, B., Gibson, C., Grant, N.A., Hyland, G.T., Magee, J.T., Pooley, D., Stewart, B., "An Investigation into the Non-thermal Biological Effects and Medical Applications of Microwave Radiation", *SMBO/IEEE MTT-S: International Microwaves and Optoelectronics Conference (IMOC)*, Proceedings, August 1999.
- [38] Lalic, H., Lelic, A., Radosevic-Stasic, B., "Comparison of Chromosome Aberrations in Peripheral Blood Lymphocytes from People Occupationally Exposed to Ionizing and Radiofrequency Radiation", *Act. Medica Okayama*, Vol. 55, No. 2, pp. 117-127, 2001
- [39] Laurence, J.A., French, P.W., Linder, R.A., McKenzie, D.R., "Biological Effects of Electromagnetic Fields - Mechanisms for the Effect of Pulsed Microwave Radiation on Protein Conformation", *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 206, pp. 291-298, 2000
- [40] D'Andrea, J.A., "Microwave Effects on the Nervous System", *Bioelectromagnetics*, No. 6, pp. S107-S147, 2003
- [41] Jahn, O., "Electromagnetic fields: Low Dose Exposure, Current Update", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Vol. 73 (Suppl.), pp. S1-S3
- [42] Hocking, B., "Microwave Sickness: A Reappraisal", *Occupational Medicine*, Vol. 51, No. 1, pp. 66-69, 2001
- [43] Adair, E.R., Petersen, R.C., "Biological Effects of Radio-Frequency/Microwave Radiation", *IEEE Transactions on Microwave theory and Techniques*, Vol. 50, No. 3, March 2002
- [44] "Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards From Low Frequency Field Exposure Using Sensitive in vitro Methods", Key Action 4 "Environment and Health", contract nr. QLK4-CT-1999-01574 (REFLEX), Final Report, 2004.

## 11 Ondertekening

Den Haag, oktober 2005

TNO Defensie en Veiligheid

Ir. J.P. Dezaire  
Afdelingshoofd

Dr.Ir. E.J. de Boer  
Auteur

Ir. Chr.H.M. Clemens  
Auteur



## A Electric field intensity levels near the HAWK system

Managementuittreksel rapport FEL-99-A224

### **Doelstelling**

Naar aanleiding van berichtgeving over vermeende schadelijke effecten tengevolge van het werken met de radarsystemen van de HAWK-installaties die door de Koninklijke Luchtmacht werden en worden gebruikt, is de behoefte ontstaan aan het in kaart brengen van de elektrische veldsterkten in de directe omgeving van deze radarsystemen. Deze veldsterkten zijn maatgevend voor de intensiteit van de zogenoemde radarstraling. Aan de hand van de waarden van deze veldsterkte kunnen op relevante locaties op een HAWK-site, onder operationele omstandigheden, veilige afstanden worden vastgesteld die zijn afgeleid uit de blootstellingslimieten gegeven in de tweede editie van STANAG 2345 (edition-2, 1997).

### **Omschrijving van de werkzaamheden**

Voor het in kaart brengen van de optredende elektrische veldsterkte nabij een HAWK-installatie is een meetprotocol opgesteld. Op basis van dit meetprotocol zijn in december 1998 door TNO-FEL veldsterktemetingen uitgevoerd nabij radars van de HAWK-installatie die stonden opgesteld op de vliegbasis Twenthe. Deze radars waren de CWAR en de HIPIR. De ruwe meetgegevens zijn uitgewerkt en geschikt gemaakt voor grafische presentatie. Om een compleet beeld te krijgen zijn in aanvulling op de metingen berekeningen uitgevoerd teneinde de elektrische veldsterkten op tussenliggende en grotere afstanden te kunnen berekenen. Tot slot is een vergelijking gemaakt tussen de gemeten en berekende waarden.

### **Conclusies**

De berekende waarden van de veldsterkte sluiten goed aan bij de verkregen meetresultaten. Deze meetresultaten tonen aan dat, op de door de Koninklijke Luchtmacht gehanteerde veiligheidsafstanden tot de CWAR en de HIPIR, wordt voldaan aan de in de tweede editie van STANAG 2345 (edition-2, 1997) gegeven blootstellinglimieten.

Hierna wordt gedetailleerder op de resultaten voor de beide radarsystemen ingegaan.

### **Blootstelling aan door de CWAR opgewekte elektrische velden**

Uitgaande van de hoogte van het centrum van de zendantenne van 2,77 m boven het maaiveld volgt uit berekeningen en metingen dat ongeacht de afstand tot de antenne binnen een hoogte van 1,90 m boven het maaiveld continu verblijf is toegestaan indien de elevatiehoek van de CWAR-antenne geen negatieve waarden aanneemt, dat wil zeggen niet naar beneden is gericht. Dit geldt zowel voor een roterende als voor een stilstaande CWAR-antenne. Uit berekeningen volgt dat in de hoofdbundel van de CWAR-antenne, op afstanden groter dan 21 m, continu verblijf conform de tweede editie van STANAG 2345 (edition-2, 1997) is toegestaan. De momenteel door de Koninklijke Luchtmacht gehanteerde veiligheidsafstand van 36 m voldoet hieraan.

### **Blootstelling aan door HIPIR opgewekte elektrische velden**

De momenteel door de Koninklijke Luchtmacht gehanteerde veiligheidsafstand tot de HIPIR-antenne bedraagt 111,5 m. Deze afstand is gebaseerd op blootstelling in de hoofdbundel. De op de vliegbasis Twenthe uitgevoerde metingen, op afstanden groter

of gelijk aan deze veiligheidsafstand, tonen geen overschrijding van de in de tweede editie van STANAG 2345 (edition-2, 1997) gegeven limieten, voor continue blootstelling van het gehele lichaam of delen ervan, aan. Berekeningen onder 'worst case' conditie (volledige bodemreflectie) tonen aan dat op afstanden van 111,5 m en groter aan de blootstellingslimieten wordt voldaan voor continue blootstelling van het gehele lichaam en delen van het lichaam, met uitzondering van de ogen. Speciale aandacht moet aan de ogen worden gegeven omdat hiervoor een lagere blootstellingslimiet geldt in verband met een geringere bloedsomloop.

## B Elektrische veldsterkte in de omgeving van de HIPIR op GGW de Peel en Vliegbasis Leeuwarden

Managementuittreksel rapport FEL-00-A120

### Probleemstelling

In december 1998 zijn op Vliegbasis Twenthe metingen uitgevoerd aan een HIPIR behorende tot het HAWK-systeem. De resultaten van deze metingen zijn samen met de resultaten van elektrische veldsterkteberekeningen opgenomen in het TNO-FEL rapport 'Electric field intensity levels near the HAWK system' <sup>\*)</sup>. De conclusies van dat onderzoek waren als volgt:

*'De momenteel door de Koninklijke Luchtmacht gehanteerde veiligheidsafstand tot de HIPIR-antenne bedraagt 111,5 m. Deze afstand is gebaseerd op blootstelling in de hoofdbundel. De op de vliegbasis Twenthe uitgevoerde metingen, op afstanden groter of gelijk aan deze veiligheidsafstand, tonen geen overschrijding van de in de tweede editie van STANAG 2345 (edition-2, 1997) <sup>\*\*)</sup> gegeven limieten, voor continue blootstelling van het gehele lichaam of delen ervan, aan. Berekeningen onder 'worst case' conditie (volledige bodemreflectie) tonen aan dat op afstanden van 111,5 m en groter aan de blootstellingslimieten wordt voldaan voor continue blootstelling van het gehele lichaam en delen van het lichaam, met uitzondering van de ogen. Speciale aandacht moet aan de ogen worden gegeven omdat hiervoor een lagere blootstellingslimiet geldt in verband met een geringere bloedcirculatie'.*

Met de metingen op GGW de Peel en Vliegbasis Leeuwarden worden aanvullende meetdata verkregen van de door de HIPIR opgewekte elektrische veldsterkte op afstanden nabij de huidige veiligheidsafstand (111,5 m) tot de radarantenne.

### Beschrijving van de werkzaamheden

De werkzaamheden betreffen het uitvoeren van elektrische veldsterktemetingen aan de HIPIR op GGW de Peel en Vliegbasis Leeuwarden op afstanden nabij de huidige veiligheidsafstand van 111,5 m tot de HIPIR-antenne.

### Resultaten en conclusies

De meetresultaten verkregen op zowel GGW de Peel als op de Vliegbasis Leeuwarden bevestigen de boven geciteerde conclusies uit het TNO-FEL rapport 'Electric field intensity levels near the HAWK system' <sup>\*)</sup>.

<sup>\*)</sup> Electric field intensity levels near the HAWK system, Ir. J.P.P.M. van Assche, Ing. A.B. Woltering, TNO-FEL rapport FEL-99-A224, December 1999

<sup>\*\*)</sup> NATO Standardization Agreement (STANAG) 2345  
Evaluation and Control of Personnel Exposure to Radio Frequency Fields  
3 kHz to 300 GHz. Edition 2, 1997

## C Technische gegevens HAWK-systeem

### Inleiding

Het HAWK-systeem zoals dit bij de Koninklijke Luchtmacht in gebruik is geweest bevat de volgende elektromagnetische bronnen:

- High Power Illuminator Radar (HIPIR),
- Continuous Wave Acquisition Radar (CWAR),
- Identification Friend or Foe (IFF).

Deze appendix gaat kort in op de relevante technische gegevens van deze bronnen.

### HIPIR

#### Beschrijving

De HIPIR is een J-band-radar, die is ontwikkeld om doelen te volgen en te belichten. Het verschaft raketten een referentiesignaal en geeft voor de lancering signalen om het azimut en de elevatie van de lanceerinrichting in te stellen. Vanwege de volgfunctie van HIPIR kan het voorkomen dat de elevatiehoek van de hoofdbundel negatief is. De elevatie van de hoofdstraal is niet onveranderlijk (in tegenstelling tot de elevatie van de hoofdstraal van CWAR). Zowel elevatie als azimut zijn afhankelijk van de richting van het belichte doel.

#### Technische gegevens

Enkele relevante technische specificaties van het HIPIR-smalbundelzendsysteem staan vermeld in tabel C.1

Tabel C.1 Technische gegevens van het HIPIR-smalbundelzendsysteem.

Zendantenne	Parabolische schotelantenne
Hoogte tot midden antenne	3,20 m
Verticale afmetingen antenneapertuur	0,77 m
Diameter	1,20 m
Antenneversterking $G_i$	37,5 dB
Uitgestraald vermogen	1629 W gemiddeld
Frequentie	10,000 – 10,250 GHz
Duty-cycle	CW
Bundelbreedte (3 dB)	1,9 graden
Polarisatie	Verticaal

### CWAR

#### Beschrijving

CWAR is een radar die is ontwikkeld voor het detecteren van doelen op lage hoogte bij aanwezigheid van grondclutter. Bewegende doelen worden gedetecteerd met het dopplerprincipe. CW-signalen en FM/CW-signalen worden alternerend uitgezonden tijdens de rotaties van de CWAR-antenne. Als de radar in bedrijf is, heeft de antenne een rotatiesnelheid van  $20 \pm 2$  rotaties per minuut. De elevatiehoek van de hoofdbundel is onveranderlijk en normaliter ingesteld op 0 graden.

### Technische gegevens

Enkele relevante technische specificaties van het zendsysteem van CWAR staan vermeld in tabel C.2:

Tabel C.2 technische gegevens van CWAR zendsysteem.

Zendantenne	Horizontale parabolische cilinder
Hoogte van midden antenne	2,77 m (boven maaiveldniveau)
Vert. afmetingen antenneapertuur	0,77 m
Hor. Afmetingen antenneapertuur	2,38 m
Antenneversterking $G_1$	39 dB
Uitgestraald vermogen	411 W gemiddeld
Frequentie	10,000-10,235 GHz
Duty-cycle	CW
Verticale bundelbreedte (3 dB)	3,7 graden
Horizontale bundelbreedte (3 dB)	0,8 graden
Polarisatie	Horizontaal
Rotatiesnelheid	20 ± 2 rotaties per minuut

### IFF-systeem

#### Beschrijving

IFF wordt gebruikt om doelen die door CWAR zijn ontdekt te identificeren. Het IFF-systeem kan worden geïnstalleerd bovenop de commandopost, een driepoot of een mast.

#### Technische gegevens

Enkele relevante technische specificaties van de IFF-zendapparatuur of het HAWK-systeem staan vermeld in tabel C.3.

Tabel C.3 Technische gegevens van IFF-zendapparatuur.

Frequentie	D-band
Antenneversterking $G_1$	17 dB
Uitgestraald vermogen	1000 W piek, 10 W gemiddeld.

## Distributielijst

1 tm 10	DMG, Chef Staf kol-arts W.T.H. van de Water
11	TNO Defensie en Veiligheid, Directeur Kennis, daarna reserve
12	TNO Defensie en Veiligheid, Directeur Operaties, daarna reserve
13	TNO Kwaliteit van Leven, dr. J.J. van Hemmen
14	TNO Kwaliteit van Leven, dr.ir. E.J. de Boer
15 tm 18	TNO Kwaliteit van Leven, dr.ir. E.I.M. Tjoe Nij
19	TNO Kwaliteit van Leven, drs. M.J. op de Weegh
20	Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan ir. C.H.M. Clemens
21	Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan prof.dr.Ir. A.P.M. Zwamborn
22	Archief TNO Defensie en Veiligheid, in bruikleen aan dr.Ir. S.H.J.A. Vossen
23	Documentatie TNO Defensie en Veiligheid
24	Reserve