

TNO-rapport**TNO 2012 R11133**

Eindrapport

Eindrapportage V936 'Militaire Toxicologie'**Earth, Environmental and Life
Sciences**Lange Kleiweg 137
2288GJ Rijswijk
Postbus 45
2280AA Rijswijk

www.tno.nl

T +31 88 866 1333
F +3188 866 6949
infodesk@tno.nl

Datum	Februari 2013
Auteur(s)	Art. 10 (2) (e)
Oplage	29
Aantal pagina's	34 (incl. bijlagen)
Oprachtgever	DR&D
Projectnaam	V936 WP100: Projectmanagement
Projectnummer	032.18517

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande 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 opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

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

© 2012 TNO

Samenvatting

Participatie in militaire operaties gaat vergezeld van bekende en onbekende risico's waaronder de gezondheidsrisico's door blootstelling aan toxische stoffen. Als 'goed werkgever' voelt Defensie zich verantwoordelijk voor de zorg voor de gezondheid en het welzijn van het personeel op de korte en lange termijn. Defensie wil op verantwoorde wijze omgaan met de risico's van blootstelling aan stoffen die mogelijk een gevaar voor de gezondheid opleveren, maar is nog niet in staat om alle facetten daarvan adequaat uit te voeren. De taakstelling van Defensie impliceert dat de blootstelling aan toxische stoffen van het personeel vooral tijdens uitzendingen maar ook tijdens oefeningen en de dagelijkse werkzaamheden vrijwel niet te vermijden is. Daarmee blijft het een actueel en tevens politiek beladen onderwerp.

Middels kennisopbouw wordt getracht Defensie in staat te stellen een adequaat risicomanagementsysteem op te zetten voor deze problematiek. In programma V217 'Operationele Toxicologie' (2004-2008) is hiervoor de basis gelegd, o.a. middels de oplevering van een toolkit voor risicoschatting van blootstelling aan individuele militair-relevante stoffen.

In programma V936 'Militaire Toxicologie' (2009-2012, 2.5 M€) is deze kennisopbouw voortgezet, met als doelstelling '*via kennisopbouw de hiaten in de systematiek voor risicomanagement van blootstelling aan toxische stoffen te dichten, om Defensie in staat te stellen dergelijk risicomanagement op verantwoorde wijze uit te voeren voor zowel het militair (geneeskundig) beleid als voor het operationeel optreden*'. Het onderzoeksprogramma was gericht op met name specifiek militair-relevante stoffen en op specifiek militair-operationele omstandigheden.

De voornoemde risicobeoordelingstoolkit is uitgebreid en verfijnd. In overleg met Defensie is een lijst met prioritaire (klassen van) chemicaliën opgesteld en zijn blootstellingsscenario's gedefinieerd voor een aantal personele rollen tijdens uitzendingen. Op basis hiervan kunnen blootstellingsprofielen voor de verschillende typen functionarissen worden afgeleid. Een aanpak is gedefinieerd voor het evalueren van de invloed van omgevingsfactoren en fysieke inspanning op de toxicologie. Tevens zijn systematieken ontwikkeld voor de beoordeling van de toxiciteit van mengsels en combinaties van militair-relevante stoffen, en voor het beoordelen van herstel van het personeel tussen missies door. Daarnaast is een grenswaarde afgeleid voor blootstelling aan fijnstof.

Focus binnen het programma was op omgevingsmonitoring: ontwikkeling van methoden waarmee de samenstelling en de toxiciteit van de militaire werkomgeving (lucht, water en bodem) in kaart kan worden gebracht.

Omgevingsmonitoring blijkt goed mogelijk door het combineren van commercieel verkrijgbare generieke en/of selectieve elektrochemische en/of halfgeleider microsensoren in een netwerk. De mogelijkheden en beperkingen van deze aanpak zijn onderzocht.

Commercieel verkrijgbare Helium diffusie samplers lijken geschikt voor 'personal sampling'. De omgevingslucht wordt gedurende een ingestelde tijdspanne van 15 minuten tot ca. 1 week bemonsterd. De samplers kunnen op de persoon worden gedragen. Het monster bevindt zich in de inerte heliumatmosfeer en blijft daarin stabiel voor analyse met bijvoorbeeld een (mobiele) gaschromatograaf. Diverse aspecten van het gebruik van deze samplers (detectiegrenzen, invloed temperatuur, etc) zijn onderzocht. Daarnaast is onderzocht of het ook mogelijk is op de persoon de blootstelling aan deeltjes (o.a. fijnstof) te bepalen.

Screening van de toxiciteit van de militair-operationele omgeving is goed mogelijk mbv een commercieel verkrijgbaar platform gebaseerd op bacteriën die spontaan licht uitzenden, maar daarmee stoppen onder invloed van een toxische stressor. Dit platform wordt wereldwijd toegepast voor controle van drink- en oppervlaktewater, en is in V936 geschikt gemaakt voor screening van lucht- en bodemonsters.

Tevens is de snelheid van de meting aanzienlijk verhoogd. Een 'Advanced Technology Demonstrator' van het *in vitro* toxiciteitscreeningssysteem is op dit gemodificeerde platform gebaseerd.

Bovengenoemde bemonsterings- en screeningsmethoden zijn met succes toegepast in een 'veldproef', waarbij in een bunker een rookgranaat werd afgestoken en een 'burnpit' werd nagebootst.

In het programma is eveneens aandacht besteed aan persoonlijke monitoring, met als doel het ontwikkelen van een systematiek waarmee ziektebeelden die zich geruime tijd na een missie/oefening manifesteren kunnen worden toegekend aan een blootstelling aan (klassen van) toxische stoffen. Hoewel interessante onderzoeksresultaten zijn verkregen moet worden geconcludeerd dat op dit moment nog geen technologieën beschikbaar zijn om deze doelstelling te kunnen realiseren.

Voorts is een handreiking geboden aan Defensie voor implementatie van de binnen V936 opgebouwde kennis en kunde. Een manifold (TNO SIMple) is gebouwd waarmee Helium Diffusie Samplers kunnen worden geanalyseerd met de portable gaschromatograaf met massaspectrometrische detectie (HAPSITE) die Defensie tot haar beschikking heeft. Op deze wijze zouden deze samplers te veld kunnen worden gemeten. Met deze manifold kunnen de samplers ook worden gemeten met de bovengenoemde sensoren, alsmede met het bacterie-gebaseerde toxiciteitscreeningssysteem. Daarnaast is proof-of-concept geleverd van een systeem waarbij Helium diffusie samplers worden geactiveerd op geleide van een trigger van de sensoren. Op deze wijze kunnen monsters worden genomen indien de sensoren een afwijkend patroon van chemicaliën in de lucht detecteren.

De programmadoelstelling van V936 is gerealiseerd, hetgeen evenwel niet betekent dat alle problemen m.b.t. het risicomanagement rondom de blootstelling van de militair aan toxische stoffen zijn opgelost. Daarom is een vervolg op V936 gedefinieerd: programma V1338 'Veiligheidsmanagement van militair-relevante toxische stoffen' (2013-2017, 1.8 M€), waarin de nadruk zal liggen op het ontwikkelen van meetstrategieën voor bepaling van persoonlijke blootstelling en van methoden voor interpretatie van blootstellingsgegevens.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
2	Programma inhoud.....	6
2.1	Algemeen.....	6
2.2	Probleemcontext.....	6
2.3	Probleemstelling	6
2.4	Stand van zaken	7
2.5	Ontwikkelingen	9
3	Programmaresultaten.....	10
3.1	Algemeen.....	10
3.2	Overzicht onderzoeksvragen en bereikte resultaten	10
3.3	Bijdrage aan de Defensieproblematiek.....	29
3.4	Appreciatie van de programmaresultaten.....	29
4	Verantwoording	31
4.1	Algemeen.....	31
4.2	Realisatie programmadoelstellingen	31
4.3	Organisatie en communicatie	31
4.4	Evaluatie en Lessons learned	32
5	Deliverables.....	33
6	Ondertekening	34

1 Inleiding

Participatie in militaire operaties gaat vergezeld van bekende en onbekende risico's waaronder de gezondheidsrisico's door blootstelling aan toxische stoffen. Als 'goed werkgever' voelt Defensie zich verantwoordelijk voor de zorg voor de gezondheid en het welzijn van het personeel op de korte en lange termijn. Defensie wil op verantwoorde wijze omgaan met de risico's van blootstelling aan stoffen die mogelijk een gevaar voor de gezondheid opleveren, maar is nog niet in staat om alle facetten daarvan adequaat uit te voeren. De taakstelling van Defensie impliceert dat de blootstelling aan toxische stoffen van het personeel vooral tijdens uitzendingen maar ook tijdens oefeningen en de dagelijkse werkzaamheden vrijwel niet te vermijden is. Daarmee blijft het een actueel en tevens politiek beladen onderwerp.

Middels kennisopbouw wordt getracht Defensie in staat te stellen een adequaat risicomanagementsysteem op te zetten voor deze problematiek. In programma V217 'Operationele Toxicologie' (2004-2008) is hiervoor de basis gelegd. Deze kennisopbouw is voortgezet in programma V936 'Militaire Toxicologie' (2009-2012,). Dit rapport beschrijft de in V936 behaalde resultaten.

2 Programma inhoud

2.1 Algemeen

In de militaire context kan op hoofdlijnen een drietal typen blootstellingen worden onderscheiden:

1. 'bewust gekozen' blootstelling aan stoffen om andere gezondheidsbedreigende factoren af te wenden (o.a. permethrine, DEET, vaccins, antimalariamiddelen);
2. nagenoeg onvermijdbare blootstelling aan stoffen die onlosmakelijk verbonden zijn aan militaire operaties (o.a. brandstoffen, uitlaatgassen, explosieven, verbrandingsproducten);
3. (voorafgaand aan de inzet veelal onbekende) blootstelling aan stoffen die zich in het operationele gebied bevinden zoals fabrieken en bodemverontreiniging, danwel accidenteel of intentioneel vrijkomen (o.a. fijnstof, TICs, verarmd uranium).

Tijdens de diverse missies van onze krijgsmacht hebben zich verschillende gevallen van type 2 en 3 blootstellingen voorgedaan (o.a. fijnstof, zware metalen, verarmd uranium, TNT)

Het benadrukt dat de omstandigheden waaronder defensiepersoneel in operationeel gebied en tijdens oefeningen wordt blootgesteld, afwijkend zijn van de arbeidsomstandigheden in Nederland. Dit impliceert dat deze problematiek een andere benaderingswijze behoeft.

2.2 Probleemcontext

In de CDS-aanwijzing A130 wordt gesteld dat het Arbo-beleid van Defensie o.a. inhoudt dat tijdens uitzendingen zoveel mogelijk wordt gehandeld naar of in de geest van de Nederlandse Arbo-wet en regelgeving. De doelstelling hiervan is het vermijden of beheersen van Veiligheids-, Gezondheids- en Welzijnsrisico's (VGW) door middel van een adequaat risicomanagement. Deze risico's dienen niet alleen gedurende de uitzending maar al in een zo vroeg mogelijk stadium te worden geïnventariseerd en vervolgens zoveel mogelijk te worden beheerst. Indien niet alle risico's kunnen worden beheerst moet worden vastgesteld of de residuële risico's acceptabel zijn.

De blootstelling aan toxische stoffen beperkt zich niet alleen tot het uitzend- en oefengebied maar ook in Nederland kan personeel tijdens hun werkzaamheden aan chemische stoffen worden blootgesteld. Defensie moet in deze situatie handelen conform de Arbo-wet.

De taakstelling van Defensie impliceert dat de blootstelling aan toxische stoffen van het personeel vooral tijdens uitzendingen maar ook tijdens oefeningen en de dagelijkse werkzaamheden vrijwel niet te vermijden is. Daarmee blijft het een actueel en tevens politiek beladen onderwerp.

2.3 Probleemstelling

Om het risicomanagement zoals staat beschreven in de CDS aanwijzing A130 te kunnen uitvoeren is het nodig om over een systematiek te beschikken waarmee men zowel voorafgaand als tijdens de missie, oefeningen en werkzaamheden in Nederland de risico's door blootstelling aan chemische stoffen kan inventariseren, evalueren en bij voorkeur kan beheersen. Voorts is het nodig om na afloop van de missie de lange termijn effecten te monitoren.

Om defensiepersoneel tijdens uitzendingen, oefeningen, maar ook in Nederland optimaal te kunnen beschermen moet Defensie in staat zijn de risico's voorafgaand, tijdens en na het uitvoeren van operaties goed te kunnen vaststellen en

beoordelen. Op dit moment heeft Defensie evenwel nog niet alle middelen en kennis ter beschikking om het risicomanagement verantwoord ten uitvoer te brengen.

Regelmatig wordt men pas (geruime tijd) na de uitzending geconfronteerd met de gezondheidsproblemen die gerelateerd kunnen zijn aan een blootstelling waardoor de problematiek vaak politiek gedreven wordt en Defensie achter de feiten aan loopt.

Sinds januari 2007 is het vaststellen van grenswaarden voor chemisch stoffen voornamelijk een verantwoordelijkheid van de werkgever; slecht voor een beperkt aantal stoffen stelt de overheid wettelijke grenswaarden vast. Hiermee komt steeds meer verantwoordelijkheid bij de werkgever te liggen om de risico's voor personeel adequaat te identificeren, te beoordelen en maatregelen te nemen.

Hiaten in de systematiek voor het risicomanagement zijn in het bijzonder geconstateerd op het gebied van

- continue online toxiciteitsscreening van de omgeving;
- adequate monsternamen en analyse te velde;
- kennis over de invloed van omgevingsfactoren en fysieke factoren op de gezondheidseffecten;
- kennis over risico's van blootstelling aan toxische stoffen onder militaire omstandigheden op de lange termijn;
- kennis over de risico's van (gecombineerde) blootstelling aan toxische stoffen waar vooral defensie personeel aan wordt blootgesteld zoals permethrine, DEET, munitie gerelateerde stoffen, fijnstof, uitlaatgassen, etc.;
- het retrospectief vaststellen van blootstellingen aan toxische stoffen;
- inzicht in de effectiviteit van beheersmaatregelen tijdens uitzendingen.

2.4 Stand van zaken

2.4.1 *Defensie problematiek*

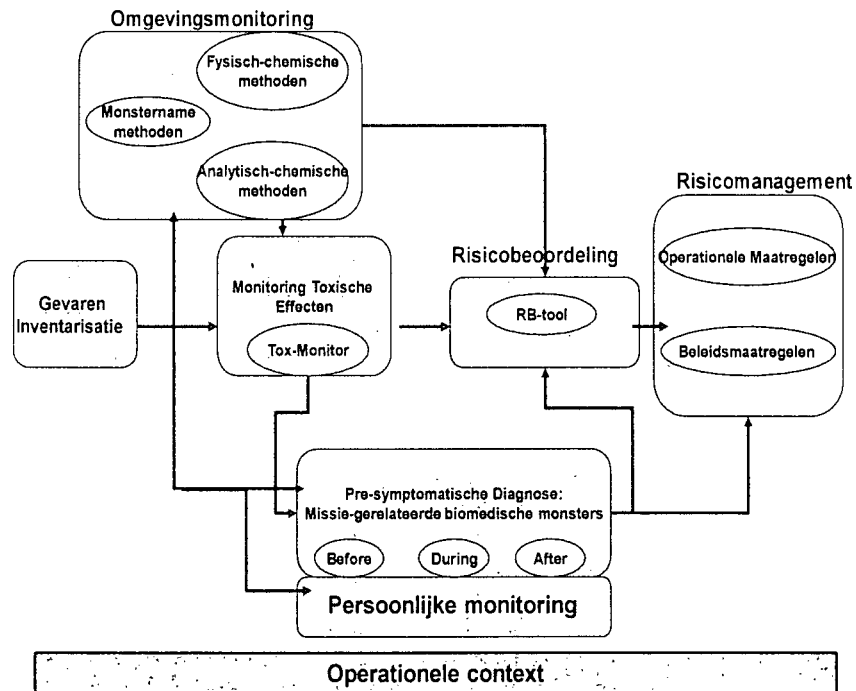
Met het vaststellen van de CDS aanwijzing A-130 is de invoering van de Risico Inventarisatie en Analyse Operationele omstandigheden (RAO) een feit. Hiermee krijgt het personeel, dat belast is met de risico-inventarisatie en analyse, een instrument in handen waarmee meer inzicht verkregen kan worden in de risico's op het gebied van veiligheid, gezondheid en welzijn onder operationele omstandigheden waaronder de blootstelling aan chemische stoffen. De RAO beschrijft de structuur waarmee binnen Defensie op verantwoorde wijze risico's en in het verlengde daarvan risico's bij blootstelling aan toxische stoffen kunnen worden geïnventariseerd en geanalyseerd. Daarmee is nog niet gezegd dat Defensie over alle kennis en technologieën beschikt om de RAO optimaal te kunnen uitvoeren.

2.4.2 *Onderzoeksvragen*

Figuur 1 toont de elementen van de systematiek voor risicomanagement van blootstelling aan toxische stoffen. Het programma adresseert de vier voornaamste elementen hiervan, welke de onderzoeksthema's vormen, die aan de verbetering van het risicomanagement ten grondslag liggen, nl.:

- Risicobeoordeling;
- Integrale omgevingsmonitoring;
- Persoonlijke monitoring;
- Operationele context.

Onder elk thema is een aantal onderzoeksvragen gedefinieerd.



Figuur 1 Schematische weergave van de elementen benodigd voor een adequate systematiek voor risicomanagement met betrekking tot blootstelling aan toxische stoffen.

Risicobeoordeling:

- Welke scenario's zijn realistisch mbt blootstelling aan individuele toxische stoffen en mengsels en combinaties daarvan?
- Hoe kan worden vastgesteld wat de betekenis is van de blootstelling volgens bovengenoemde scenario's aan (mengsels/combinaties van) toxische stoffen in de operationele omgeving voor de gezondheidstoestand van de militair op korte en langere termijn?
- Wat zijn de mogelijkheden om te kwantificeren welk percentage van het personeel bepaalde effecten op de gezondheid zal ondervinden tgv blootstelling volgens bovengenoemde scenario's aan (mengsels/combinaties van) toxische stoffen?
- Welke invloed hebben omgevingsfactoren (oa. hitte, en vochtigheid) en fysieke factoren (oa. fysieke activiteit, kleding) in het uitzendgebied op de gezondheidsbedreigende effecten van chemische stoffen?

Integrale omgevingsmonitoring:

- Op welke wijze (monsternamen- en analysemethoden) kan de omgeving waarin de militair opereert, danwel moet gaan opereren, worden gemonitord op de aanwezigheid van toxische stoffen?
- Wat zijn de mogelijkheden om de toxiciteit van de omgeving continu en bij voorkeur real-time te monitoren?

Persoonlijke monitoring:

- Hoe kan worden vastgesteld of militairen zijn blootgesteld aan (combinaties van) toxische stoffen in de operationele omgeving? Welke consequenties hebben deze resultaten voor de inzetbaarheid van de militair?
- Is het mogelijk effecten op de gezondheid van de militair welke geruime tijd na een operatie intreden te relateren aan een blootstelling aan (klassen van) toxische verbindingen? Welke methodes en technieken zijn

hiervoor beschikbaar en wat zijn de randvoorwaarden voor de implementatie van deze methodes en technieken?

Operationele context:

- Op welke wijze kunnen de binnen dit programma ontwikkelde tools en methoden worden ingepast in de dagelijkse militaire praktijk om aldus bij te dragen aan risicomangement?

Voor de volledigheid zij vermeld dat het onderwerp 'risicomangement' zelf buiten de scope van het programma valt.

2.5 Ontwikkelingen

Het besef dat de gezondheidsrisico's van blootstelling van militair personeel aan chemicaliën tijdens de beroepsuitoefening moet worden beheerst is bij Defensie inmiddels duidelijke aanwezig. In het verleden werd vooral incident-gedreven gereageerd, terwijl nu wordt gestreefd naar de opzet van een systeem voor (proactief) management van deze risico's.

Omdat Defensie zich verantwoordelijk voelt voor de gehele 'levenscyclus' van het personeel is er niet alleen aandacht voor acute gezondheidseffecten, maar in toenemend mate ook voor effecten die zich op langere termijn manifesteren, zoals kanker en neurotoxische en immunotoxische aandoeningen.

Veelal betreft het stoffen waaraan ook in de civiele wereld beroepsmatige blootstellingen plaatsvinden. Hoewel de civiele arbeidshygiënische informatie en grenswaarden waardevol zijn, kunnen deze doorgaans niet als zodanig worden gebruikt voor de militaire setting, omdat de blootstellingsomstandigheden anders zijn dan in de civiele arbeidshygiëne, in termen van o.a. blootsteldingsduur en -frequentie, fysieke inspanning, en klimatologische omstandigheden.

Daarnaast betreft het militair-specifieke stoffen, waarvan geen arbeidshygiënische informatie voorhanden is. Binnen deze groep van stoffen komen vooral de chemisch-toxicologische eigenschappen van munitie-gerelateerde stoffen steeds meer in de belangstelling. Hiervan is verbazend genoeg nog erg weinig bekend, vermoedelijk omdat de aandacht altijd is uitgegaan naar de ballistische risico's van munitie-artikelen.

Bij de start van het programma werden verbrandingsproducten van afval als stoffen van lage prioriteit beoordeeld door Defensie omdat deze problematiek als beheersbaar werd beoordeeld. Tijdens de uitvoering van het programma kwamen de 'burnpits' in de belangstelling te staan, vnl. door berichten vanuit de Verenigde Staten over gezondheidsklachten die in verband werden gebracht met slecht functionerende verbrandingsovens. Voor de Nederlandse situatie bleek de burnpit toch ook een actueel onderwerp te zijn, omdat de ovens niet altijd werkten of om andere redenen niet werden gebruikt, en daarmee de problematiek minder beheersbaar bleek dan gedacht.

Ook de fijnstof problematiek is nadrukkelijk naar voren gekomen tijdens de uitvoering van V936, met name in relatie tot de missie in Afghanistan. Ook in de civiele context is de aandacht voor gezondheidseffecten van blootstelling aan fijnstof toegenomen. Belangrijke elementen hierbij zijn de effecten van 'ultrafine particles', die zeer diep in de longen kunnen doordringen, de aard en eigenschappen van de deeltjes, en contaminanten die aan de deeltjes kunnen hangen en aldus dieper in de longen kunnen doordringen dan ze op zichzelf zouden kunnen. De fijnstof problematiek wordt ook geadresseerd in programma V1338.

3 Programmaresultaten

3.1 Algemeen

Programma V936 heeft een groot aantal resultaten opgeleverd. Hieronder worden deze resultaten per werkpakket samengevat.

3.2 Overzicht onderzoeksvragen en bereikte resultaten

3.2.1 *Werkpakket 100: Management*

Werkpakketleider :
Werkpakketbegeleider :
Projectleider :

Doelstelling: Programmamanagement en afstemming programma met PBL en PGL's gerelateerde programma's. Organisatie van communicatie over resultaten van programma.

De voortgang van het programma is bewaakt - en waar nodig bijgestuurd – m.b.t. de voortgang in termen van inhoud, tijd en budget. Met name het realiseren van de onderbesteding van de eerdere jaren heeft de nodige aandacht gevergd. Kwartaalrapportages zijn uitgebracht en besproken met de programmabegeleider. Er is frequent overlegd met de programmabegeleider en een aantal werkpakketbegeleiders.

In april 2011 is de midterm review van het programma te Rijswijk gehouden. Bij deze gelegenheid is tevens gesproken over de invulling van de vrije ruimte in het programma.

In oktober 2010, januari 2011, november 2011, april 2012 en september 2012 heeft het programmavierkant vergaderd. In het vierkant is o.a. de invulling van de vrije ruimte afgestemd en is de midterm review en de einddag voorbereid, die op dinsdag 11 december 2012 te Rijswijk is gehouden.

Deliverables van dit werkpakket zijn de Engelstalige programmaflier en dit eindrapport (TNO 2012 R11133).

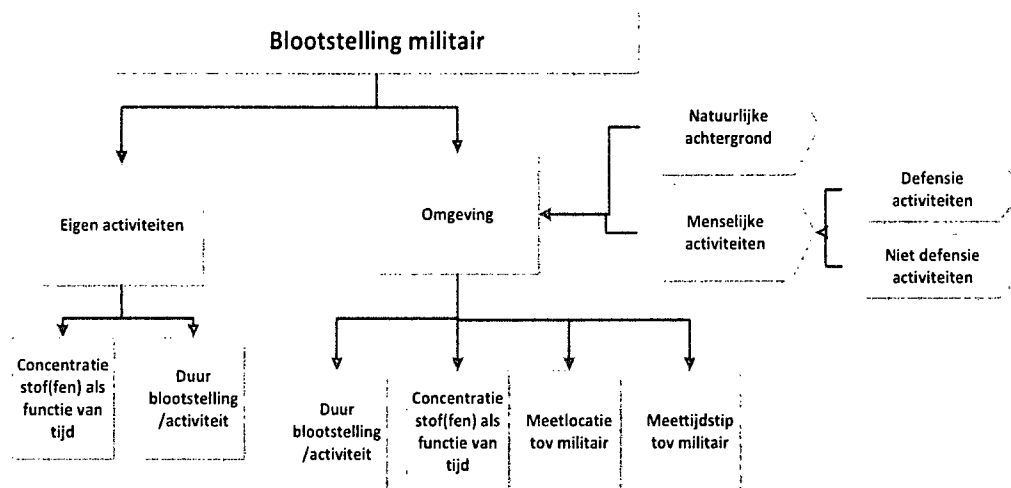
3.2.2 *Werkpakket 200: Risicobeoordeling*

Werkpakketleider :
Werkpakketbegeleider :
Projectleider :

Doelstelling: Uitbreiding en verfijning van de risicobeoordelings toolkit die in V217 is ontwikkeld op basis van een verzameling relevante blootstellingsscenario's

Dit werkpakket was opgesplitst in twee delen. Binnen het eerste project, uitgevoerd door TNO Rijswijk, is een methodiek voor het afleiden van blootstellingsscenario's ontwikkeld op basis waarvan verdere risicobeoordelingen uitgevoerd kunnen worden (zie Figuur 2). Aan de hand van een casus (Task Force Uruzgan) is de methode getest en een aantal taakomschrijvingen opgesteld voor representatieve functies van personeel binnen deze missie. Hierbij is aan de hand van een aantal interviews met militairen een schatting gemaakt van de verschillende activiteiten en de duur van deze activiteiten. Voor een groot aantal mogelijke schadelijke stoffen werd vervolgens uitgezocht welke de belangrijkste zijn vanuit gezondheidsoogpunt. Voor deze geprioriteerde lijst is bekeken hoe de kansen op blootstelling aan deze stoffen samenhangen met de activiteiten van het personeel. Voor blootstelling aan

fijnstof (PM10) in de omgeving of aan verbrandingsproducten van munitie bleek het mogelijk om een ruwe schatting van de blootstelling af te leiden voor de onderzochte casus. Voor veel van de andere stofcategorieën bleek dit laatste niet mogelijk wegens het ontbreken van geschikte gegevens, waarmee het belang van een gedegen meetstrategie benadrukt wordt. De resultaten van dit deel van het werkpakket zijn vastgelegd in een afzonderlijk rapport (TNO 2012 R11181)



Figuur 2 Factoren die invloed hebben op de blootstelling van de militair.

Vanuit de 'Vrije ruimte' (zie WP600) is budget vrijgemaakt voor de toxicologische evaluatie van stoffen die zich in intacte munitieartikelen bevinden. Voor de meeste artikelen geldt dat geen blootstelling aan deze componenten kan plaatsvinden, en er derhalve geen risico is. Uitzonderingen daarop zijn kneedmunitie en plastic landmijnen, die TNT en DNT uitdampen. Aangezien de inventarisatie van componenten in munitie vertrouwelijke informatie bevat, is over dit deel van het project een gerubriceerde memo opgesteld.

Het tweede deel van het werkpakket is uitgevoerd door TNO Triskelion BV, tot eind 2010 TNO Kwaliteit van Leven (Zeist). De werkzaamheden waren voornamelijk gericht op het verfijnen van de in V217 ontwikkelde toolkit voor risicoschatting van blootstelling aan toxische stoffen m.b.t. de volgende aspecten:

- Invloed van omgevings- en gedragsfactoren;
- Percentage mensen dat een toxicologisch effect ondervindt, en
- Risicobeoordeling van mengsels en combinaties van toxische stoffen ('combitox').

Een aanpak is geformuleerd voor het in kaart brengen van de invloeden van omgevings- en gedragsfactoren op de toxicologie van militair-relevante stoffen onder de militair specifieke werkomstandigheden. Afhankelijk van de stof en de specifieke blootstellingsomstandigheden kan de toxiciteit van stoffen zowel toe- als afnemen bij hogere temperaturen. Indien bekend, kunnen de invloeden van omgevingsfactoren in de toolkit worden opgenomen.

Ten behoeve van de uitbreiding van de risico evaluatie toolbox met kwantificering van het percentage blootgesteld personeel dat een toxicologisch effect ondervindt van een bepaalde blootstelling is een aanpak geformuleerd. Daarnaast zijn gegevens verzameld over de verschillen tussen mensen in gevoeligheid voor militair-relevante stoffen (o.a. fijnstof, zware metalen, jet fuels, verbrandingsgassen). Voor een aantal verbindingen zijn ook kwantitatieve (dosis-effect) gegevens gevonden. Ondanks de beschikbaarheid van redelijk wat epidemiologische gegevens is het niet mogelijk om een kwantificering van het

percentage personen dat een effect ondervindt uit de toolkit te krijgen; de literatuur biedt hiervoor te weinig handvatten.

Ook voor de toxicologie van mengsels en combinaties van stoffen ('combitox') is een aanpak geformuleerd. Getracht wordt om zoveel mogelijk bestaande methodieken (bijv. ATDSR, EPA) toe te passen op de militaire situatie. Additieve toxische effecten kunnen al in de toolkit worden opgenomen. Voor een variëteit aan stoffen is dit een benadering die verantwoord is. Indien interacties tussen stoffen optreden moet gekeken worden hoe deze in de toolkit kunnen worden verwerkt.

Vanuit de 'Vrije ruimte' (zie WP600) zijn twee onderwerpen toegevoegd aan dit deel van het werkpakket, nl.

- Risicobeoordeling voor herhaalde/regelmatige uitzending, rekening houdend met tussentijds herstel;
- Normstelling voor fijnstof.

Een methodiek is opgezet voor het risicoschatting van herhaalde uitzending/blootstelling, waarbij verschillende benaderingen zijn gekozen voor kankerverwekkende en niet-kankerverwekkende stoffen. Deze benaderingen zijn toegepast op 20 stoffen (door Defensie geprioriteerd), waaronder 7 kankerverwekkende verbindingen.

Voor niet-kankerverwekkende stoffen is een 'stoplichtmodel' ontwikkeld (zie Figuur 3), waarin:

- Groen = veilig; geen effecten (< grenswaarde Military Guidelines Chemical Substances (MGCS));
- Geel = herstel van effecten is zeer waarschijnlijk (< Upper Reversible Effect Level (UREL));
- Oranje = blijvende effecten kunnen niet worden uitgesloten (< Lower Irreversible Effect Level (LIEL));
- Rood = aanzienlijk risico op blijvende effecten.

Het stoplichtmodel is tot stand gekomen op basis van bestaande toxiciteitsbeoordelingen van het US Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Deze organisatie maakt onderscheid tussen Ernstige (= levensbedreigende) en Minder ernstige effecten. Een analoge benadering is gekozen voor het onderscheid tussen Herstelbare en Niet-herstelbare effecten (bijv. Irritatie versus Corrosiviteit; levereffecten versus effecten op de hersenen; gehoorproblemen). Daarnaast is een onderscheid gemaakt tussen stoffen die wel of /niet in het lichaam ophopen. In het eerste geval worden resultaten uit langlopende studies gebruikt, in het tweede geval uit middellang lopende studies. Op basis hiervan worden UREL- en LIEL-waarden afgeleid.

Voor kankerverwekkende stoffen wordt aangenomen dat elke blootstelling tot een risico leidt, er is dus geen nul risico. Tot de MGCS-waarde is er sprake van een aanvaardbaar (zeer laag) risico. Indien een blootstelling aan een kankerverwekkende stof heeft plaatsgevonden, is een deel van het 'quotum' van aanvaardbare blootstelling verbruikt en moet de MGCS-waarde voor een eventuele volgende blootstelling naar beneden worden bijgesteld, er is immers geen herstel. Deze aanpak is geschikt voor alle kankerverwekkende stoffen.

	Groen	MGCS (mg/m ³)	Geel	UREL (mg/m ³)	Oranje	LIEL (mg/m ³)	Rood
Ammonia		0.27		100		150	
Koolstofmonoxide		2.3		11		61	
Cobalt		0.00026		0.022		0.068	
Ethylbenzeen		18		77		186	
Waterstoffluoride		0.0008		0.008		1.7	
Kwik		0.001		0.014		0.18	
Seleen		0.016		-		-	
Zwavel dioxide		-		1		26	
Thallium		0.0016		-		-	
Tolueen		9.2		27		100	
2,4,6-Trinitrotolueen		0.008		-		-	
Uranium		0.0003		0.02		0.1	
Xyleen		2		31		178	
FIJNSTOF		15		-		-	

Figuur 3 Stoplichtmodel voor niet-kankerverwekkende stoffen.

Voor fijnstof is op basis van beschikbare literatuur geconcludeerd dat de bestaande limietwaarden veilig zijn voor militairen. De MGCS-waarde wordt geschat op 15 mg/m³. Er zijn geen data beschikbaar over herstel van gezondheidseffecten ten gevolge van blootstelling aan fijnstof. Hierdoor kunnen geen UREL- en LIEL-waarden worden afgeleid derhalve is het stoplichtmodel niet toepasbaar.

De resultaten bereikt in dit deel van het werkpakket zijn vastgelegd in 5 rapporten van de hand van TNO Triskelion BV (V20320 - V20323, R11176).

3.2.3 Werkpakket 300: Omgevingsmonitoring

Werkpakketleider :
Werkpakketbegeleider :
Projectleider :

Doelstelling: Ontwikkeling van een methode waarmee de samenstelling en de toxiciteit van de militaire werkomgeving (lucht, water en bodem) in kaart kan worden gebracht.

Veldproef

Reeds in programma V217 was sprake van een veldproef in Canada, waarin wij vanuit de trilaterale samenwerking (CAN/NLD/SW) zouden kunnen participeren. Deze veldproef werd uitgesteld en is daarom in V936 opgenomen. Uiteindelijk heeft de Canadese veldproef geen doorgang gevonden en is besloten voor onszelf een veldproef op te zetten waar internationale partners aan mochten deelnemen. Een aantal landen (BEL, CAN, GER, SWE, USA) is uitgenodigd om te participeren in onze veldproef. De Zweden waren enthousiast, doch dit heeft niet geleid tot

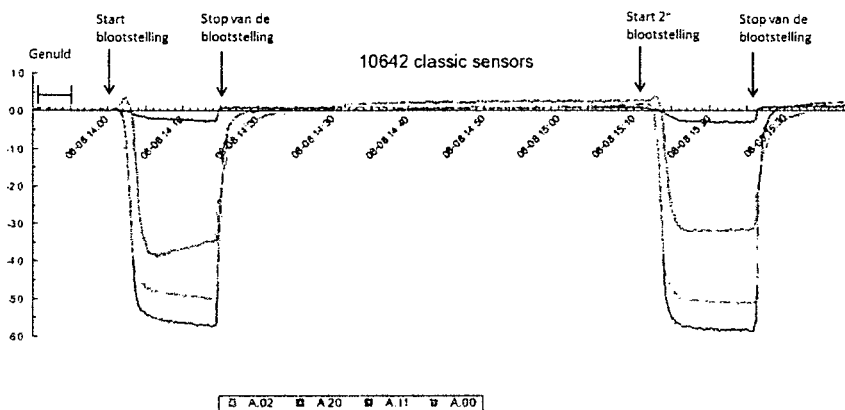
deelname. De USA was geïnteresseerd, maar had geen reisbudget meer. Tijdens deze veldproef zijn diverse sampling- en meettechnieken ingezet, aan de hand van een afgestoken gekleurde rookgranaat en aan de hand van een burnpit experiment. Voor deze dag zijn ook RIVM en DCMR werden uitgenodigd voor het uitvoeren van metingen; Triskelion kon helaas niet aanwezig zijn, maar deed met de risicobeoordelings toolkit op basis van de gemeten waarden achteraf een uitspraak over eventuele gezondheidsrisico's. De beschrijving van de veldproef is te vinden in paragraaf 3.2.5 'Operationele Context'.

Analytisch-chemische omgevingsmonitoring

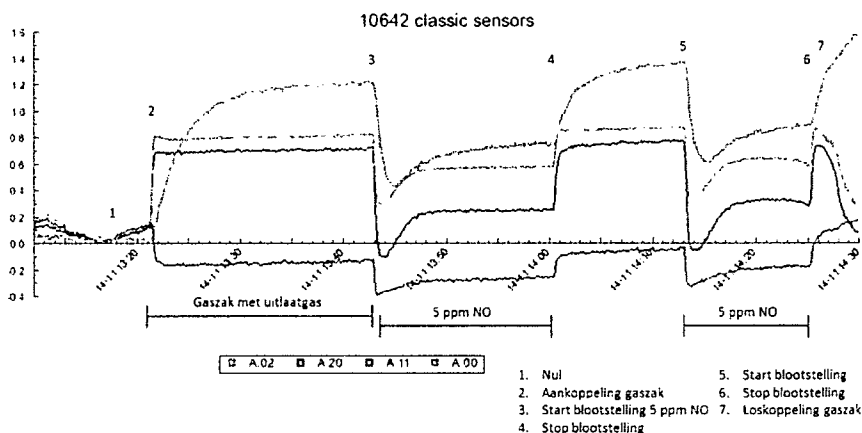
Onderzoek is verricht naar geschiktheid van commercieel verkrijgbare, kleine en goedkope sensoren voor snelle detectie van militair relevante stoffen, die onder operationele omstandigheden gebruikt kunnen worden. Bij de firma Comon Invent (Delft) werden twee draadloze sensorunits aangeschaft met respectievelijk 5 elektrochemische sensoren en 4 halfgeleidersensoren. Deze units worden in het navolgende aangeduid als 'E-nose'. Het meetsignaal van de E-nose wordt via het draadloze communicatiesysteem van Comon Invent naar een PC gestuurd, waar een directe uitlezing wordt waargenomen. De sensoren van de units meten gasvormige componenten. Dergelijke sensoren worden gebruikt voor 'perimeter' bewaking, o.a. bij de DCMR Milieudienst Rijnmond.

In eerste instantie is de 'E-nose' onder laboratoriumcondities getest mbt tot de gevoeligheid voor diverse militair-relevante stoffen (o.a. benzeen, stikstofoxide, koolmonoxide, zwaveldioxide, waterstofsulfide, carbonylsulfide) en mengsels (JP-8, uitlaatgassen). De sensoren werden blootgesteld aan verschillende concentraties benzeen en jet fuel 8 (JP-8). Tijdens de blootstelling van de sensoren werd gekeken naar de respons van de verschillende halfgeleiders en de specifieke elektrochemische sensoren.

De respons van de E-nose op stikstofoxide wordt getoond in Figuur 4, die op stikstofoxide in uitlaatgas in Figuur 5.



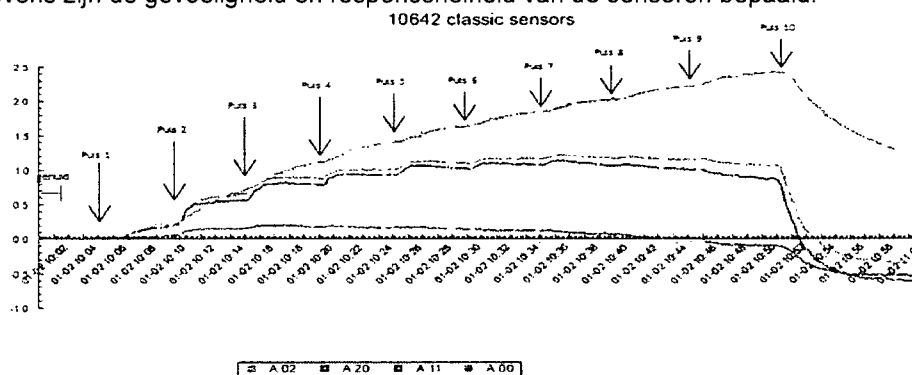
Figuur 4 Respons van 4 sensoren in de E-nose op stikstofoxide in schone lucht.



Figuur 5 Respons van de E-nose op 5 ppm stikstofoxide in uitlaatgas.

Uit de resultaten komt naar voren dat de verschillende componenten een verschillende respons geven t.a.v. de halfgeleidersensoren en de specifieke elektrochemische sensoren.

Tevens zijn de gevoeligheid en responsnelheid van de sensoren bepaald.



Figuur 6 Respons van 4 sensoren op pulsgewijze verhoging van de concentratie BTEX in de meetomgeving.

Figuur 6 toont de respons van 4 van de 9 sensoren in de E-Nose, nadat bij elke puls (elke 4-5 minuten) 400 ppb van een mengsel van benzeen, toluen, ethylbenzeen en xyleen (BTEX) werd toegevoegd. 40 ppb BTEX is goed meetbaar met deze sensoren.

Belangrijk gegeven voor gebruik van deze sensoren in de praktijk is de observatie dat de gevoeligheid van de sensoren toeneemt met de luchtvochtigheid. Producent Comon Invent past daarom een luchtvochtigheidscorrectie toe op de meetwaarden. Defensie is erg enthousiast over deze sensoren, maar wil meer inzicht hebben in de betrouwbaarheid van de sensorsignalen onder militair-relevante omstandigheden. Met budget uit de 'Vrije ruimte' is nog wat kennisopbouw verricht m.b.t. een aantal praktische aspecten, nl. de mate waarin de TICs-lijst die in V1036 is opgesteld wordt afgedekt met de beschikbare sensoren en of sensoren kunnen worden afgesteld voor detectie van specifieke stoffen. Een deel van dit werk is uitbesteed aan Comon Invent.

De E-nose is gebruikt in de experimenten met de gesimuleerde burnpit (zie onder) en in de veldproef (zie paragraaf 3.2.5).

State-of-the-art m.b.t. screening van de toxiciteit van de omgeving

Alvorens in praktische zin van start te gaan met het onderwerp 'toxiciteitscreening' is een uitgebreid literatuuronderzoek verricht op het gebied van continue

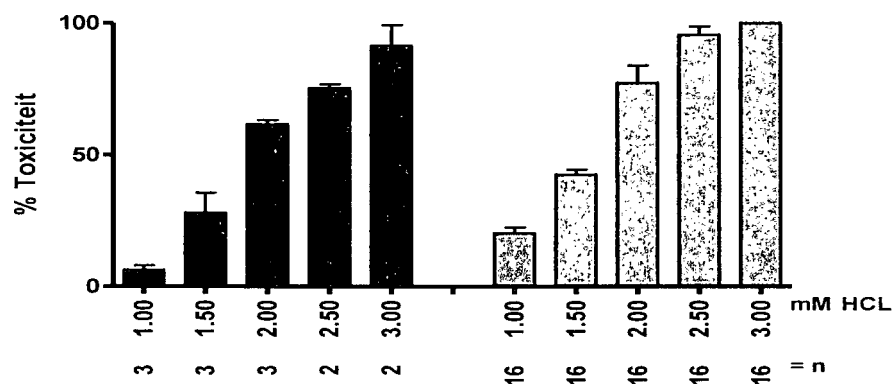
toxiciteitsmonitoring. Hierbij is specifiek gelet op toepasbaarheid onder operationele condities (eventueel na doorontwikkeling) en geschiktheid voor detectie van toxiciteit van een breed palet aan militair-relevante stoffen.

Op basis van deze 'state-of-the-art' studie is duidelijk geworden welke typen biosensor het meest geschikt zijn voor continue toxiciteitsmonitoring voor een brede categorie van militair-relevante stoffen. Op basis van de studie is gekozen voor een platform gebaseerd op een 'whole cell' systeem, met een relatief lage specificiteit, zodat een brede range aan chemicaliën kan worden gemonitord, nl het platform gebaseerd op een lichtgevende bacterie die door een toxische stressor stopt met licht uitzenden. Het geselecteerde systeem heeft reeds zijn waarde bewezen onder operationele condities in het kader van drinkwatermonitoring. Daarnaast zijn er diverse leads geïdentificeerd voor toepassing van biosensoren gebaseerd op bepaalde cellijnen, waarmee een voor de mens representatiever beeld van de toxiciteit kan worden verkregen. De state-of-the-art studie is beschreven in rapport TNO-DV 2011 A087.

In vitro toxiciteitscreening

Een commercieel verkrijgbaar platform gebaseerd op lichtgevende bacteriën (*Vibrio fischeri*), de ToxControl (MicroLan BV, Waalwijk) is aangeschaft en geëvalueerd m.b.t. de toepasbaarheid voor onze doeleinden. Dit platform is ontwikkeld voor het screenen van waterige monsters op aanwezigheid van toxische stoffen en is door ons geschikt gemaakt voor het testen van lucht- en grondmonsters.

Als eerste stap is in kaart gebracht voor welke stoffen de bacteriën al dan niet gevoelig zijn, en ook hoe gevoelig ze zijn voor deze stoffen. De analyse met de ToxControl kost veel tijd: 1 monster in 25 minuten. Als alternatief is de methode nagebouwd op een microtiterplaat, waarmee 96 monsters tegelijk kunnen worden geïncubeerd met de bacterie en vervolgens uitgelezen met een microtiterplaat reader, hetgeen ongeveer 1 minuut kost. Voor screeningsdoeleinden is dit ideaal. De resultaten met de microtiterplaat methode komen prima overeen met die van de monster-voor-monster analyse in de ToxControl, zoals te zien in Figuur 7.

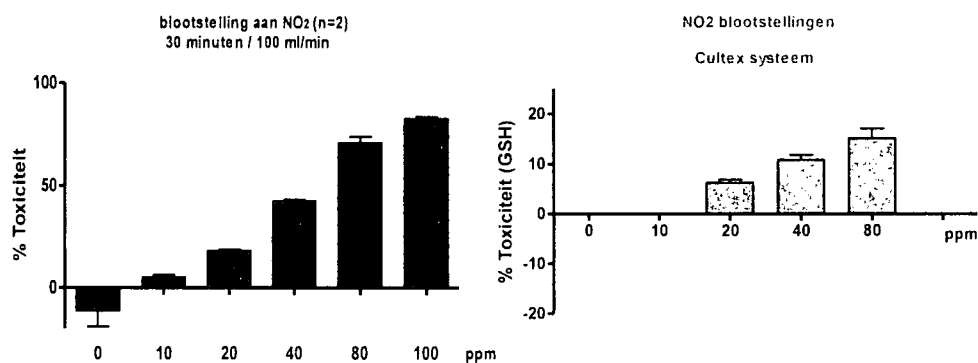


Figuur 7 Toxiciteit van verschillende concentraties zoutzuur (HCl) in water voor *Vibrio fischeri* zoals gemeten met de ToxControl (zwarte bars) en met de microtiterplaat methode (grijze bars). Toxiciteit is uitgedrukt als afname van luminescentie in de monsters t.o.v. die van de controle (water).

Voor diverse militair relevante stoffen (o.a. zoutzuur, zinksulfaat, permethrine, 2,4-dichloorfenol, verbrandingsrest rookgranaat) in waterige oplossing is de relatie tussen concentratie en toxisch effect in de bacterie bepaald. Voor alle stoffen werden bruikbare dosis-effect relaties verkregen.

Het meten van de toxiciteit van luchtmonsters met het bacterieplatform bleek eenvoudiger dan verwacht. Gecontroleerd doorleiden van het luchtmonster vanuit

een gaszak of canister door de bacteriesuspensie bleek prima te voldoen. Uiteraard worden alleen de wateroplosbare componenten op deze wijze gescreend, hetgeen een beperking is van de methode. Het is niet mogelijk de bacteriën op een air-liquid interface bloot te stellen aan lucht, zoals met menselijke longcellen in het in V217 onderzochte CULTEX[®] systeem. Figuur 8 toont de vergelijking van de toxiciteitsbepaling van NO₂ met het bacterieplatform en het CULTEX[®] systeem. De responses op NO₂ van beide methoden zijn redelijk vergelijkbaar.



Figuur 8 Dosis-effect relatie van NO₂ voor het bacterieplatform (links) en voor menselijke longcellen in kweek in het CULTEX[®] systeem (rechts).

Het meten van de toxiciteit van grondmonsters bleek een grotere uitdaging. Doordat vele stoffen sterk hechten aan gronddeeltjes zijn deze niet makkelijk hier vanaf te extraheren met waterige vloeistoffen. Organische oplosmiddelen leveren betere resultaten qua extractie, maar zijn slechts in beperkte mate te gebruiken omdat deze eveneens toxisch zijn voor de bacteriën. In eerste instantie is de extractie uitgevoerd door te schudden op een rollenbank, gevolgd door 3 minuten ultrasoon trillen, centrifugeren en filtreren, waarna de toxiciteit werd gemeten met de microtiterplaat methode. Voor redelijk wateroplosbare stoffen als zinksulfaat werden vrij goede resultaten verkregen (ca. 20% recovery), voor slecht oplosbare stoffen als permethrine bleven de resultaten tegenvallend. Complicatie bij deze extractiemethode is dat het waterige extract van grond waaraan geen componenten waren toegevoegd ook een respons op de bacterie gaf, vermoedelijk door het vrijkomen van kiezelzuren.

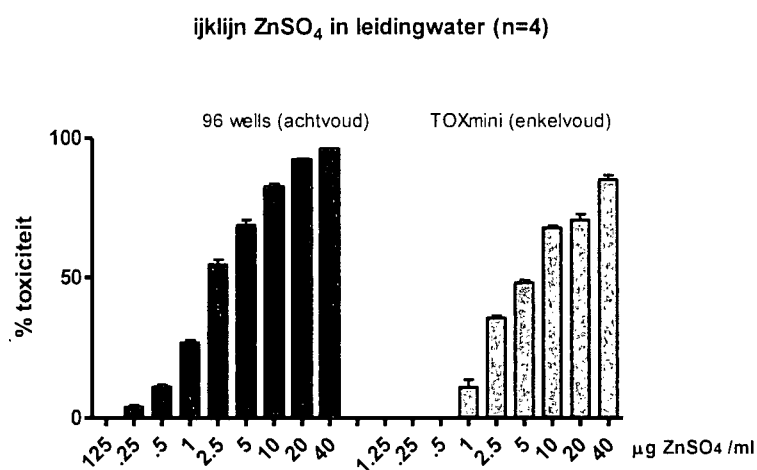
Met een techniek die wordt aangeduid als 'microwave-assisted extraction' (MAE), waarbij een zeer krachtige magnetron wordt gebruikt, werden betere resultaten verkregen: de recovery van zinksulfaat werd verdubbeld. Bovendien is de methode sneller en kunnen meerdere monsters tegelijk worden opgewerkt. Grond waaraan geen componenten zijn toegevoegd geeft geen toxisch effect op de bacteriën. De MAE aanpak lijkt derhalve goed te werken voor analyse van grondmonsters. Nadeel is dat deze (vooralsnog) offline moet worden uitgevoerd.

'Advanced technology demonstrator' voor toxiciteitsscreening

Een demonstrator van het toxiciteitsscreeningssysteem is ontwikkeld op basis van de TOXmini (zie Figuur 9), een commercieel verkrijgbaar platform voor watermonsters. De demonstrator is uitgerust met een paar minipompjes en een flowcontroller. Het systeem presteerde op een vergelijkbare manier als de microtiterplaat methode, wanneer zinksulfaat als modelstof werd genomen (zie Figuur 10). Het systeem is tevens geschikt voor online meting van de toxiciteit van lucht. Extracten van grondmonsters moeten offline worden gemeten. De demonstrator is in de veldproef gebruikt (zie paragraaf 3.2.5)



Figuur 9 Boven- en zijaanzicht van de 'advanced technology demonstrator' voor toxiciteitsscreening op basis van de TOXmini, gecombineerd met een aantal minipompjes, een flowcontroller, en monsterflesjes.

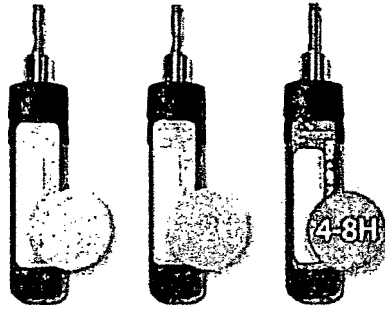


Figuur 10 Dosis-effect curven voor zinksulfaat in leidingwater, gemeten met de microliterplaat methode (zwarte bars) en de demonstrator op basis van de TOXmini (grijze bars).

Personal sampling

Er is een uitgebreide literatuurresearch uitgevoerd naar commercieel verkrijgbare (personal) air sampling devices die enerzijds gebruikt kunnen worden in combinatie met analytische apparatuur, en anderzijds in combinatie met een te ontwikkelen toxiciteitsmonitor. De diverse devices zijn vervolgens beoordeeld op diverse criteria, zoals robuustheid, gebruiksvriendelijkheid, manier van sampling, geschiktheid voor welke matrix. Op deze wijze kan voor diverse toepassingen op snelle wijze de meest geschikte sampling methode/device worden geselecteerd. Deze literatuurresearch is opgenomen in de eindrapportage over WP300.

Aan het einde van programma V217 was Helium diffusie sampling al geïdentificeerd als een mogelijk interessante wijze van personal sampling. De samplers bestaan uit canisters die met Helium zijn gevuld. Indien de sampler wordt geactiveerd door openen van de klep diffundeert helium naar buiten. Door de ontstane lokale onderdruk wordt omgevingslucht in de canister bemonsterd. De snelheid waarmee Helium naar buiten diffundeert is afhankelijk van het type klep, en kan ingesteld worden. Commercieel verkrijgbare samplers hebben sampling tijden van 15 minuten, 1-2 uur, en 4-8 uur, (zie Figuur 11). De samplers zijn ook in verschillende groottes verkrijgbaar.



Figuur 11 Commercieel verkrijgbare Helium diffusie samplers met verschillende sampletijden.

Een belangrijk voordeel van dit type sampling is dat de monsters in de inerte Helium atmosfeer aanwezig zijn en derhalve stabiel blijven, dit in tegenstelling tot eerdere ervaringen met monsternamen in gaszakken. Een ander voordeel is dat alle vluchtige stoffen in de omgevingslucht worden gesampled, er is geen selectie vooraf op type componenten zoals bijvoorbeeld bij bemonstering met Tenax. Kwantificering is relatief eenvoudig omdat in de sampler al een calibratiegas aan de Helium is toegevoegd.

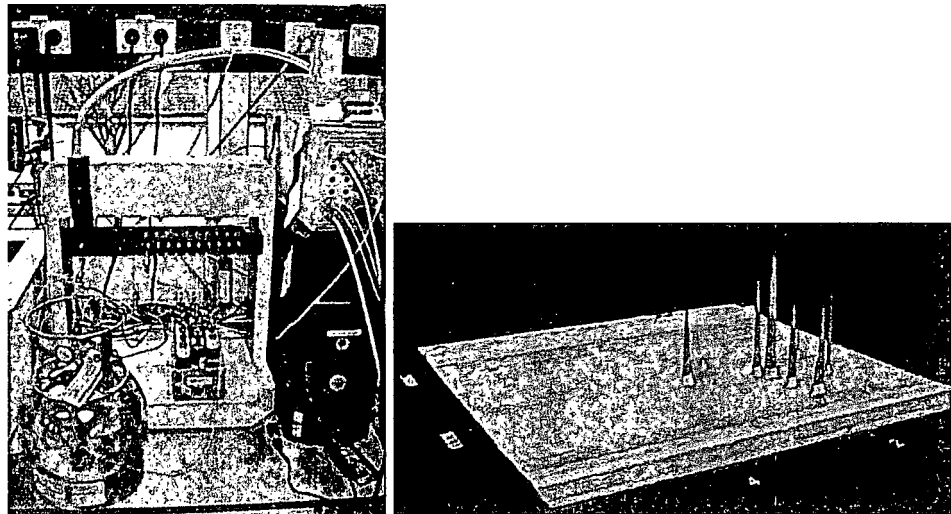
Diverse operationeel-gerelateerde aspecten van de samplers zijn onderzocht. Bemonstering bij verschillende temperaturen (-20 °C, -4 °C, 20 °C) toont geen dramatische verschillen in de gesampled hoeveelheid en samenstelling van het monster. De opgevangen monsters blijven tot tenminste 2 weken stabiel in de samplers, ongeacht de temperatuur waarbij deze worden bewaard. Voor bewaren bij zeer lage temperaturen moesten de originele O-ringen in de samplers worden vervangen door speciale O-ringen. Niet-bemonsterde samplers kunnen goed worden bewaard, zelfs in een vuile (JP-8) omgeving.

Een systematiek is ontwikkeld waarmee door weging van de samplers vrij nauwkeurig kan worden bepaald hoe lang de samplingtijd was.

De samplers kunnen prima worden gemeten mbv de comprehensive gas chromatograaf, zie Figuur 12. Deze analysemethode heeft een enorm scheidend vermogen voor complexe mengsels en is zeer gevoelig: componenten kunnen op laag ppb-niveau (soms hoog ppt-niveau) worden gemeten in de samplers. Er kunnen 4 samplers per uur worden gemeten op deze configuratie.

In WP500 'Operationele Context' is een manifold ontwikkeld waarmee de samplers ook met de portable GC-MS die Defensie heeft aangeschaft – HAPSITE – te velde kunnen worden gemeten (zie paragraaf 3.2.5)

Helium diffusiesampling lijkt een geschikte methode te zijn voor personal sampling te velde. Defensie kan met weinig aanvullende effort tot invoering hiervan overgaan.



Figuur 12 Meting van Helium diffusiesamplers met de comprehensive gaschromatograaf met time-of-flight massaspectrometrische detectie. Rechts het chromatogram van een BTEX-monster in een Helium diffusie sampler (1 ppm in de sampler).

Defensie heeft ook behoefte aan personal sampling van (nano)deeltjes (o.a. fijnstof), waarin de helium diffusie sampler niet kan voorzien. De huidige systemen die Defensie heeft voor sampling van deeltjes op de man voldoen niet aan de verwachtingen, met name omdat de gebruikte GilAir pompjes niet stabiel genoeg zijn. Met extra budget uit de gelden betreffende 'onderbesteding doelfinanciering 2012' is in V936 onderzoek verricht aan de mogelijkheden voor personal sampling van (nano)deeltjes op de man.

Een overzicht van (vnl. commercieel) beschikbare systemen is gemaakt, met bijbehorende karakteristieken en voor- en nadelen. Een persoonlijke deeltjesampler voor het militaire domein moet robuust, klein en licht van gewicht zijn. Uit het gemaakte is een prototype van een sampler-gebouwd op basis van een mini-cascade impactor (Sioutas 5-stage impactor) en een SKC Leland Legacy Sample Pump. Deze pomp weegt weliswaar 1 kg, maar geeft een stabiele flow tot 15 l/min. In de inlet van de impactor wordt een fotogevoelige strip geplaatst, waarmee eventuele radioactiviteit kan worden opgepikt. Tevens wordt in de nano-sectie van de impactor een grid geplaatst die achteraf kan worden geanalyseerd met een Transmissie Elektronenmicroscop (TEM), waarmee veel informatie wordt verkregen over groottes, vorm en samenstelling van de afgevangen nanodeeltjes. Met dit prototype zijn enige experimenten verricht. De werkzaamheden en resultaten van deze extra studie zijn beschreven in rapport TNO 2012 R11185 (extra deliverable, met extra budget).

Burnpit experimenten

Tijdens de uitvoering van het programma kwamen de gezondheidsrisico's van blootstelling aan de rook van burnpits in de actualiteit. Als voorloper op de uiteindelijke veldproef is een zgn 'burnpit' experiment uitgevoerd, waarbij de diverse technologieën zoals ontwikkeld in dit programma werden ingezet. Vanuit Defensie is input verkregen over de te verbranden materialen. De brand werd onder gecontroleerde condities uitgevoerd, in een raketbunker op het achterterrein van locatie Rijswijk. In de bunker werd "bovenwinds" een "burnpit" gemaakt, zie Figuur 13. Deze is een metalen drum waarin afval werd verbrand. Het verbrande materiaal was een selectie van PET flessen, plastic bekertjes, oude verfblikken, PUR-schuim, niet-oplaadbare batterijen AA, autobanden, bedrukt papier en karton, hout afval, kerosine / diesel, afgewerkte olie. Gedurende 60 minuten werd om de 15 minuten een plastic vuilniszak met bekende hoeveelheid van een mix afval verbrand.

De verbrandingsgassen worden met deze luchtstroom meegevoerd. De meetapparatuur werd aan het eind van de bunker tunnel geplaatst, op circa 20 m van de burnpit. Belangrijke bevinding was dat de analyse- en toxiciteitsbepalingsapparatuur niet te laag in de bunker moet worden geplaatst, maar op circa 2 m hoogte teneinde voldoende meetsignaal te verkrijgen door meer contact met de rookpluim. De sensoren reageerden zeer snel op de aanwezigheid van de diverse verbrandingsgassen. Analyse van de monsters die met Tenax buizen waren afgevangen leerde dat er veel aromaten aanwezig waren. Benzeen, toluen, styreen (afkomstig van plastics) en naftaleen (afkomstig van rubber/olie) waren in zeer hoge concentraties aanwezig. GC-MS analyse van de HDS samplers gaf een vergelijkbaar beeld als van de Tenax monsters, alleen werden de componenten die in lage concentraties aanwezig zijn en de hoogkokende componenten niet teruggevonden. In een HDS sampler geplaatst op een brandweerman die een aantal keer kort door de rook liep, zijn een aantal componenten keurig terug te vinden. De resultaten zijn wel sterk afhankelijk van de momenten dat de brandweerman door de rook liep. Dit was meestal relatief lang na opwerpen van afval dus waren de concentraties van de rookcomponenten relatief laag. Zowel met het CULTEX[®] systeem, als met het bacterieplatform kon de toxiciteit worden gemeten van de verbrandingsrook, zowel bij online metingen als na opvangen van de rook in een gaszak. Het bacterieplatform leek iets gevoeliger te reageren dan het CULTEX[®] systeem.



Figuur 13 Geïmproviseerde burnpit experimenten in een bunker bij TNO te Rijswijk. Links: Afval voor de burnpit wordt verzameld; midden: het afval wordt in brand gestoken; rechts: een deel van de meetapparatuur.

De werkzaamheden en resultaten m.b.t. de geïmproviseerde burnpit zijn in detail beschreven in rapport TNO 2012 R10732. Dit is een extra deliverable van het programma.

De werkzaamheden en resultaten van WP300 'Omgevingsmonitoring' zijn beschreven in het eindrapport van dit werkpakket TNO 2012 R11205.

3.2.4 *Werkpakket 400: Persoonlijke monitoring*

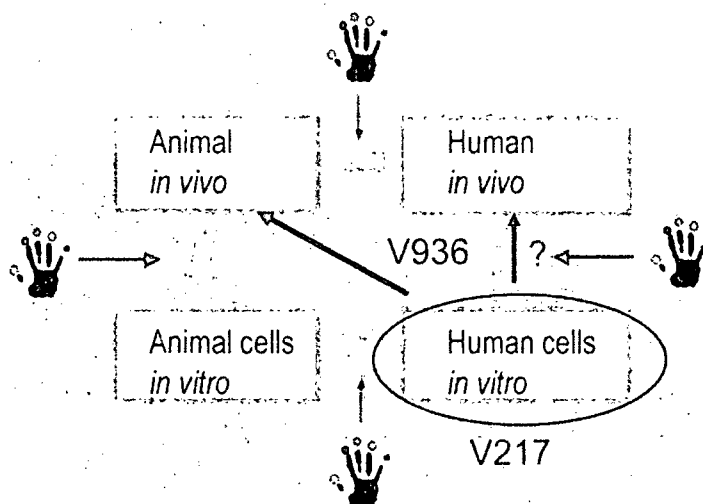
Werkpakketleider :
 Werkpakketbegeleider :
 Projectleider :

Doelstelling: Het ontwikkelen van een systematiek waarmee ziektebeelden die zich geruime tijd na een missie/oefening manifesteren kunnen worden toegekend aan een blootstelling aan (klassen van) toxische stoffen.

Een rapport over de 'state-of-the-art' op het gebied van biomarkers voor chemische blootstelling aan of effecten daarvan in de military context is opgesteld (TNO DV 2011 A077). Bij gebrek aan gedetailleerde informatie over chemische

blootstellingen van Nederlandse militairen was in de draft-versie van het rapport 'Gulf war illness' als voorbeeld genomen. De werkpakketleider vond dit geen gelukkige keuze. In goed onderling overleg is het rapport aangepast. In programma V217 was geconstateerd dat *in vitro* blootstelling van menselijke mononucleaire bloedcellen (PBMCs) aan militair-relevante stoffen als permethrine, TNT en JP-8 een behoorlijke invloed op de genexpressie te hebben. Indien deze invloed voldoende persistent zou zijn dan zou op basis van genexpressiepatronen een blootstelling aan (klassen van) chemisch stoffen kunnen worden aangetoond. In mensen kan de persistentie van genexpressie biomarkers na chemische blootstelling niet op een gecontroleerde wijze worden bestudeerd, derhalve is de rat als model gebruikt (zie Figuur 14). Als teststof is TNT gekozen, een militair-relevante stof die in V217 de sterkste respons gaf op de genexpressie in menselijke PBMCs *in vitro*.

The parallelogram approach in toxicogenomics for developing predictive screens



Figuur 14 Opzet van de studie naar de persistentie van veranderingen in genexpressie als retrospectieve biomarker voor chemische blootstellingen.

Allereerst is de bruikbaarheid van de rat als model voor de mens vastgesteld door de PBMCs van de rat *in vitro* bloot te stellen en de respons te bepalen op de genen die in de mens de grootste reactie vertoonden, dit m.b.v. PCR. De onderzochte genen werden in de rat op de dezelfde manier beïnvloed (dwz up- of downregulatie) als in de mens, alleen was de mate waarin de expressie in de rat werd beïnvloed lager dan in de mens. Overigens is de sterkte van de gemiddelde respons in de mens (n=4) sterk bepaald door een zeer sterke respons in het bloedmonster van 1 van de 4 donoren. Indien de metingen met het bloed van deze donor terzijde worden gelegd, is de respons op rattenbloed vergelijkbaar met die in mensenbloed. Conclusie was dat de rat vanuit genotoxiciteits optiek een goed model is voor de mens m.b.t. de reactie op TNT.

In een eerste pilot-experiment werd aan 1 rat een eenmalige orale dosis van 5mg/kg TNT in zonnebloemolie toegediend, waarna gedurende een periode van 3 weken bloedmonsters werden afgenomen. Als controle werd een rat gebruikt die oraal zonnebloemolie zonder TNT toegediend had gekregen. In de bloedmonsters van de controle- en TNT-blootgestelde rat werd de expressie van de vijf genen gemeten, die *in vitro* studie het sterkst werden beïnvloed. Conclusie was dat er geen significante verschillen in genexpressie waarneembaar waren tussen de TNT-blootgestelde rat en het controledier. In een recente publicatie werd gevonden dat een eenmalige dosis van 4,8 mg TNT aan een rat geen effect heeft op de

genexpressie op 48 uur na toediening, hetgeen in overeenstemming is met onze bevindingen. De toegediende dosis is kennelijk te laag om het beoogde effect te induceren.

Besloten is om niet de dosis te verhogen, omdat dit tot duidelijke intoxicatieverschijnselen zou leiden, maar om TNT herhaald toe te dienen waardoor mogelijk in het lichaam accumulatie optreedt, en er uiteindelijk ondanks de lage dosis toch effecten zijn waar te nemen op de genexpressie. Aan ratten (n=3) is op 5 opeenvolgende dagen 5 mg/kg TNT in zonnebloemolie oraal toegediend. De controledieren (n=3) kregen op 5 opeenvolgende dagen zonnebloemolie zonder TNT toegediend. Bloedmonsters zijn afgenomen vlak voor toediening van TNT en tot 19 dagen na de eerste TNT toediening. Op basis van de literatuur is een drietal genen geselecteerd als mogelijke biomarker, waarvan er 2 ook in de *in vitro* experimenten zijn onderzocht.

Voor de onderzochte genen werd geen significante up- of downregulatie van de expressie geconstateerd in de TNT-groep t.o.v. de controledieren. Expressie van deze genen is onder deze testomstandigheden derhalve niet te gebruiken als biomarker voor blootstelling aan TNT.

Tijdens een literatuursearch naar alternatieve biomarkers voor chemische blootstelling werd de aandacht getrokken door zeer recente publicaties over microRNA. MicroRNAs zijn kleine, noncoding RNAs (19-24 nucleotiden lang). Noncoding wil zeggen dat het RNA niet wordt omgezet naar een eiwit. Ze zijn betrokken in verscheidende biologische processen waaronder de ontwikkeling, groei, en differentiatie van cellen alsmede apoptose (apoptose = gereguleerde celdood). MicroRNAs zijn negatieve regulatoren die de expressie van bepaalde genen te remmen. De expressie van microRNA wordt beïnvloed door verschillende processen zoals oxidatieve stress en inflammatie, maar ook door toxische stoffen. Omdat in het kader van het TNT-experiment V936 al bloed was afgenomen voor meting van de invloed op genexpressie, is er voor gekozen om de bloedsamples die over waren te gebruiken om te onderzoeken of er verschil is waar te nemen in microRNA expressie tussen de blootgestelde (TNT in zonnebloemolie) en de controle dieren (alleen zonnebloemolie). Een aantal geselecteerde microRNA species is gemeten in de bloedmonsters van één TNT-rat en één controlerat, waarbij geringe, niet-significante verschillen werden gevonden. Mogelijk is de steekproef te klein of waren de gekozen microRNA species niet optimaal. Indien het onderzoek aan microRNA als biomarker voor chemische blootstellingen wordt gecontinueerd dan wordt aanbevolen m.b.v. een microarray de microRNA species te selecteren die de sterke respons geven op de teststof. Gezien de kosten daarvan is dit in V936 niet gedaan voor deze hoog-risico benadering.

Conclusie van dit werkpakket (rapport TNO 2012 R11182) is dat op dit moment geen geschikte technologieën voorhanden zijn waarmee de (ambitieuze) doelstelling kan worden gehaald. Het advies is daarom om dit onderwerp voorlopig te laten rusten. Indien nieuwe technologieën opduiken die veelbelovend lijken kan worden overwogen hier weer praktisch onderzoek aan te gaan verrichten. Omdat geruime tijd na de blootstelling de vingerafdrukken van de stoffen zelf weg zijn, zal het hoe dan ook lastig worden om ziektebeelden te correleren aan chemische blootstellingen, omdat vele pathologische eindpunten via meerdere routes (ook anders dan via toxicologische mechanismen) tot stand kunnen komen.

3.2.5 *Werkpakket 500: Operationele context*

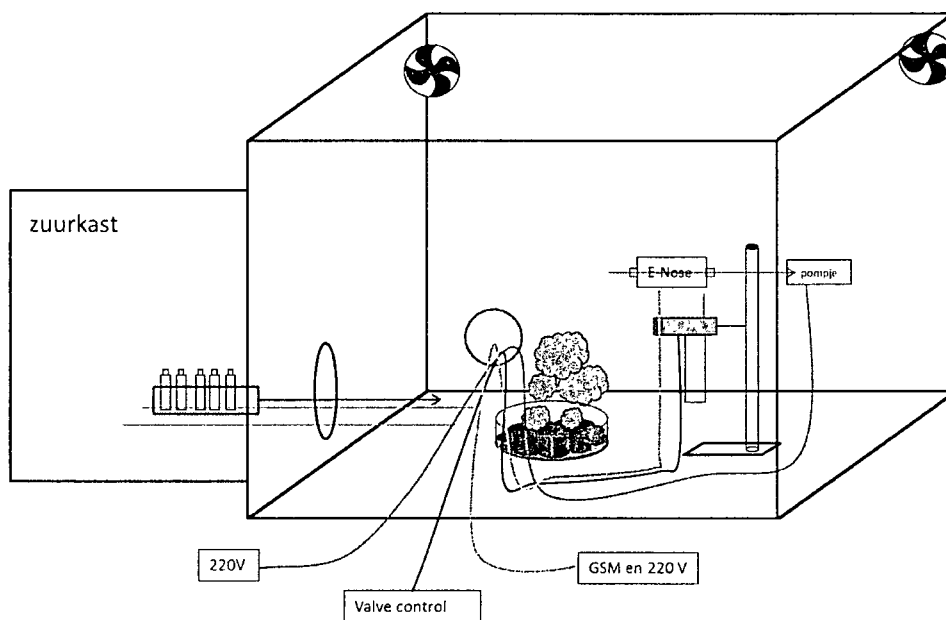
Werkpakketleider :
Werkpakketbegeleider :
Projectleider :

Doelstelling: Een handreiking bieden aan Defensie voor implementatie van de binnen V936 opgebouwde kennis en kunde.

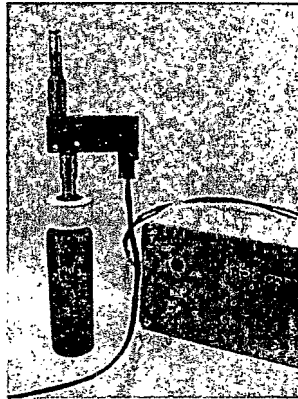
Het onderzoek in WP300 van dit programma heeft aangetoond dat Helium diffusie sampling van grote praktische waarde zou kunnen zijn voor Defensie. Er zijn scenario's denkbaar waarin het wenselijk zou zijn om de sampler niet continu de omgevingslucht te laten bemonsteren, maar deze door een 'trigger' te laten starten met samplen. Een voorbeeld van een 'trigger' is een door de E-nose (zie WP300) gedetecteerde verandering in de samenstelling van de gemonitorde lucht. Dit concept is experimenteel onderzocht (zie Figuur 15).

In een klimaatkamer is in een bak met zand een mengsel van diesel en euro95 gebracht. Na een paar minuten werd op basis van het E-nose signaal de bemonstering van de Helium diffusiesamplers (in dit geval nog handmatig) gestart. De samplers zijn daartoe uitgerust met een elektronische bedienbare klep, zie Figuur 16. Verschillende bemonsteringsduren zijn toegepast, waarna de samplers werden geanalyseerd met een comprehensive gaschromatograaf in combinatie met time-of-flight massaspectrometer (GC*GC-TOF-MS). In alle samplers werd het karakteristieke patroon van het brandstofmengsel teruggevonden. Het is derhalve mogelijk om helium diffusiesampler te activeren op geleide van het signaal van de E-nose. Ook bij relatief korte bemonsteringstijden (enkele minuten) kan een representatief monster worden verkregen met de diffusiesamplers, alleen is dan de bemonsterde hoeveelheid minder. De elektronisch bedienbare klep geeft enige restrictie in de flow, waardoor de diffusiesnelheid iets lager is dan bij een standaard Helium diffusiesampler.

Door een technische aanpassing moet het mogelijk zijn de E-nose de samplers in en uit te schakelen, maar dit viel buiten de scope van het programma.



Figuur 15 Schematische weergave van de opstelling in de klimaatkamer voor starten van Helium diffusie sampling op geleide van het signaal van de E-nose.



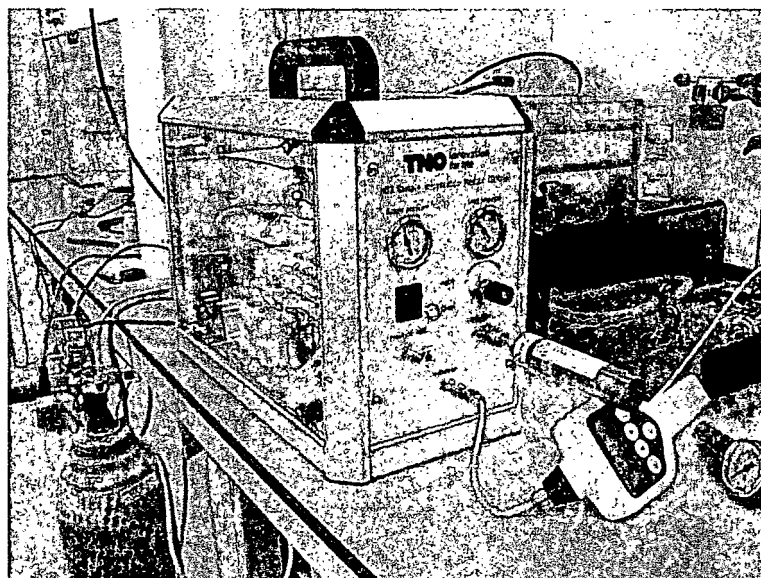
Figuur 16 Helium diffusie sampler met elektronisch bedienbare klep.

Daarnaast is een manifold, de Sample Introduction Module (TNO SIMple gedoopt) ontworpen en gebouwd, waarmee o.a. Helium diffusiesamplers kunnen worden geanalyseerd met de portable gaschromatograaf met massaspectrometrische detectie (HAPSITE) die Defensie tot haar beschikking heeft (zie Figuur 17).

Op deze wijze zouden deze samplers te veld kunnen worden gemeten.

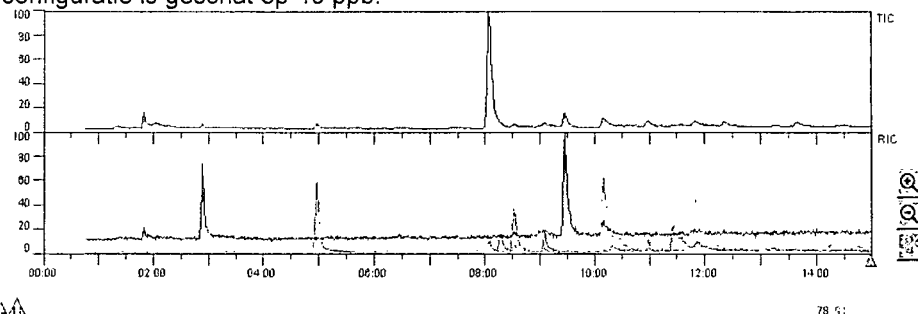
Met deze manifold kunnen de samplers ook worden gemeten met de onder WP300 genoemde sensoren (E-nose), alsmede met het bacterie-gebaseerde toxiciteitscreeningsysteem (TOXmini). In plaats van Helium diffusiesamplers kunnen ook canisters op de manifold worden aangesloten, waarmee grotere monstervolumes kunnen worden genomen.

De manifold is getest mbt de afwezigheid van lekkages, juistheid van de flow door het apparaat, en het injecteren van de inhoud van Helium diffusiesamplers en canisters in de richting van het meetapparaat (HAPSITE of E-nose). Deze tests zijn succesvol afgerond.



Figuur 17 Helium diffusie sampler via de TNO SIMple manifold gekoppeld aan de probe van de HAPSITE.

Figuur 18 toont de analyse van een luchtmonster met benzeen/tolueen/ethylbenzeen/xyleen (BTEX) dat vanuit een helium diffusiesampler (10 ppm gespiked) in de HAPSITE is geïnjecteerd. Het chromatogram vertoont het voor dit mengsel verwachte piekenpatroon. De detectielimiet van BTEX in deze configuratie is geschat op 40 ppb.



78 51

Figuur 18 Analyse van BTEX met HAPSITE MS in combinatie met SIMPLE module.

De huidige versie van de TNO SIMple is bedoeld voor researchdoeleinden. Het is mogelijk een meer compacte en lichtere versie te ontwikkelen die te velde zou kunnen worden gebruikt. Dit prototype van de TNO SIMple is een extra deliverable van het programma.

In WP300 stond een internationale veldproef gepland. Uiteindelijk zijn er geen buitenlandse partijen komen opdagen maar is een veldproef te TNO Rijswijk gehouden in aanwezigheid van een delegatie van Defensie, alsmede van het RIVM en DCMR. Omdat configuraties zijn gebruikt die zijn ontwikkeld onder WP300 en 500 is het meer opportuun om de rapportage over de veldproef in WP500 op te nemen.

In een bunker zijn 2 experimenten verricht: (1) het afsteken van een gekleurde rook granaat, en (2) de gesimuleerde burnpit, zie Figuur 19



Figuur 19 Impressies van de veldproef in de bunker.

Directe meting van de omgevingslucht geschiedde met de E-nose. E-noses waren opgesteld in de bunker, op het dak, en op 30 m benedenwinds van de bunker. Daarnaast is een varieteit aan monsters genomen:

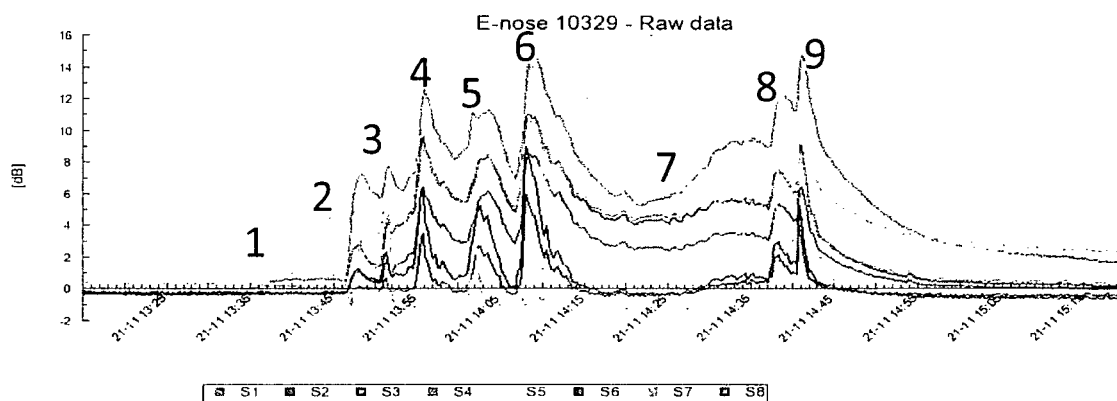
- Helium diffusie samplers (stationair in bunker en buiten; vastgemaakt aan een radiografisch bestuurd elektrische 'drone');
- Canisters;
- Gaszakken;
- Wasflessen (t.b.v. toxiciteitsmetingen).

De monsters werden geanalyseerd met de:

- HAPSITE (mbv de TNO SIMple);
- Comprehensive gaschromatograaf (GC*GC-TOF-MS);
- TOXmini.

De E-nose in de bunker reageerde direct op de gegenereerde gele rook, die op het dak gaf ook een respons. In de Helium diffusie samplers kon niets worden gemeten met de HAPSITE, en nauwelijks iets met de comprehensive gaschromatograaf. De rook van de granaat heeft slechts 1 minuut in de bunker gehangen, dus hebben de samplers slechts weinig monster kunnen nemen. Uit eerder onderzoek aan gekleurde roken is bekend dat de rook vooral uit deeltjes van de kleurstof bestaat en een variëteit aan (anorganische) zuren, doch slechts weinig organische verbindingen. Derhalve is gaschromatografie een minder geschikte analysemethode voor dit type roken. De vloeistof uit de wasflessen, waar de rook doorheen was geleid, gaf een duidelijke respons in de TOXmini. Het burnpit experiment in de veldproef is op vergelijkbare wijze uitgevoerd als in de uitgebreide studie in WP300 naar mogelijkheden om metingen te verrichten aan toxische verbindingen die vanuit een burnpit ontstaan. Ook hier reageerde de E-nose in de bunker zeer snel, zie Figuur 20.

Ook buiten de bunker, op 30 m benedenwinds, werd nog een respons van de E-nose verkregen, uiteraard beduidend lager dan in de bunker. Buiten werd een fenol-achtige lucht geroken. In de Helium diffusie samplers kon met de HAPSITE niets worden aangetoond, met de comprehensive gaschromatograaf wel. Het bleek dat de gevoeligheid van de HAPSITE een factor 100 slechter was dan tijdens de calibratie een dag eerder. Als de HAPSITE in goeden doen was geweest tijdens de metingen dan was het ook met dit apparaat mogelijk geweest componenten te meten in de Helium diffusie samplers. Van invloed op de gevoeligheid kunnen geweest zijn het teruglopen van het vacuüm of verontreiniging van de bron. Interessant is dat in de samplers die onder de radiografische bestuurd elektrische 'drone' waren gehangen en in de wolk die uit de afvoer van de bunker waarneembaar was, ook componenten konden worden gemeten. Ook hier gaf de vloeistof in de wasflessen, waar de rook door was geleid, een respons in de TOXmini.



Figuur 20 Respons van de E-nose in de bunker op de gesimuleerde burnpit.

- 1 diesel in het vat gegoten
- 2 ontsteken van het openhaardhout met diesel
- 3 extra papier met diesel voordat afvalzak wordt geplaatst
- 4 1e afvalzak 5,4 kg op het vuur
- 5 2e afvalzak 5,2 kg op het vuur
- 6 3e afvalzak 6,2 kg op het vuur
- 7 deksel op het vat
- 8 blussen met water
- 9 nogmaals blussen met water

Conclusie is dat de veldproef succesvol is verlopen. De E-nose reageert zeer goed op de contaminanten; de Helium diffusie samplers zijn bruikbaar en de TOXmini

levert toegevoegde waarde. Uitlezing van de samplers met de HAPSITE via de TNO Simple module is in principe mogelijk, maar de HAPSITE blijkt niet erg stabiel te zijn in de loop der tijd. Daarom verdient het aanbeveling om de Helium diffusie samplers in ieder geval ook met de comprehensive gaschromatograaf te laten meten. Omdat het monster stabiel blijft in de sampler, kunnen deze zonder bezwaar worden verscheept naar Rijswijk voor analyse.

Alle boven beschreven resultaten zijn opgenomen in het eindrapport (TNO 2012 R11134) over dit werkpakket.

3.2.6 *Werkpakket 600: Vrije ruimte*

Doelstelling: Indien nodig, extra budget toewijzen aan lopende onderwerpen danwel een nieuw onderwerp oppakken.

Op basis van de discussies tijdens de MidTerm Review en de wensen van de werkpakketbegeleider is het voorstel voor alloceren van de vrije ruimte als volgt:

1. Munitie-gerelateerde stoffen (WP200):

- Inventarisatie van (groepen van) relevante munitie (o.a. klein kaliber, pyrotechnische middelen, mortieren, kneedexplosieven, etc) en de ingrediënten daarvan;
- Identificatie van de parameters die benodigd zijn om een risicoschatting te kunnen maken voor blootstelling aan de individuele stoffen onder operationele omstandigheden;
- Vaststellen in hoeverre bovengenoemde parameters beschikbaar zijn uit de open literatuur of verkregen kunnen worden via internationale fora;
- Vaststellen in hoeverre toxicologische gegevens beschikbaar zijn over de toxicologie van mengsels en combinaties van deze stoffen.

2. Risicobeoordeling (WP200):

- Fijnstof: afleiden veilige grenswaarden voor blootstelling aan PM10 en PM2.5;
- Risicobeoordeling voor de specifieke situatie van militairen met herhaalde uitzendingen:
 - Vindt tussen de missies door herstel plaats?
 - Is er sprake van cumulatieve effecten?
 - Hoe kunnen we inschatten wat de consequenties zijn van huidige blootstelling voor effecten op langere termijn (hoe lang ijlt dit na, wanneer kunnen effecten nog intreden?).
 - Is er een uitspraak over het aantal acceptabele uitzendingen tijdens een militair werkzaam leven en de benodigde tussenpozen mogelijk?

3. Omgevingsmonitoring (WP300):

- In overleg met producent Comon Invent vaststellen in welke mate met de E-nose de relevante stoffen die WP200 zijn gedefinieerd en/of op de TICs lijst van het JKC-CBRN staan kunnen worden gedetecteerd onder operationele omstandigheden;
- Daarnaast zal worden vastgesteld of het mogelijk is de sensoren te programmeren voor specifieke chemicaliën, eveneens in overleg met Comon Invent;
- De mogelijkheden om het achtergrondsignaal van de meetomgeving als nulsignaal in te stellen zullen worden onderzocht.

De resultaten van deze studies zijn gerapporteerd in de betreffende werkpakketten.

3.3 Bijdrage aan de Defensieproblematiek

Programma V936 heeft aantoonbaar bijgedragen aan het oplossen van de Defensieproblematiek door elementen van het risicomanagementsysteem vorm te geven. De grootste vooruitgang is geboekt op het gebied van de monitoring van de chemische samenstelling en toxiciteit van de militair-operationele werkomgeving, waar een aantal benaderingen is onderzocht die zonder al teveel aanvullende inspanning kunnen worden geïntroduceerd in de Krijgsmacht. Tevens is belangrijke vooruitgang geboekt op het gebied van de risicobeoordeling van blootstelling aan toxische stoffen, door een aantal aspecten uit te diepen die de specifiek militaire blootstellingsomstandigheden betreffen.

3.4 Appreciatie van de programmaresultaten

Tijdens de V936-einddag heeft de programmabegeleider de appreciatie van het programma gepresenteerd. De insteek die daarbij is gekozen was het nut van het programma voor het adresseren van de problematiek waar het Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid (CEAG) van het Ministerie van Defensie mee wordt geconfronteerd. Als concreet voorbeeld werd het dossier 'Luchtkwaliteit in Afghanistan' genomen.

Door het CEAG is uitgebreid literatuuronderzoek gedaan (EPA, WHO, RIVM, US DoD) naar de blootstelling en effecten van fijnstof. De risicobeoordeling van de blootstelling van militair personeel aan fijnstof is complex: het betreft een periodieke, discontinue blootstelling die een bijpassende meetstrategie vereist. Verder spelen lokale, situationele factoren een belangrijke rol, alsmede de activiteiten die de militairen ondernemen.

De aanbevelingen die onder andere in dit rapport worden gedaan zijn: (i) er is behoefte aan een eenduidig risicobeoordelingssysteem, (ii) aanvullende kennisopbouw is nodig op het gebied van 'ultrafijne' particles en chronische effecten van blootstelling aan fijnstof, (iii) toepassen van die opgebouwde kennis.

Met betrekking tot de risicobeoordeling t.b.v. het dossier 'Luchtkwaliteit in Afghanistan' zijn de volgende vragen opgekomen:

- Wat is de blootstelling van het individu? (verschillende lokaties, werkzaamheden, verschillende omstandigheden)
- Welke gezondheidskundige advieswaarden moeten worden toegepast?
- Wat is de invloed combinatietoxicologie en het klimaat?
- Wat is de invloed van periodieke blootstelling ?

V936 WP200 heeft bijgedragen aan de beantwoording van deze vragen. De methodiek die is opgezet voor afleiding van blootstellingsscenario's, er zijn echter nog veel onzekerheden in de getallen waarop de schattingen moeten worden gebaseerd. Maar door de systematiek toe te passen is het mogelijk om meer inzicht in de blootstelling van een bepaalde functiegroep te krijgen. Voor wat betreft de operationele advieswaarden (MGCS-waarden) geldt dat nog additionele validatiegegevens nodig zijn voor de MGCS-waarden. De methodiek voor risicoschatting van mengsels van stoffen is toepasbaar, evenals de afgeleide advieswaarde voor fijnstof en de methodiek voor bepaling van de mate van herstel na een chemische blootstelling. Dit laatste onderwerp vergt nog wel nader onderzoek. Met betrekking tot de invloed van de klimaatfactoren zijn aanvullende validatiegegevens nodig. Dit relevante onderwerp vraagt verder onderzoek. Met betrekking tot de omgevingsmonitoring in het licht van het dossier 'Luchtkwaliteit in Afghanistan' zijn de volgende vragen opgekomen:

- Wat is de blootstelling van het individu?
- Meetstrategie;
- Monitoren op de persoon;
- Internationale afstemming.

/936 WP300 en WP500 hebben bijgedragen aan beantwoording van deze vragen. De resultaten behaald met de Helium diffusie sampler zijn direct toepasbaar. De mogelijkheden en beperkingen van de samplers zijn in kaart gebracht. Defensie kan nu de operationele randvoorwaarden definiëren. Het nut van Helium diffusie sampling bij hele lage concentraties van stoffen in de omgevingslucht is nog niet geheel duidelijk.

De eenvoudige, commercieel verkrijgbare, goedkope sensoren die in een E-nose kunnen worden gebruikt bieden perspectief voor Defensie. Mogelijkheden en beperkingen zijn grotendeels in kaart gebracht. Het is nu aan Defensie om de wijze van toepassing van de E-nose te bepalen. Samenwerking met RIVM en JKC-CBRN is gewenst. Hier ligt ook een kans voor een kennistoepassingsproject bij TNO. Een platform voor toxiciteitsscreening is ontwikkeld en het proof-of-concept is geleverd. Het bacterie-gebaseerde systeem heeft vele mogelijkheden, maar ook duidelijke beperkingen. De in het programma ontwikkelde 'advanced technology demonstrator' op basis van de commercieel verkrijgbare TOXmini module zou in het uitzendgebied kunnen worden toegepast. Defensie zal een besluit moeten nemen over de rol van toxiciteitsscreening in het risicobeoordelingsstelsel.

Het relateren van ziektebeelden die na een missie ontstaan aan chemische blootstellingen is een lastige kwestie. M.b.t. de blootstelling aan fijnstof in Afghanistan is in de literatuur geconstateerd dat er verschillende typen fijnstof zijn (pollen, roet, metaaldeeltjes, mineralen) die mogelijk elk verschillende reacties opwekken in het lichaam.

De biomarkers die in V936 WP400 zijn ontwikkeld geven te weinig effect om toepasbaar te zijn. Aanbeveling is om voorlopig het civiele onderzoek op dit gebied te volgen. De ontwikkelingen op gebied van biomonitoring en toxicogenomics zijn veelbelovend en het blijft een belangrijk aandachtspunt voor defensie. In de toekomst is het verstandig het onderzoek te richten op specifieke groepen van stoffen.

V936 WP500 'Operationele context' heeft het pad richting implementatie van de opgebouwde kennis en kunde geëffend. Dit werkpakket heeft 2 extra deliverables opgeleverd nl. het proof-of-concept van de automatische Helium diffusie sampler en het prototype van de TNO SIMple. Een en ander kan verder worden uitgewerkt in kennistoepassingsprojecten.

De veldproef was de ultieme test voor de in V936 ontwikkelde methoden, waarbij de beperkingen van de diverse methoden voor gebruik in het veld aan het licht zijn gekomen. Samenwerking met RIVM en DCMR voor verdere ontwikkeling op dit gebied wordt aanbevolen.

Het moge duidelijk zijn dat de appreciatie van V936 positief is.

4 Verantwoording

4.1 Algemeen

V936 was het vervolg op programma V217 'Operationele Toxicologie' en adreseerde op hoofdlijnen dezelfde onderwerpen, nl. omgevingsmonitoring, persoonlijke monitoring en risico evaluatie. V217 was gericht op omgevingslucht en out-of-area missie, terwijl in V936 de integrale militaire werkomgeving (lucht, bodem, water) onder alle militair-operationele omstandigheden (training, oefening, missie) is beschouwd. In V217 werd er vanuit gegaan dat blootstelling aan alle denkbare chemicaliën onder alle denkbare omstandigheden zou kunnen plaatsvinden. In de praktijk blijkt dit niet het geval te zijn : er is een redelijk overzichtelijke set aan chemicaliën waaraan blootstellingen plaatsvindt onder een eveneens overzichtelijke set van blootstellingsscenario's. Daarom is in V936 een afbakening gemaakt t.a.v. stoffen en scenario's, waarmee de mogelijkheden om de problematiek beheersbaar te maken toenemen. Uitgangspunt van V936 was om te proberen zo goed mogelijk aan te sluiten bij de militair-operationele praktijk, met oog voor implementeerbaarheid van de ontwikkelde kennis en kunde.

Het budget was voldoende om de doelstellingen te realiseren en een fors stuk werk te verzetten om daarmee een systematiek voor risicomanagement van chemische blootstellingen dichterbij te brengen.

4.2 Realisatie programmadoelstellingen

De doelstellingen van het programma zijn gerealiseerd. Voor WP400 is geconstateerd dat het nagestreefde doel technologisch nog niet haalbaar is. Ook de beoogde deliverables zijn gerealiseerd: een groot aantal rapporten (waaronder ook niet geplande rapporten), een 'advanced technology demonstrator' van het toxiciteitscreeningssysteem, en 2 extra deliverables: het proof-of-concept van de geautomatiseerde Helium diffusie sampler en de TNO SIMple manifold.

4.3 Organisatie en communicatie

Gezien de goede ervaringen in V217 zijn ook in V936 werkpakketleiders en –begeleiders benoemd. Op verzoek van de programmaleider heeft Mw. het merendeel van de projecten geleid, en de financiële bewaking van het programma als geheel verzorgd. Deze opzet heeft goed gewerkt. Het programma is volgens plan gerealiseerd binnen de randvoorwaarden in termen van tijd en budget. Er is zelfs extra doelfinanciering verworven vanuit de onderbesteding 2012; ook dit budget is gerealiseerd.

Vermeldenswaardig is dat halverwege de looptijd van het programma de TNO-collega's uit Zeist die het onderwerp 'Risicoevaluatie' (deel van WP200) voor hun rekening namen overgingen van de publieke TNO-organisatie naar TNO Triskelion BV. Dit gaf aanleiding tot discussies in het programmavierkant, omdat het niet de bedoeling is dat grote sommen kennisinvesteringsgeld bij commerciële bedrijven belanden. Gezien de bijzondere omstandigheden is dit voor V936 door Defensie geaccepteerd. Voor de opvolger V1338 is dit niet meer mogelijk, en is de risicobeoordeling belegd bij TNO-publiek te Zeist. De mogelijkheid bestaat wel dat kleine opdrachten bij Triskelion BV kunnen worden geplaatst.

De communicatie in het programma is over het algemeen goed verlopen. De programmaleider en –begeleider wisten elkaar prima te vinden voor overleg over alle facetten van V936. Ook op werkpakketniveau is meer dan in het vorige programma intensief en effectief overleg gevoerd over de te volgen koers en de

behaalde resultaten. Alle begeleiders vanuit Defensie waren materiedeskundigen, hetgeen de output en kwaliteit van het programma positief heeft beïnvloed. Het scenariodeel van WP200 is vrij moeizaam verlopen. De door TNO gekozen aanpak om voor heel Defensie de rollen te beschrijven, werd aan het einde van het eerste jaar als onhaalbaar beoordeeld, waarna het geruime tijd duurde voordat consensus werd bereikt over de te volgen aanpak. Vervolgens vertrok de betrokken TNO medewerker, waardoor het project moest worden overgenomen, hetgeen de voortgang niet ten goede kwam. Tegen het eind van het programma keerde deze medewerker terug en heeft het deelproject tot goed einde gebracht. Over het rapport over dit deel van het werk is pas aan het eind van de looptijd van het programma consensus bereikt. Door deze perikelen hebben de blootstellingsscenario's van WP200 niet als input voor de andere werkpakketten kunnen dienen, hetgeen eigenlijk de bedoeling was. De communicatie in het programmavierkant is constructief en plezierig geweest. Er is geen noodzaak tot escalatie geweest.

4.4 Evaluatie en Lessons learned

Het programma is vrij soepel verlopen en tot een goed einde gebracht. Toch een paar kanttekeningen:

- Door capaciteitsproblemen is het programma vrij laat gestart, met de kick-off pas op 7 juli 2009. Hierdoor is in de eerste drie jaren van de looptijd sprake geweest van een achterstand in financiële realisatie, die medio 2012 was weggewerkt. Lesson learned is derhalve om zo snel mogelijk uit de startblokken te gaan indien een programma is toegekend;
- In een aantal werkpakketten is nogal wat personeelwisseling geweest, met name in WP400, waar achtereenvolgens 2 werkpakketleiders vertrokken, en in mindere mate in het Rijswijkse deel van WP200, waar 2 projectmedewerkers vertrokken en gelukkig 1 daarvan na 2 jaar terugkeerde om het werk goed af te ronden. E.e.a. komt de voortgang van het werk niet ten goede. Het verdient aanbeveling om de bemensing van het programma zo constant mogelijk te houden, hoewel men dit uiteraard niet geheel in de hand heeft;
- In V936 zijn 2 bedrijven betrokken geweest nl. MicroLan m.b.t. het toxiciteitsscreeningsplatform en Comon Invent m.b.t. de sensoren voor de E-nose. Dit is goed bevallen en is een aanrader. Wel moet goed worden bewaakt welke kennis al dan niet gedeeld mag worden met de participerende bedrijven.

5 Deliverables

Programma V936 'Militaire Toxicologie' heeft geleid tot de volgende deliverables:

WP100: Management

Flyer "Military Toxicology"

Midterm Review (7 april 2011)

Einddag (11 december 2012)

Artikel voor Nederlands Militair Geneeskundig Tijdschrift 'Onderzoeksprogramma V936 'Militaire Toxicologie'' (20 oktober 2011)

Rapport TNO 2012 R11133 'Eindrapportage V936 'Militaire Toxicologie'

WP200: Risicobeoordeling

Rapport TNO 2012 R11181 'Scenario's voor blootstelling aan militair relevante toxische stoffen'

Rapport Triskelion V20320 'Recovery after Chemical Exposure – implementation in risk assessment'

Rapport Triskelion V20321 'Percentage of exposed population that will exhibit health effects following the exposure'

Rapport Triskelion V20322 'Assessment of a joint toxic action of chemical mixtures and its application in the risk assessment for deployed military personnel'

Rapport Triskelion V20323 Particulate matter: current guidelines and their application in the risk assessment for deployed military personnel

Rapport TNO 2012 R11176 'Differences in ventilation rates due to climate during military operations in The Netherlands and Afghanistan'

WP300: Omgevingsmonitoring

Rapport TNO-DV 2011 A087 'Environmental Toxicity Monitoring: State of the Art'

Rapport TNO 2012 R10732 'Evaluation of environmental and toxicity monitoring methods during improvised 'burn pits''

Rapport TNO 2012 R11185 'Personal nanoparticle sampling in the military field'

Rapport TNO 2012 R11205 'Evaluatie van methoden voor omgevingsmonitoring van militair-relevante stoffen'

Advanced Technology Demonstrator Toxiciteitsscreening

Veldproef (21 november 2012)

WP400: Persoonlijke monitoring

Rapport TNO DV 2011 A077 'Biomarkers of physiological responses to chemical exposures during military operations'

Rapport TNO 2012 R11182 'V936 WP400 Persoonlijke monitoring. Gen en microRNA expressie als biomarkers voor blootstelling aan TNT'

WP500: Operationele Context

Rapport TNO 2012 R11134 'V936 WP500 Operationele Context'

Prototype TNO SIMple

6 Ondertekening

Rijswijk, Maart 2013

TNO
Earth Environmental and Life Sciences

Afdelingshoofd

Auteur

ONGERUBRICEERD
REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL)	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO TNO-rapport 2012 R11133
4. PROJECT/TASKWORK UNIT NO 032.18517	5. CONTRACT NO Opdrachtnummer : V936	6. REPORT DATE Maart 2014
7. NUMBER OF PAGES 34	8. NUMBER OF REFERENCES	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Eindrapportage V936		
11. AUTHOR(S)		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Earth, Environment and Life Sciences, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands 137 Lange Kleiweg, 2288 GJ Rijswijk, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Directorate of Research and Development, Ministry of Defence, P.O. Box 20702, 2500ES The Hague		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubricenseerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidntieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) An overview of R&T program V936 'Military Toxicology' (2009-2012) is presented, which was aimed at filling gaps that have been identified in the risk management approach for chemical exposures. Improved chemical exposure risk management will be the basis of military policy making and be applied in operations and exercises. Focus was on military-relevant chemicals and on specific military operational exposure conditions.		
16. DESCRIPTORS Operational Toxicology, Environmental Monitoring, Exposure scenarios, Risk Evaluation, Personal Monitoring		IDENTIFIERS
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubricenseerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubricenseerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubricenseerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Distribution subject to approval MOD-NL		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubricenseerd

ONGERUBRICEERD

Distributielijst

- 1 DMO/SC-DR&D; inclusief digitale versie
- 2/3 DMO/DR&D/Kennistransfer
- 4 Bibliotheek KMA
- 5 CDC/ D-CEAG Kol.
- 6 DMG / Hoofd SGB
- 7-11 Programmabegeleider Defensie
, Inclusief digitale versie
- 12 JKC CBRN Tav
- 13 BS/ HDP Tav
- 14 H-TGTF
- 15 D-CML
- 16 DMO/KC W&M
- 17 BS/ DRMV
- 18 DMO/ Munitiebedrijf
- 19 DMO/ VH&DZH
- 20 TNO, vestiging Rijswijk
Programmaleider V936,
- 21-25 TNO, vestiging Rijswijk
- 26 TNO, vestiging Rijswijk
Archief
- 27 TNO, vestiging Rijswijk
Afdelingshoofd CBRN Protection,

- 28 TNO, vestiging Soesterberg
Programmareferent,
- 29 TNO, vestiging Soesterberg
Portfoliomanager,

TNO Defensie en Veiligheid

Lange Kleiweg 137
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

www.tno.nl

T +31 15 284 30 00
F +31 15 284 39 91
info-DenV@tno.nl

TNO-rapport

TNO-DV 2008 E542

**Programma V217: Operationele Toxicologie-
Eindrapport**

Datum	augustus 2009
Auteur(s)	Art. 10 (2) (e)
Rubricering rapport Vastgesteld door Vastgesteld d.d.	Ongerubriceerd maart 2009
Titel Managementuittreksel Samenvatting Rapporttekst Bijlagen	Ongerubriceerd Ongerubriceerd Ongerubriceerd Ongerubriceerd Ongerubriceerd
Exemplaarnummer	
Oplage	48
Aantal pagina's	27(incl. bijlage, excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	-

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

Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDOT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.



Programma V217: Operationele Toxicologie- Eindrapport

Dit rapport geeft een overzicht van programma V217 "Operationele Toxicologie", dat ten doel had "het creëren van een wetenschappelijke basis voor en het toepasbaar maken van nieuwe technologieën om risicobeoordeling m.b.t. blootstelling van het personeel aan toxische stoffen mogelijk te maken"



Probleemstelling

Participatie in militaire operaties gaat vergezeld van bekende en onbekende risico's waaronder de gezondheidsrisico's door blootstelling aan toxische stoffen. Als goed werkgever wil Defensie in staat zijn de risico's voorafgaand, tijdens en na het uitvoeren van operaties goed te kunnen vaststellen en beoordelen. Aangezien het inzicht en de middelen daarvoor nog in onvoldoende mate voorhanden waren is getracht middels kennisopbouw hierin te voorzien. Doel financieringsprogramma V217 'Operationele Toxicologie' had als doelstelling 'het creëren van een

wetenschappelijke basis voor en het toepasbaar maken van nieuwe technologieën om risicobeoordeling met betrekking tot blootstelling van het personeel aan toxische stoffen mogelijk te maken'.

Beschrijving van de werkzaamheden

Onderzoeksthema's in het programma waren (i) omgevingsmonitoring, (ii) risicobeoordeling en (iii) persoonlijke monitoring. Binnen elk thema is getracht een aantal onderzoeksvragen middels kennisopbouw te beantwoorden. Binnen de thema's 'omgevingsmonitoring' en 'persoonlijke monitoring' is voornamelijk experimenteel onderzoek verricht; binnen het thema 'risicobeoordeling' is een software-tool ontwikkeld

Resultaten en conclusies

(i) Met betrekking tot omgevingsmonitoring is geconcludeerd dat na monstername van lucht de analyse zo snel mogelijk moet worden uitgevoerd, bij voorkeur in een laboratorium ter plekke. Daarnaast zijn van commercieel verkrijgbare analyseapparatuur de mogelijkheden en

beperkingen in kaart gebracht. Een nieuwe technologie, 'comprehensive' gaschromatografie, is geïdentificeerd, die in staat is om uiterst complexe luchtmonsters in ongeveer 1½ uur te analyseren. Deze technologie is momenteel nog niet fieldable. Voorts is een 'proof of concept' geleverd voor een methode voor screening van omgevingslucht op toxiciteit. Helaas was het gebruikte platform nog niet voldoende robuust om te veld te kunnen worden gebruikt. Alle voornoemde omgevingsmonitoringsmethoden zijn geëvalueerd in een 'veldproef' waarbij een Spurfuchs werd gestart in een loods en de lucht werd bemonsterd en/of geanalyseerd. (ii) Een toolkit is ontwikkeld ten behoeve van risicobeoordeling waarmee veilige grenzen voor blootstelling aan toxische stoffen onder militair-operationele omstandigheden kunnen worden afgeleid. Tevens verschaft de toolkit informatie over de gezondheidseffecten die kunnen optreden indien de veilige grens wordt overschreden. (iii) Op het gebied van persoonlijke monitoring is een methode ontwikkeld voor biomonitoring van blootstelling aan benzeen. Toxicogenomics lijkt een

geschikte technologie te zijn om biomarkers voor gezondheidseffecten ten gevolge van blootstelling aan toxische stoffen te identificeren; verdere exploratie is wenselijk.

Toepasbaarheid

De programmadoelstelling van V217 is gerealiseerd. hetgeen niet betekent dat alle problemen met betrekking tot het risicomanagement rondom de blootstelling van de militair aan toxische stoffen zijn

opgelost. Daarom is een vervolg op V217 gedefinieerd: programma V936 'Militaire Toxicologie'.
Diverse resultaten en aanbevelingen van V217 zouden nu reeds kunnen worden geïmplementeerd door Defensie.

Contactenrapportnummer

Lange Kleiweg 137
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

T +31 15 284 30 00
F +31 15 284 39 91

info-DenV@tno.nl

TNO-rapportnummer
TNO-DV 2008 E542

Opdrachtnummer

-

Datum
augustus 2009

Auteur(s)

Rubricering rapport
Ongerubriceerd

PROGRAMMA	PROJECT
Programmabegeleider apotheker, toxicoloog, Ministerie van Defensie, CDC/BGGZ/Centrum Expertise Militaire Gezondheidszorg	Projectbegeleider WP200: Arbodienst Koninklijke Marine WP300: CEMG WP400: Centrum voor Mens en Luchtvaart KLu, CEMG
Programmaleider apotheker, toxicoloog, TNO Defensie en Veiligheid, BU Biologische en Chemische Bescherming, Afdeling Diagnose en Therapie	Projectleider , TNO Defensie en Veiligheid, BU Biologische en Chemische Bescherming, Afdeling Diagnose en Therapie
Programmatitel Operationele Toxicologie	Projecttitel Management V217
Programmanummer V217	Projectnummer 032.10672
Programmaplanning Start 01 november 2003 Gereed 31 augustus 2008	Projectplanning Start 01 maart 2004 Gereed 31 augustus 2008
Frequentie van overleg Met de programma/projectbegeleider werd minimaal 4 maal per jaar gesproken over de invulling en de voortgang van het onderzoek. Met de defensie klankbordgroep minimaal twee keer per jaar.	Projectteam



Samenvatting

Participatie in militaire operaties gaat vergezeld van bekende en onbekende risico's waaronder de gezondheidsrisico's door blootstelling aan toxische stoffen. Als goed werkgever wil Defensie in staat zijn de risico's voorafgaand, tijdens en na het uitvoeren van operaties goed te kunnen vaststellen en beoordelen. Aangezien het inzicht en de middelen daarvoor nog in onvoldoende mate voorhanden waren is getracht middels kennisopbouw hierin te voorzien. Programma V217 'Operationele Toxicologie' had als doelstelling 'het creëren van een wetenschappelijke basis voor en het toepasbaar maken van nieuwe technologieën om risicobeoordeling met betrekking tot blootstelling van het personeel aan toxische stoffen mogelijk te maken'. Onderzoeksthema's in het programma waren (i) omgevingsmonitoring, (ii) risicobeoordeling en (iii) persoonlijke monitoring. Binnen elk thema is een aantal onderzoeksvragen geadresseerd.

Met betrekking tot omgevingsmonitoring is geconcludeerd dat na monsternamen de analyse zo snel mogelijk moet worden uitgevoerd, bij voorkeur in een laboratorium ter plekke. Daarnaast zijn van commercieel verkrijgbare analyseapparatuur de mogelijkheden en beperkingen in kaart gebracht. Een nieuwe technologie, comprehensive gaschromatografie, is geïdentificeerd die in staat is om uiterst complexe luchtmonsters te analyseren. Deze technologie is momenteel nog niet fieldable. Voorts is een 'proof of concept' geleverd voor een methode voor screening van omgevingslucht op toxiciteit. Helaas was het gebruikte platform nog niet voldoende robuust om te veld te kunnen worden gebruikt. Al deze omgevingsmonitoringsmethoden zijn geëvalueerd in een 'veldproef' waarbij een Spurfuchs werd gestart in een loods en de lucht werd bemonsterd en/of geanalyseerd.

Een toolkit is ontwikkeld ten behoeve van risicobeoordeling waarmee veilige grenzen voor blootstelling aan toxische stoffen onder militair-operationele omstandigheden kunnen worden afgeleid. Tevens verschaft de toolkit informatie over de gezondheidseffecten die kunnen optreden indien de veilige grens wordt overschreden. Op het gebied van persoonlijke monitoring is een methode ontwikkeld voor biomonitoring van blootstelling aan benzeen. Na een korte studie lijkt Toxicogenomics een geschikte technologie te zijn om biomarkers voor gezondheidseffecten ten gevolge van blootstelling aan toxische stoffen te identificeren.

De programmadoelstelling van V217 is gerealiseerd, hetgeen niet betekent dat alle problemen mbt het risicomanagement rondom de blootstelling van de militair aan toxische stoffen zijn opgelost. Daarom is een vervolg op V217 gedefinieerd: programma V936 'Militaire Toxicologie'.

Summary

Participation in military operations is accompanied by known and unknown hazards and risks, among other health hazards and risks resulting from exposure to toxic chemicals. As a 'good employer' the Dutch Ministry of Defence (MOD-NL) wants to be able to assess and evaluate the risks prior to, during and after a mission. The insight and tools to perform risk management in this field were not fully developed, however. The MOD-NL R&T Program V217 'Operational Toxicology' was established for the purpose of enabling risk management with respect to exposure of military personnel to toxic chemicals via creation of a scientific basis and the application of state-of-the-art new technologies. Themes of the program were: (i) environmental monitoring, (ii) risk evaluation and (iii) personal monitoring.

With respect to environmental monitoring it was concluded that samples should be analyzed as soon as possible after they are taken, preferably in an on-site laboratory. Furthermore, the possibilities and limitations of commercially available analytical equipment were reviewed. A new technology, comprehensive gas chromatography, was identified as promising for the analysis of highly complex samples of environmental air. Currently, this technology is not fieldable. Also, a 'proof of concept' has been produced for a method that can screen environmental air for toxicity. Unfortunately, the platform that was used was insufficiently robust for fieldable use. All these methodologies were evaluated in a 'field trial' in which the engine of a Spurfuchs was run inside a hanger whilst analyzing the air either on-line or off-line after sampling.

A tool kit was developed for risk evaluation, enabling derivation of safe levels of exposure to toxic chemicals under military-operational conditions. In addition, the tool kit provides information on the health effects that may occur upon exposures which exceed the safe level.

Within the context of personal monitoring a procedure method was developed and validated for biomonitoring of exposure to benzene. Toxicogenomics appears to be a suitable technology for identification of biomarkers for toxic effects.

The goals of program V217 have been reached. However, this does not imply that all problems concerning risk management of exposure of military personnel to toxic chemicals have been solved. Consequently, a follow-up program has been defined: V936 'Military Toxicology'.

Inhoudsopgave

	Managementuittreksel.....	2
	Samenvatting.....	4
	Summary	5
1	Inleiding.....	7
2	Werkwijze en resultaten.....	10
2.1	Werkpakket 100: Programmamanagement.....	10
2.2	Werkpakket 200: Omgevingsmonitoring.....	11
2.3	Werkpakket 300: Risicobeoordeling.....	14
2.4	Werkpakket 400: Persoonlijke Monitoring.....	15
3	Internationale samenwerking	19
4	Deliverables van het programma	20
5	Conclusies	21
6	Ondertekening.....	23

1 Inleiding

Participatie in militaire operaties gaat vergezeld van bekende en onbekende risico's, waaronder de gezondheidsrisico's door blootstelling aan toxische stoffen. Ruwweg kan een drietal typen blootstellingen worden onderscheiden:

- 'bewust gekozen' blootstelling aan stoffen om andere gezondheidsbedreigende factoren af te wenden (o.a. permethrine, DEET, vaccins);
- nagenoeg onvermijdbare blootstelling aan stoffen die onlosmakelijk verbonden zijn aan militaire operaties (o.a. brandstoffen, uitlaatgassen, explosieven, verbrandingsproducten, fijnstof,);
- (voorafgaand aan de inzet veelal onbekende) blootstelling aan stoffen in het operationele gebied die afkomstig zijn van bijvoorbeeld fabrieken en bodemverontreiniging, danwel accidenteel of intentioneel vrijkomen (o.a. fijnstof, TICs, verarmd uranium).

Tijdens de diverse missies van onze Krijgsmacht hebben zich verschillende incidenten met type 2 en 3 blootstellingen voorgedaan (o.a. zware metalen, verarmd uranium, TNT,...).

Het zij benadrukt dat de omstandigheden waaronder defensiepersoneel in operationeel gebied en tijdens oefeningen wordt blootgesteld, afwijkend zijn van de arbeidsomstandigheden in Nederland. Dit impliceert dat deze problematiek een andere benaderingswijze behoeft.

Defensie streeft naar maximale toepassing van de ARBO-wet en het realiseren van de daarin gedefinieerde doelstellingen. De taakstelling van de Krijgsmacht maakt het niet mogelijk om onder alle omstandigheden de veiligheid, gezondheid en het welzijn van de militairen volledig in overeenstemming met de ARBO-wet te brengen. Er zijn omstandigheden of werkzaamheden te definiëren waarbij sprake is van een partiële of gehele uitzondering op de toepassing van de ARBO-wet. Algehele uitzonderingen zijn gerelateerd aan tijden van oorlog, oorlogsgevaar of andere daaraan verwante of daarmee verband houdende buitengewone omstandigheden. Crisisbeheersingsoperaties moeten hiertoe eveneens worden gerekend. Partiële uitzonderingen kunnen van toepassing zijn tijdens, direct voor of na een oefening.

Het spanningsveld dat kan ontstaan tussen het streven naar maximale toepassing van de ARBO-wet en de missiegerelateerde partiële of algehele uitzondering op de eigenlijke toepassing van de ARBO-wet dicteert zorgvuldig afgewogen besluitvorming door de direct verantwoordelijken. Afhankelijk van de aard en/of omvang van de missie kan dat de operationele commandant van een eenheid of zelfs de Minister van Defensie zijn. Voorwaarde voor een zorgvuldig afgewogen besluit is dat Defensie beschikt over noodzakelijke gereedschappen. Het betreft hierbij met name het kunnen identificeren van buitengewone omstandigheden, het vaststellen van de mate waarin de ARBO-wet van toepassing moet zijn op de ze omstandigheden en het kunnen vertalen daarvan naar eventuele maatregelen.

Zo'n 5 jaar geleden moest worden geconstateerd dat het Defensie ontbrak aan volledig en voldoende diepgaand inzicht in de risico's en effecten van deze buitengewone omstandigheden en de mogelijke korte- en lange termijn consequenties voor het betrokken personeel.

De Defensiedoelstelling die in deze context werd gefomuleerd was: 'Tijdens uitzendingen en militaire oefeningen wordt Defensie geconfronteerd met de zorg voor de gezondheid en het welzijn van het personeel op de korte en lange termijn. Men wil in

staat zijn op verantwoorde wijze om te gaan met de risico's van blootstelling aan stoffen die een mogelijk gevaar voor de gezondheid opleveren. Defensie dient op termijn te beschikken over gereedschappen waarmee de operationele commandant de risico's kan beoordelen van blootstelling van het personeel aan toxische stoffen. Dergelijke gereedschappen kunnen zowel een rol spelen bij besluitvorming over een voorgenomen uitzending, als ook bij de afweging die de operationele commandant maakt omtrent eventueel te nemen beschermingsmaatregelen'.

Deze Defensiedoelstelling is vertaald in een doelstelling voor het kennisopbouwprogramma V217 'Operationele Toxicologie': het creëren van een wetenschappelijke basis voor en het toepasbaar maken van nieuwe technologieën om risicobeoordeling met betrekking tot blootstelling van het personeel aan toxische stoffen mogelijk te maken. Het programma liep van 1 maart 2003 t/m 31 augustus 2008.

De in het programma te adresseren problematiek viel in drie thema's uiteen.

- Omgevingsmonitoring: technologieën en methoden zijn geëvalueerd met betrekking tot hun geschiktheid voor het opsporen van (toxische concentraties van) chemische stoffen op de locatie van de missie: fysisch-chemische en analytisch-chemische methoden voor continue en bij voorkeur real-time monitoring van de aanwezigheid van potentieel toxische stoffen in de omgeving en acute bioassays voor het vaststellen van toxische effecten. Omdat de respiratoire route de belangrijkste porte d'entrée voor contaminanten in de omgeving is, was dit thema alleen gericht op monitoring van omgevingslucht.
- Risicobeoordeling: databases en modellen zijn opgesteld waarmee een inschatting kan worden gemaakt van de mate en de gevolgen van een blootstelling van militair personeel, als na eventuele maatregelen ter vermijding, fysieke bescherming en/of decontaminatie blootstelling onvermijdelijk blijkt. De impact van complicerende factoren die door specifieke militaire omstandigheden veroorzaakt worden is in de risicobeoordeling meegenomen.
- Persoonlijke monitoring: voor het volgen van de gezondheidsstatus van het personeel is gezocht naar biomarkers waaraan kan worden afgelezen of er tijdens de operatie schadelijke effecten zijn opgetreden en zo ja, in welke mate en wat de betekenis hiervan is voor de gezondheid. Tevens is een biomarker voor blootstelling aan benzeen ontwikkeld.

Onder deze drie onderzoeksthema's waren de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

Ad 1. Omgevingsmonitoring

- Op welke wijze kan op adequate wijze luchtbemonstering geschieden?
- Hoe selectief c.q. specifiek moet de fysisch-chemische omgevingsmonitoring zijn, en hoe gevoelig?
- Wat is de meest geschikte methode voor fysisch-chemische omgevingsmonitoring?
- Hoe kan deze worden aangepast voor nagenoeg real-time monitoring?
- Op welke principes dient een bioassay voor detectie van toxische stoffen in de lucht gebaseerd te zijn?
- Hoe selectief c.q. specifiek moet een bioassay voor omgevingsmonitoring zijn, en hoe gevoelig?
- Wat is een operationeel gezien acceptabele responstijd voor een bioassay voor omgevingsmonitoring?

Ad 2. Risicobeoordeling

- Voor welke militair relevante 'civiele' chemicaliën bestaan toxiciteitgegevens en blootstellingsnormen?
- Op welke wijze kunnen de civiele normen worden vertaald naar de militaire arbeidssituatie?
- Voor welke specifiek militair relevante stoffen zijn toxiciteitgegevens voorhanden?
- Welke lacunes in toxicologische kennis bestaan er voor deze stoffen en hoe kunnen deze worden opgelost?
- Op welke wijze kan de toxicologie van mengsels van toxische stoffen worden voorspeld?

Ad 3. Persoonlijke monitoring

- Wat is een geschikt *in vitro* systeem om biomarkers voor een toxisch effect te vinden?
- Welke biomarkers ontstaan in zo'n *in vitro* systeem en hoe selectief/specifiek zijn deze?
- Zijn eenvoudige en snelle tests voorhanden voor deze biomarkers?
- Welk soort biologische monsters kunnen redelijkerwijs worden afgenomen van personeel?
- Zijn de *in vitro* waargenomen biomarkers ook te vinden in monsters van proefdieren die zijn blootgesteld?
- Hoe groot zijn de intra- en interindividuele variaties in de biomarkers in proefdieren?
- Wat zijn de basiswaarden van de biomarkers in een groep menselijke vrijwilligers?

Getracht is deze onderzoeksvragen via kennisopbouw te beantwoorden. De resultaten zijn beschreven in Hoofdstuk 2.

2 Werkwijze en resultaten

2.1 Werkpakket 100: Programmamanagement

Projectleider :

Met name de beginperiode van het programma is gekenmerkt door een groot aantal wisselingen in de bezetting aan TNO-zijde voor wat betreft de programmaleiding, werkpakketleiders, projectleiders, en onderzoeksleiders en aan Defensiezijde voor wat betreft werkpakketbegeleiders en projectbegeleiders. In de tweede helft van de looptijd van V217 is de bezetting vrijwel constant gebleven. Deze stabiliteit is het programma ten goede gekomen.

Om het programma beter beheersbaar te maken is het opgedeeld in een aantal werkpakketten (WP's):

WP 100: Programmamanagement

WP 200: Omgevingsmonitoring

WP 300: Risicobeoordeling

WP 400: Persoonlijke monitoring

Deze indeling is gebaseerd op de bouwstenen die nodig zijn voor het opzetten van een systematiek voor risicomanagement met betrekking tot blootstelling van militair personeel aan toxische stoffen tijdens uitzendingen.

Per WP liepen 1 of meer projecten.

In het kader van professionalisering van het projectmanagement aan TNO-zijde is (TNO Defensie en Veiligheid, Rijswijk) opgetreden als leider van de projecten die onder WP 100, WP 200 en WP 400 vallen. (TNO Kwaliteit van Leven, Zeist) was leider van het project onder WP 300.

Voorts waren per pakket 1 of meer onderzoeksleiders aangewezen, die verantwoordelijk waren voor de inhoudelijke aspecten van de projecten respectievelijk WP's.

Aan Defensiezijde was een aantal project- en pakketbegeleiders benoemd, die als counterparts fungeerden voor de respectievelijke TNO-functionarissen, en tevens de deliverables beoordeelden.

Bovengeschetste benadering heeft zeer goed gewerkt: het programma is op efficiënte en effectieve wijze uitgevoerd.

Na afloop van elk kwartaal leverden de projectleiders rapportages aan in het geautoriseerde TNO-format. Deze kwartaalverslagen werden besproken op de halfjaarlijkse interne voortgangsbesprekingen, waarbij de programmabegeleidster aanwezig was, en op de halfjaarlijkse klankbordvergaderingen waarbij een bredere afvaardiging van Defensie aanwezig was. Doordat deze interne voortgangsbesprekingen en klankbordvergaderingen uit fase liepen vond elk kwartaal een overleg plaats, waarbij zowel over de inhoud als de administratieve aspecten werd gesproken. Waar nodig besprak de programmaleiding separaat de voortgang en knelpunten met de werkpakket- en projectleider(s).

Op 26 april 2007 heeft de Midterm Review (MTR) van V217 plaatsgevonden, dit was op ruim 70 % van de doorlooptijd van het programma. Aan de MTR heeft een groot aantal Defensieafgevaardigden deelgenomen uit diverse geledingen van de Defensieorganisatie: DRenD, DMG, ARBO- en Geneeskundige diensten, NBC-JKC. Daarnaast was TNO DenV ruim vertegenwoordigd.

In de appreciatie constateerde de programmabegeleidster dat V217 grotendeels conform de Bestedingsovereenkomst was gevorderd. Bij de projecten met een hoog verkennend onderzoeksgehalte (a2), WP 200 (CULTEX[®]) en WP 400 (Markers voor effect) lag de voortgang iets achter op plan. Het programmamanagement heeft hierop actie genomen. Voor het CULTEX[®] deel zijn de technische hindernissen overwonnen en bruikbare resultaten behaald. Voor WP 400 is een andere aanpak gekozen om markers voor effect te kunnen ontwikkelen, eveneens met veelbelovende resultaten.

In de appreciatie heeft de programmabegeleidster uitgesproken dat zij verwachtte dat de programmadoelstelling zou worden gehaald. Aan het einde van het programma kan worden vastgesteld dat dat inderdaad het geval is. Daarnaast constateerde zij dat er goede mogelijkheden zijn voor benutting van de in V217 opgebouwde kennis. Een voorbeeld hiervan is een verzoek van DREN voor een voorstel voor additionele financiering voor het evalueren van een apparaat dat mogelijk kan worden gebruikt voor omgevingsmonitoring.

2.2 Werkpakket 200: Omgevingsmonitoring

2.2.1 *Project: Analyse Toxische Stoffen en Comprehensive Gaschromatografie*

Werkpakketleider :
 Werkpakketbegeleider :
 Projectleider :
 Onderzoekersleiders :

Probleemstelling

Tijdens uitzendingen van Nederlandse militairen in het kader van vredesmissies of soortgelijke operaties bestaat de mogelijkheid dat zij worden blootgesteld aan toxische stoffen die aanwezig zijn in de omgevingslucht. Voorbeelden van dergelijke stoffen zijn: industriële chemicaliën, brand- of stuwstoffen, munitiegerelateerde stoffen, uitlaatgassen, etc.

Het is van belang de aanwezigheid van dergelijke stoffen in de omgevingslucht te kunnen monitoren teneinde een beoordeling van de gezondheidsrisico's van het opereren in een dergelijke omgeving mogelijk te maken.

In dit project zijn methoden ontwikkeld en/of geëvalueerd om omgevingslucht te analyseren, hetzij on-site/on-line, danwel off-line/off-site na monsternamen in gaszakken, gascylinders of adsorptiebuizen, zoals momenteel gebruikelijk is. Voor de analyse is gekeken naar commercieel verkrijgbare draagbare apparatuur, maar ook naar een geavanceerde technologie.

Beschrijving van de werkzaamheden

De stabiliteit van luchtmonsters in (i) gaszakken, (ii) gascylinders en (iii) op adsorbentia zoals Tenax is experimenteel onderzocht gedurende 30 dagen voor een reeks voornamelijk zeer vluchtige organische componenten, alsmede een aantal reactieve stoffen. De monsters zijn geanalyseerd met gaschromatografie.

Daarnaast is geïnventariseerd welke technologieën beschikbaar zijn voor een 'quick-scan' van omgevingslucht in de verkennende (predeployment) fase van de missie. De nadruk lag hierbij op draagbare apparatuur. Deze inventarisatie is voornamelijk op basis van Internet-searches verricht.

Voorts zijn de mogelijkheden en beperkingen van 'comprehensive' gaschromatografie experimenteel onderzocht, een geavanceerde technologie waarmee de samenstelling van uiterst complexe monsters kunnen worden opgehelderd.

Een programma van eisen voor een mobiel veldlaboratorium is opgesteld.

Resultaten en conclusies

Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat indien luchtmonsters bij relatief hoge temperaturen (20-40 °C) meer dan 1 dag worden bewaard verliezen van componenten kunnen optreden van 50-100%. Het is dus belangrijk de monsters gekoeld te vervoeren en te bewaren (ca. 0°C) en op zijn laatst binnen een week na afname te analyseren. Er zijn diverse technologieën verwerkt in een scala aan commercieel verkrijgbare en draagbare apparatuur. Per technologie/apparaat is weergegeven welke range van componenten gemeten kan worden en met welke selectiviteit en gevoeligheid, hoe draagbaar het systeem is en wat de responstijd van het apparaat is.

'Comprehensive' gaschromatografie is dankzij het enorme scheidend vermogen een uiterst krachtige technologie voor de analyse van complexe mengsels. In combinatie met massa-spectrometrische detectie is het mogelijk de componenten in een mengsel te identificeren en kwantificeren in een analyse die ongeveer 1½ uur duurt. De technologie is tamelijk complex, de apparatuur groot en nog weinig robuust, en de bediening specialistisch.

Toepasbaarheid

Concrete methoden zijn aangegeven waarmee tijdens militaire missies luchtmonsters kunnen worden genomen. Tevens is geadviseerd bij welke temperatuur de monsters dienen te worden bewaard en vervoerd en binnen welke termijn analyse dient plaats te vinden.

Een overzicht is aangeleverd van commercieel verkrijgbare, draagbare apparatuur met hun mogelijkheden en beperkingen t.a.v. monitoring van de omgeving op aanwezigheid van toxische stoffen.

Defensie kan zijn voordeel doen met het programma van eisen voor een mobiel laboratorium in het verwervingstraject voor een dergelijk lab.

Naar verwachting zal de apparatuur voor 'comprehensive' gaschromatografie in de komende jaren kleiner, robuuster en gebruiksvriendelijker worden, waarna deze technologie in een veldlaboratorium kan worden toegepast. Tot die tijd is het een research tool welke door TNO ten behoeve van Defensie kan worden gebruikt om complexe monsters te analyseren.

2.2.2 *Project: Ontwikkeling van een in vitro bio-assay voor het screenen van toxiciteit in omgevingslucht*

Projectleider: :
Onderzoeksleider :
Projectbegeleider :

Probleemstelling

Eén van de bedreigingen waaraan militairen tijdens hun beroepsuitoefening blootstaan is verontreiniging van de lucht in hun werkomgeving. Bewaking van de kwaliteit van de omgevingslucht is dan ook noodzakelijk om potentieel gevaar op te sporen. Meestal gaat het mengsels van toxische stoffen, waarvan de samenstelling niet bekend is. Maar zelfs als deze gemeten is, dan is het moeilijk de toxiciteit voor de mens van de verontreinigde lucht te voorspellen. Een betere benadering is derhalve het screenen van de toxiciteit van de omgevingslucht mbv een bio-assay.

Beschrijving van de werkzaamheden

Onlangs is het CULTEX[®] systeem op de markt gekomen, waarin gekweekte menselijke longcellen op gecontroleerde wijze kunnen worden blootgesteld aan luchtmonsters. Het mogelijk toxische effect op de cellen wordt gemeten aan de hand van een aantal parameters die indicatief zijn voor de gezondheidstoestand van de cellen. Dit principe is gevalideerd door gekweekte longcellen in het CULTEX[®] systeem bloot te stellen aan verschillende concentraties stikstofdioxide (NO₂) en ammonia (NH₃). Tevens zijn de toxische effecten van dieseluitletgas en van jet propulsie fuel (JP-8), beide zeer complexe mengsels van stoffen, in dit systeem gemeten.

Resultaten en conclusies

De modelgassen NO₂ en NH₃ bleken in relevante concentraties zeer reproduceerbare effecten te hebben op de uitleesparameters voor de gezondheidstoestand van de cellen. Uit experimenten waarin de longcellen werden blootgesteld aan een combinatie van beide gassen kon worden geconcludeerd dat deze stoffen elkaars toxische werking aanzienlijk versterken. Dit onderstreept het belang van het bepalen van de toxiciteit van een omgevingsluchtmonster in zijn geheel, in plaats van of als aanvulling op het bepalen van de concentraties van de afzonderlijke componenten in het monster gevolgd door een risicobeoordeling op basis van de gemeten concentraties. De toxiciteit van militair-relevante complexe luchtmonsters, die JP-8 damp of dieseluitletgas bevatten, bleek prima aantoonbaar bij realistische concentraties van deze monsters.

Toepasbaarheid

Het 'proof-of-concept' voor screening van omgevingslucht op toxiciteit met behulp van een bio-assay is geleverd. Helaas is het CULTEX[®] systeem te complex en nog niet voldoende robuust voor toepassing te velde. Het verdient aanbeveling te zoeken naar andere platformen voor toxiciteitsscreening, welke zich bij voorkeur al bewezen voor andere toepassingen, bijvoorbeeld voor monitoring van de (drink)waterkwaliteit.

2.2.3 *Project: Veldexperiment dieseluitletgas van de Spurfuchs*

Projectleider: :
Onderzoeksleider :
Projectbegeleider :

Probleemstelling

Van drie technologieën: (i) portable veldapparatuur, (ii) 'Comprehensive' gaschromatografie, en (iii) het CULTEX[®] systeem is in een praktijksituatie de toepasbaarheid voor omgevingsmonitoring geëvalueerd. Daartoe werd een complex luchtmonster namelijk dieseluitletgas gemeten met de drie systemen. De emissie van een dieselmotor bestaat uit relatief hoge concentraties fijn stof, VOC's (volatile organic compounds) en permanente gassen. In dit rapport worden de resultaten beschreven van de on-line metingen met een Gasmet Infrarood monitor (FTIR), een NO_x-chemiluminescentie monitor en GC-MS. In de TNO rapporten TNO-DV 2007 A554 'Screening the environment: The potential of Comprehensive GC' en TNO-DV 2007 A555 'Biological monitoring of air samples' zijn de resultaten opgenomen van de metingen met Comprehensive GC en het CULTEX[®] systeem.

Beschrijving van de werkzaamheden

Het onderzoek werd uitgevoerd op het TNO Plaspoelpolder complex. De dieselmotor van een Spurfuchs werd gestart in een loods met openstaande deur. Op de locatie werden luchtmetingen uitgevoerd met draagbare on-line meetapparatuur als de Gasmet Infrarood monitor, de NO_x-chemiluminescentie monitor en de Hapsite gaschromatograaf massaspectrometer (GC-MS). Gelijktijdig werden luchtmonsters genomen met adsorptiebuisjes en gaszakken voor verdere analyse op het laboratorium

met 'vaste' apparatuur. Met analytische meettechnieken zoals de 'Comprehensive GC' met ToF-MS detectie, GC-MS, Infrarood gasanalysator en NO_x gasanalysator konden de stoffen worden geïdentificeerd en konden concentraties worden bepaald. Dit was van belang voor de interpretatie van de metingen verricht met het CULTEX[®] systeem.

Resultaten en conclusies

In de uitlaat van de dieselmotor werd on-line 153 ppm NO en 81 ppm NO₂ gemeten; na sampling in de gaszak werd 17 ppm NO en 154 ppm NO₂ gemeten. Verschillen zijn te verklaren door oxidatie van NO tot NO₂ in de gaszak en mogelijk adsorptie van NO aan de wand van de gaszak. Metingen uitgevoerd op enige afstand van de uitlaat laten lagere concentraties zien. Het NO zal dan voor een deel al zijn omgevormd tot NO₂. Voor CO₂ en CO werden geen verschillen gevonden tussen de on-line meting en de meting na sampling in de gaszak. Op een afstand vanaf 1.5 m kon noch met de on-line FTIR monitor noch na sampling in de gaszak CO worden gemeten.

Indien koolwaterstoffen werden afgevangen op Tenax-buizen door directe bemonstering in de uitlaat van de Spurfuchs, werd een vergelijkbaar chromatogram verkregen als na meting (binnen enkele uren na bemonstering) uit de gaszak die direct aan de uitlaat was gevuld. Analyse van hetzelfde monster uit de gaszak met de Hapsite portable GC-MS leverde een gelijkwaardig chromatogram, al was de scheiding van de componenten minder goed. Bovendien ontbraken in het Hapsite chromatogram de minder vluchtige verbindingen (dodecaan en hoger).

Toepasbaarheid

Aangevoerd is dat met mobiele apparatuur stoffen in omgevingslucht on-line kunnen worden geïdentificeerd en gekwantificeerd. Dit kan eventueel worden gecontroleerd met meer geavanceerde apparatuur in het laboratorium, na sampling van de lucht op Tenax-buizen of in gaszakken. Zoals eerder geconcludeerd moet in dat geval de analyse zo snel mogelijk na bemonstering geschieden.

2.3 Werkpakket 300: Risicobeoordeling

Werkpakketeider :
Werkpakketbegeleider :

2.3.1 *Project: Ontwikkelen van een methode voor de risicobeoordeling van blootstelling van militair personeel aan toxische stoffen in de operationele militaire werksituatie*

Projectleider :
Onderzoeksleider :
Projectbegeleider :

Probleemstelling

De doelstelling van het project was het ontwikkelen van een systematiek voor de risicobeoordeling van blootstelling van militair personeel aan chemische stoffen in de operationele militaire werksituatie in de vorm van een database en/of toolkit.

Beschrijving van de werkzaamheden

Essentieel onderdeel van de risicobeoordeling was het besluitvormingssysteem, dat uit twee onderdelen bestaat. Het eerste onderdeel betrof het ontwikkelen van een systematiek voor de afleiding van MGCS (Military Guidelines Chemical Substances): veilige waarden voor blootstelling onder omstandigheden die voor Nederlandse militairen relevant worden geacht (bijv. 24 uur per dag gedurende 6 maanden). Het tweede onderdeel was de effectbeschrijving: deze geeft aan welke effecten op de gezondheid kunnen optreden bij blootstelling aan concentraties boven de MGCS. Op basis hiervan kan worden besloten of deze blootstelling in het licht van het belang van

de missie acceptabel is. Voor beide onderdelen is gebruik gemaakt van bestaande databases met toxicologische gegevens welke via het Internet toegankelijk zijn.

Resultaten en conclusies

De Nederlandse MAC-waarden (maximaal aanvaarde concentraties op de werkplek) bleken niet bruikbaar te zijn voor de afleiding van MGCS omdat voor de extrapolatie vanuit de MAC-waarde gegevens nodig zijn die niet beschikbaar zijn. De Integrated Risk Information System (IRIS-), en Maximum Residue Limit (MRL-) databases van de US Environmental Protection Agency (EPA) en die van de Californische Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) bevatten wel de gegevens die extrapolatie naar de specifiek militaire blootstellingsduur mogelijk maken. Vervolgens zijn de beschikbare databases geprioriteerd, dat wil zeggen dat is vastgelegd in welke volgorde deze worden geraadpleegd om een MGCS af te leiden. Tevens is beschreven hoe de verschillende databases met onderliggende documentatie gebruikt moeten worden om een MGCS af te leiden. De afleiding is pragmatisch en in overeenstemming met de huidige REACH (de Europese verordening 'Registratie, Evaluatie en Autorisatie van Chemische stoffen') procedures. Voor 30 militair-relevante stoffen zijn MGCS-waarden afgeleid. Daarnaast is de procedure om tot een beschrijving van de effecten boven de MGCS voor een bepaalde stof te komen uitgewerkt; dit geschiedt bij voorkeur op basis van US Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) documenten. Als testcase zijn voor 8 stoffen effectbeschrijvingen opgesteld om de procedure verder te verfijnen.

Een toolkit is gemaakt, in de vorm van een CD-rom met daarop software voor afleiding van 'MGCS-waarden en effectbeschrijvingen. In de toolkit kunnen meetgegevens verkregen uit de omgevingsmonitoring worden ingevoerd waarmee risicobeoordeling van de actuele situatie in de werkomgeving mogelijk is.

Toepasbaarheid

De toolkit kan worden toegepast tbv de operationeel commandant, maar ook door beleidsmedewerkers, voor het beoordelen van de risico's van het optreden gezondheidseffecten ten gevolge van blootstelling aan individuele toxische stoffen in de militair-operationele omgeving.

2.4 Werkpakket 400: Persoonlijke Monitoring

Werkpakketleider :
Werkpakketbegeleiders :
:

2.4.1 Project: Ontwikkelen van een methode voor persoonlijke monitoring

Projectleider :
Onderzoekersleiders :
:
Projectbegeleider :

Probleemstelling

Inzet van militairen in missies leidt tot blootstelling aan allerlei toxische stoffen, zoals bijvoorbeeld insecticiden, dieseluitletgasen en explosieven. In hoeverre dergelijke blootstelling tot gezondheidsschade leidt, is niet duidelijk.

Om een relatie te kunnen leggen tussen blootstelling aan een bepaalde toxische stof enerzijds, en zich naderhand manifesterende gezondheidseffecten anderzijds, is gezocht naar biomarkers voor effecten van toxische stoffen.

Beschrijving van de werkzaamheden

De hier beschreven studie is gebaseerd op de hypothese dat elke toxische stof, of klasse van stoffen, een uniek effect heeft op de expressie van genen in de mens. Blootstelling aan een toxische stof zou derhalve kunnen worden vastgesteld door de expressie van de door die stof aangedane genen te meten. Tegelijkertijd zou de expressie van deze genen een indicatie kunnen geven van de te verwachten gezondheidseffecten.

Om te bepalen of blootstelling aan een toxische stof inderdaad leidt tot een uniek genexpressiepatroon, zijn witte bloedcellen van gezonde vrijwilligers *in vitro* blootgesteld aan TNT (explosief), permethrine (insecticide), DEET (insectenwerend middel), benzopyreen (kankerverwekkende stof die voorkomt in dieseluitletgasen) en benzoquinon (kankerverwekkende stof). Vervolgens is in de blootgestelde cellen de expressie van meer dan 30.000 genen gemeten met behulp van de microarray techniek.

Resultaten en conclusies

Statistische analyse van de microarray resultaten heeft uitgewezen dat het inderdaad mogelijk is voor de vijf gebruikte toxische stoffen een combinatie van genen te vinden die kenmerkend wordt beïnvloed door een van de stoffen, maar niet door de andere vier stoffen. Genexpressie-analyse lijkt dus een haalbare aanpak om blootstelling aan een toxische stof vast te stellen. Voor de huidige analyse echter bruikbaar is voor dergelijke doeleinden, is eerst een uitgebreide validatie nodig, waarin gekeken moet worden naar effecten van concentratie en tijd, en de stap moet worden gemaakt van *in vitro* naar *in vivo* onderzoek.

Toepasbaarheid

De hier beschreven studie vormt een eerste stap in de richting van identificatie van biomarker genen die als indicator voor blootstelling aan een toxische stof kunnen dienen.

Wanneer bloedmonsters, genomen voor en na de inzet van militair personeel in een missie, zouden worden geanalyseerd op de expressie van gevalideerde biomarker genen, zou men in staat zijn te bepalen aan welke toxische stoffen een militair is blootgesteld tijdens de missie, en welke fysiologische processen daardoor zijn beïnvloed. Dit laatste aspect zou een indicatie kunnen zijn voor te verwachten gezondheidseffecten.

2.4.2 *Project: Biomonitoring van blootstelling aan benzeen*

Projectleider :
Onderzoeksleider :
Projectbegeleider :

Probleemstelling

Binnen de ARBO-dienst van de Nederlandse Krijgsmacht is behoefte om aan risicoinventarisatie te doen, teneinde militairen aan minimale risico's bloot te stellen tijdens de missies. Onderdeel hiervan is persoonlijke monitoring. Om inzicht te krijgen in hoeverre er bij militairen, die blootgesteld worden aan potentieel toxische stoffen, schade op lange of korte termijn ontstaat/kan ontstaan, is diepgaand onderzoek nodig. Blootstelling aan toxische stoffen is te verifiëren met markers van effect en met markers van blootstelling. Biomarkers van effect zijn generiek en geven informatie over een toxische blootstelling in het algemeen, maar geven geen uitsluitel over de aard van de stoffen (zie verder rapport TNO-DV 2008 A300 'Biomarkers of effects of exposure to toxicants in operational environments') dat tot stand is gekomen binnen hetzelfde werkpakket). In dit project staan markers van blootstelling centraal; deze geven

specifieke informatie over de aard van de stoffen waaraan men is blootgesteld geweest. Voor dit project is gekozen voor benzeen als modelstof. Benzeen is een primair carcinogeen waaraan de militair veelvuldig wordt blootgesteld door contact met brandstoffen (jet fuel, diesel) en uitlaatgassen. Er zijn weliswaar in de literatuur methoden gepubliceerd waarmee blootstelling aan benzeen kan worden vastgesteld, maar deze methoden zijn niet universeel toepasbaar. In het onderliggende project is getracht een meer generieke methode te ontwikkelen, waarmee ook blootstelling aan andere toxische stoffen kan worden vastgesteld.

Beschrijving van de werkzaamheden

De methode voor biomonitoring voor blootstelling aan benzeen die in dit project geëvalueerd werd is de zogenaamde tripeptide assay, die onlangs door TNO DenV is ontwikkeld voor biomonitoring van blootstelling aan zwavelmosterdgas en stikstofmosterdgassen. Deze methode is gebaseerd op massaspectrometrische analyse van een specifiek gemodificeerd tripeptide, dat resulteert na enzymatische splitsing van het plasma-eiwit albumine. De reden om deze methode te kiezen is het generieke karakter van deze methode: behalve voor benzeen, kan de methode mogelijk ook dienen voor biomonitoring van diverse andere, in het kader van operationele toxicologie belangrijke verbindingen, bijvoorbeeld naftaleen in jet fuel. Behalve deze methode is ook een literatuur methode geëvalueerd en verder geoptimaliseerd.

Resultaten en conclusies

Er is een methode opgezet voor biomonitoring aan benzeen, op basis van het albumine adduct van de belangrijkste metabooliet van benzeen, benzeen oxide.

De gevoeligheid van deze 'tripeptide' methode voor wat betreft biomonitoring van benzeen blootstelling liet nog enigszins te wensen over en is voor verbetering vatbaar. Daarnaast werd een in de literatuur gepubliceerde methode voor benzeen biomonitoring geëvalueerd en geoptimaliseerd. Behalve het feit dat de literatuurmethode ook diverse nadelen had, is deze methode ook niet erg generiek. Wat dat betreft is de toepasbaarheid van de 'tripeptide' methode een stuk groter: *in vitro* blootstelling van humaan bloed aan de zogenaamde toxic industrial chemicals (TICs) acroleïne, acrylonitril en acrylamide kon ook hiermee worden vastgesteld, gebruikmakend van de tripeptide methode.

Deliverable

De resultaten behaald in dit project zijn beschreven in rapport TNO-DV 2008 A291 'Development of a novel method for biomonitoring of military occupational exposure to benzene'. Een manuscript voor publicatie in de open literatuur is in bewerking.

Toepasbaarheid

Binnen de ARBO-dienst van de Nederlands Krijgsmacht is behoefte om aan risico-inventarisatie te doen, teneinde militairen aan minimale risico's bloot te stellen tijdens de missies. Onderdeel hiervan is persoonlijke monitoring. Implementatie van de in dit rapport beschreven methoden zullen sterk bijdragen inzicht te krijgen in hoeverre er bij militairen, die blootgesteld worden aan potentieel toxische stoffen, schade op lange of korte termijn ontstaat/kan ontstaan.

Op korte termijn zou de ontwikkelde methode gebruikt kunnen worden voor het op regelmatige basis monitoren van Defensiepersoneel voor blootstelling aan benzeen, een belangrijke, toxische component van diesel en jet fuel. Via deze analyses zou kunnen worden bepaald of mensen die veel met diesel of jet fuel in aanraking komen, ook een verhoogde interne blootstelling aan benzeen laten zien. Via literatuur-waarden voor wat betreft deze interne doses kan vervolgens een verbeterde risico-inschatting worden

gemaakt. Tevens zou de methode kunnen worden gebruikt voor het simultaan meten van blootstelling aan diverse andere toxische stoffen waarmee de militair in aanraking komt.

3 Internationale samenwerking

Programma V217 was ingebed in een aantal internationale initiatieven:

- In 2004, 2006 en 2008 zijn respectievelijk in Zweden, Nederland (georganiseerd door de V217-programmaleiding) en het Verenigd Koninkrijk workshops georganiseerd waarin de problematiek met betrekking tot Environmental Industrial Health Hazards (EIHH) tijdens uitzendingen aan de orde werd gesteld. Tijdens deze workshops, waarbij afgevaardigden van 18 NATO en PFP landen aanwezig waren, werd door alle landen het belang van internationale samenwerking op het gebied van risicomanagement bij EIHH benadrukt.
- Trilaterale samenwerking in het kader van WP200 en WP300 met Canada en Zweden op basis van Project Arrangement nr. 2004-05 "Environmental Industrial Health Hazards" (EIHH). Doelstelling binnen deze samenwerking was de uitwisseling van methoden, technieken, processen en resultaten op het gebied van health hazards en risicobeoordeling, en dat is ook geschied. Einddoel was het ontwikkelen en testen van monstername- en analysetechnieken ter validatie in een field trial in Suffield Canada. Deze field trial stond gepland voor de zomer van 2007, maar zal nu waarschijnlijk medio 2009 gaan plaatsvinden. Door de trilaterale themagroep is de intentie uitgesproken om op het gebied van militaire toxicologie een nieuw project arrangement te formeren met als focus risico-beoordeling.
- Trilaterale samenwerking in kader van programma V502 'Passieve verdediging tegen NBC- en radiologische wapens' en gedeeltelijk WP400-V217 met Canada en Zweden op basis van Project Arrangement nr. 2004-06 "Biomarkers of Human Exposure"(BioHE). Bloedsamples van blootgestelde ratten zijn verdeeld onder de landen voor analyse op proteomics (NL), SELDI (SE) en genomics (CAN). In deze verslagperiode heeft NL adducten van VX in de voornoemde bloedsamples gemeten. Op dit gebied zal geen nieuwe project arrangement worden geformuleerd.
- Voortgang in de twee bovengenoemde trilaterale samenwerkingen is doorgaans besproken middels 2-daagse workshops en gecoördineerd middels een jaarlijkse bijeenkomst van de experts. Aanvullend op deze vergaderingen kwamen de POCs nog bijeen om de status van voortgang te bespreken. De laatste jaarlijkse bijeenkomst van POCs heeft plaatsgevonden in Februari 2008 te Londen, VK.
- NATO/RTA/HFM TG-009 (NL, BE, GE, CZ, USA, SE, CAN) on 'Biotechnologies for assessment of toxic hazards in operational environments' is actief geweest van januari 2004 t/m december 2006. In het voorjaar van 2007 is het concept-Final-report van TG-009 geleverd aan het HFM panel. Na acceptatie van dit rapport door het HFM-panel hield TG-009 op te bestaan.

NATO/RTA/HFM ET-078 'Risk Management of Exposure to Chemicals under Operational Conditions'. De V217 programmaleider is door het HFM panel gevraagd om dit 'exploratory team' vorm te geven. Daartoe is een 'Technical Activity Paper' geschreven en verspreid onder de nationale vertegenwoordigers van de voormalige TG-004 en TG-009. Doel van ET-078 is vast te stellen of er behoefte bestaat aan een TG die op dit gebied werkzaam zal zijn, en zo ja, om daar 'Terms of Reference' en een 'Programme of Work' voor op te stellen. De eerste bijeenkomst van ET-078 heeft plaatsgevonden in Edinburgh, UK, op 9 oktober 2007. Op 10 en 11 december 2008 zijn te Rijswijk een TAP, TOR en POW opgesteld voor een TG die moet voortkomen uit ET-078, met werktitel 'Management of chemical hazards under operational conditions'. Deze documenten zijn ter goedkeuring voorgelegd aan NATO.

4 Deliverables van het programma

Programma V217 heeft tot de volgende deliverables geleid:

WP100:

‘Eindrapport V217 ‘Operationele Toxicologie’
TNO-DV 2008 A542

WP200:

‘Monstername en analyse van toxische stoffen (een evaluatie van off-site analyse van omgevingslucht)’
TNO-DV 2005 A079

‘On-line metingen van toxische stoffen in dieseluitletgas met infrarood, chemiluminescentie en GC-MS’
TNO-DV 2007 A553

‘Screening the environment: The potential of Comprehensive GC’
TNO-DV 2007 A554

‘Biological monitoring of air samples’
TNO-DV 2007 A555

‘Inventarisatie van technologieën en apparatuur voor het uitvoeren van een quick-scan’
TNO-DV 2007 A556

‘Programma van Eisen voor een mobiel lab’
TNO-DV 2008 A070

‘Veldexperiment dieseluitletgas van de Spurfuchs’
TNO-DV 2008 P050

WP300:

Software toolkit voor afleiding Dutch Military Safety Values (DMSVs). De toolkit levert tevens beschrijvingen van de gezondheidseffecten die optreden boven de DMSV.

WP400:

‘Development of an improved method for biomonitoring of military occupational exposure to benzene’
TNO-DV 2008 A291

‘Biomarkers of effects of exposure to toxicants in operational environments’
TNO-DV 2008 A300

5 Conclusies

De resultaten van V217 kunnen als volgt worden samengevat:

- Na monsternamen moet analyse zo snel mogelijk geschieden. Een veldlab wordt door Defensie aangeschaft, onder andere voor deze doeleinden.
- 'Commercial off-the-Shelf' apparatuur is geïdentificeerd voor omgevingsmonitoring; de mogelijkheden en beperkingen daarvan zijn gedocumenteerd. Op basis hiervan kan tot aanschaf worden besloten, bijv. ten behoeve van het veldlab.
- 'Comprehensive' gaschromatografie is een veelbelovende techniek voor snelle analyse van complexe luchtmonsters, maar is op dit moment nog onvoldoende rijp voor toepassing in een veldlab.
- Het 'Proof-of-Concept' voor een toxiciteitsmonitor van omgevingslucht is geleverd. Het tot op heden gebruikte platform is echter nog niet voldoende robuust.
- Een tool voor risicobeoordeling is geleverd waarmee een veilige grens voor blootstelling aan toxische stoffen kan worden afgeleid en de gezondheidseffecten die optreden boven de veilige grens kwalitatief worden beschreven. De database van de tool bevat momenteel gegevens van een dertigtal verbindingen.
- Een methode voor biomonitoring van blootstelling aan benzeen is beschikbaar, de gebruikte methodologie is breder toepasbaar.
- 'Toxicogenomics' lijkt een geschikte benadering voor het ontwikkelen van markers voor toxisch effect; verdere exploratie is wenselijk.

Hoewel niet alle in Hoofdstuk 1 vermelde onderzoeksvragen zijn beantwoord, kan op basis van de behaalde resultaten worden geconcludeerd dat de doelstelling van programma V217 is gerealiseerd. Dit betekent niet dat alle problemen met betrekking tot het risicomanagement rondom de blootstelling van de militair aan toxische stoffen zijn opgelost. Daarom is een vervolg op V217 gedefinieerd: programma V936 'Militaire Toxicologie'. Dit programma bouwt voort op de resultaten van V217 maar is niet 'meer van hetzelfde'. Een aantal aspecten waarin V936 afwijkt van V217 is:

- Niet langer beperkt tot out-of-area operaties;
- Beschouwing van de gehele werkomgeving van de militair: lucht, water, bodem;
- Focusering op relevante scenario's voor blootstelling onder operationele omstandigheden;
- Minder aandacht voor stoffen waaraan 'vrijwillige' blootstelling plaatsvindt;
- Bijzondere aandacht voor munitie-gerelateerde stoffen;
- Blootstelling aan lage concentraties C-strijdmiddelen niet expliciet uitgesloten;
- Aandacht voor de risicoevaluatie van blootstelling aan mengsels van stoffen;
- Meer aandacht voor lange termijn effecten voor blootstelling aan toxische stoffen;
- Aandacht voor kwantificering van de risicobeoordeling;
- Aandacht voor de wijze waarop de behaalde resultaten en ontwikkelde tools en procedures door de Krijgsmacht kunnen worden ingevoerd.

Programma V936 zal worden uitgevoerd in de periode van 1 januari 2009 t/m 31 december 2012. Het toegekende budget is 2.5 Meuro.

Een aantal van de in V217 behaalde resultaten zou middels additionele financiering tot kennistoepassing kunnen leiden. Dit betreft o.a.:

- Opstellen procedure voor monsternamen, -opslag en -vervoer.
- Evaluatie van 'commercial off-the-shelf' apparatuur voor omgevingsmonitoring

- Afleiding van MGCS waarden en effectbeschrijvingen voor militair relevante chemicaliën, in aanvulling op hetgeen reeds binnen V217 is gedaan
- Assistentie bij implementatie van de methode voor biomonitoring van blootstelling aan benzeen.

6 Ondertekening

Delft, augustus 2009

TNO Defensie en Veiligheid

Afdelingshoofd

Auteur

Auteur

REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) TD2008-0247-	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO -	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO TNO-DV 2008 E542
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 032.10672	5. CONTRACT NO -	6. REPORT DATE August 2009
7. NUMBER OF PAGES 23 (incl X appendices, excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES -	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Programma V217: Operationele Toxicologie-Eindrapport		
11. AUTHOR(S)		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Defence, Security and Safety, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands Lange Kleiweg 137, 2288 GJ Rijswijk, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Ministry of Defence, p.O. Box 20701, 2500 ES, The Hague, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidencieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) Dit rapport geeft een overzicht van programma V217 'Operationele Toxicologie', dat ten doel had 'het creëren van een wetenschappelijke basis voor en het toepasbaar maken van nieuwe technologieën om risicobeoordeling met betrekking tot blootstelling van het personeel aan toxische stoffen mogelijk te maken'		
16. DESCRIPTORS Operational Toxicology, Environmental Monitoring, Risc Evaluation, Personal Monitoring		IDENTIFIERS
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Subject to approval MOD-NL		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

ONGERUBRICEERD

Distributielijst

Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport.

1	DMO/SC-DR&D
2/3	DMO/DR&D/Kennistransfer
4/24	Programmabegeleider Defensie
25	Arbodienst Koninklijke Marine, Kwaliteitsteam Zuid
26	Centrum voor Mens en Luchtvaart, Arboadvies
27	Coördinatiecentrum Expertise Militaire Gezondheidszorg
8	CEMG
29	JKC NBC
30	JKC NBC
31	DMG
32	DMO/ST.DWPSN/LA/WS&M/Kennispool
33	Vz CBRN netwerkgroep
34/36	Bibliotheek KMA
37	TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Business unit CBRN Bescherming,
38	Programmaleider TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Business unit CBRN Bescherming
39/45	TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk Business Unit CBRN Bescherming

- 46 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk
Business Unit CBRN Bescherming
(projectleider)
- 47 TNO Kwaliteit van Leven, vestiging Zeist
Business Unit Quality & Safety
(projectleider)
- 48 Archief Rijswijk

Onderstaande instanties/personen ontvangen het managementuittreksel en de distributielijst van het rapport.

The following agencies/people will receive the management summary and the distribution list of the report.

- 1 ex. DMO/ressort Zeesystemen
- 4 ex. DMO/SC-DR&D
- 1 ex. DMO/ressort Landsystemen
- 1 ex. DMO/ressort Luchtsystemen
- 2 ex. BS/DS/DOBBP/SCOB
- 1 ex. MIVD/AAR/BMT
- 1 ex. Staf CZSK
- 1 ex. Staf CLAS
- 1 ex. Staf CLSK 1 ex. Staf KMar
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Algemeen Directeur,

- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Operaties,
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Kennis,
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Markt,
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,
Manager Waarnemingssystemen,
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,
Manager Informatie en Operaties,
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,
Manager Bescherming, Munitie en Wapens, dr.
- 1 ex. TNO defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk
Manager CBRN Bescherming,
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
Manager Human Factors (operaties),

ONGERUBRICEERD

Technical Sciences
Lange Kleiweg 137
2288 GJ Rijswijk
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

www.tno.nl

T +31 88 866 80 00
F +31 88 866 69 49

TNO-rapport

TNO 2013 R11544

Eindrapportage V1219 "Blootstellingsrisico's Munitie Gerelateerde Stoffen"

Datum maart 2014

Auteur(s)

Rubricering rapport Ongerubriceerd

Vastgesteld door

Vastgesteld d.d. 24 maart 2014

(Deze rubricering wijzigt niet)

Titel Ongerubriceerd

Managementuittreksel Ongerubriceerd

Samenvatting Ongerubriceerd

Rapporttekst Ongerubriceerd

Bijlagen Ongerubriceerd

Oplage 13

Aantal pagina's 32 (incl. bijlage, excl. distributielijst)

Aantal bijlagen 1

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

Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 2014 TNO

ONGERUBRICEERD

Samenvatting

Met het in 2012 opgestarte onderzoeksprogramma V1219: "Blootstellingsrisico's munitie-gerelateerde stoffen" is in 3 werkpakketten onderzoek gedaan naar de risico's met betrekking tot emissie van schietactiviteiten.

Goede werkomstandigheden zijn mede een randvoorwaarde voor het voortzettingsvermogen en het missiesucces, en vormen één van de pijlers van verantwoord werkgeverschap. De resultaten van het programma onderschrijven de complexiteit van de risicobeoordeling van munitie gerelateerde stoffen. De emissiemetingen hebben de kennis van de chemisch samenstelling en morfologie van de fijn stof deeltjes die ontstaan aanmerkelijk uitgebreid. De verkregen resultaten en inzichten binnen het programma, stellen Defensie beter in staat binnen het risicomanagement-systeem invulling te geven aan de blootstellingsrisico's van munitie gerelateerde stoffen. Er is kennis en kunde opgebouwd om blootstellingen tijdens trainingen, oefeningen en uitzendingen te kunnen inventariseren, monitoren en analyseren.

Dit programma heeft beoogd de emissies bij gebruik van munitie in kaart te brengen. Dit heeft geleid tot een overzicht van relevante verbrandings- en reactieproducten, de meetmethoden om deze stoffen onder militair relevante omstandigheden te bepalen en de bijbehorende analysemethoden. Het onderzoeksprogramma is specifiek gericht op munitie-gerelateerde stoffen en op specifieke militair-operationele omstandigheden. Bovendien is internationaal aansluiting gezocht in diverse fora om kennis en kunde uit te wisselen.

Binnen het programma is gekeken naar de mogelijke emissies van munitie en de mogelijke blootstellingsrisico's die hieraan zijn verbonden (WP100: Munitie gerelateerde emissies), de meetmethoden en bijbehorende analysemethoden om deze emissies te meten en te analyseren (WP200: Meetmethoden). Tevens zijn er diverse internationale uitwisselingen geweest dan wel werkgroepen opgezet (WP300: Internationale Samenwerking).

In dit eindrapport wordt een beknopt overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten die zijn behaald in twee jaar onderzoek. Het programma is aanvullend op het programma V936 "Militaire Toxicologie", dat in 2012 is afgesloten en levert input voor het programma V1338 "Veiligheidsmanagement van militaire-relevante toxische stoffen", dat in 2013 is opgestart.

De programmaresultaten geven een goed beeld van de aard en omvang van de problematiek. Bij schietseries zowel binnen als buiten is materiaal gemonsterd en geanalyseerd. Gescreend op emissies in Werkpakket 100 "Emissies" zijn: de modulaire ladingen gebruikt met 155-mm kaliber munitie, een 81-mm mortier en een drietal klein kaliber munitie in combinatie met het gebruikte wapen en een drietal pyrotechnische artikelen. Waarbij vervolgens in WP200 live firing metingen zijn uitgevoerd met de Colt op een 50 meter indoor schietbaan.

De grootste uitdaging is de minimale hoeveelheid monstermateriaal waarop de analyse moet worden gedaan. Dit vergt het uiterste van de bestaande analysetechnieken. Door internationaal de resultaten te presenteren is er een brede discussie ontstaan over de aanpak, analyse, en kwantificering van munitie-

gerelateerde emissies. De volgende stap is de focus te (ver)leggen naar de mogelijke toxiciteits- (en dus gezondheids-)risico's.

Het onderzoeksgebied met betrekking tot emissies en eventuele blootstellingsrisico's, is zo groot dat het noodzakelijk is kennis te delen en onderzoek af te stemmen met internationale partners. Inmiddels is de bewustwording dat blootstelling aan munitie-gerelateerde stoffen en verbrandingsproducten daarvan tot gezondheidsschade op korte of lange termijn kan veroorzaken zodanig toegenomen dat vele landen dit onderwerp op de agenda hebben staan.

Summary

The research program V1219: "Exposure Risks of ammunition-related substances", which started in 2012, was divided into three work packages where the risks related to emissions of shooting activities were investigated.

Good working conditions are a precondition for the sustainability and mission success, and form one of the pillars of responsible employment. The results of the program state the complexity of the risk assessment of ammunition related substances. The emission measurements extended the knowledge on chemical composition and morphology on (ultra) fine particles, extensively. The results and insights from the program, enable the ministry of Defense to assess the risk of ammunition related substances. Knowledge and expertise was developed to inventory, monitor and analysis exposure risks during training, exercise and missions.

This program is intended to give insight into the emissions produced when using ammunition. This has led to a review of relevant combustion and reaction products, the methods to determine these substances under military relevant circumstances and the associated analysis techniques. The research is aimed specifically at ammunition related substances and specific military operational conditions. Also, knowledge and expertise were exchanged in various international fora.

Within the program the following items were investigated: the possible emissions of ammunition and the potential risks of exposure that will be undertaken (WP100: ammunition related emissions), the sampling methods and associated analytical methods to measure and analyze these emissions (WP200: Measurement methods) and various international exchanges or working groups were initiated (WP300: International Cooperation).

This final report is a summary of the main results achieved in two years of research. The program added to the program V936 "Military Toxicology", which ended in 2012 and gives input to the new program V1338 "Risk management of exposure to hazardous military-relevant substances", which started in 2013.

The program results give a good overview of the nature and extent of the problem. Sampling and analysis was done during outdoor and indoor shooting activities. Within workpackage 100 "Emissions" the following ammunition was screened for combustion products: modular cartridges of the 155-mm, a 81-mm mortar, three types of small caliber munitions and three types of pyrotechnics. In workpackage 200 the emissions of an 5.56 mm with the Colt weapon was tested during a live firing at a 50 m indoor range.

The biggest challenge is the minimum amount of sample material on which analysis should be performed. By presenting the results internationally, a broad discussion was initiated on the approach, analysis and quantification of ammunition related emissions. The next step is the focus to (re)establish the possible toxicity (and with that health) risks.

The research area on emissions and possible exposure risks is so large that it is necessary to share knowledge and expertise on the subject and to collaborate in research with international partners. Meanwhile, the awareness is increasing that exposure to ammunition related substances may cause health issues on the short or long term, putting the issue on the agenda of many countries.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Summary	4
	Afkortingenlijst	7
1	Inleiding	8
2	Programma-inhoud.....	9
2.1	Algemeen.....	9
2.2	Probleemcontext.....	9
2.3	Probleemstelling	9
2.4	Stand van zaken.....	9
2.5	Ontwikkelingen	10
3	Programmaresultaten.....	11
3.1	Algemeen.....	11
3.2	Overzicht onderzoeksvragen en bereikte resultaten	11
3.3	Bijdrage aan de oplossing van de Defensieproblematiek	22
3.4	Appreciatie van de programma resultaten.....	22
3.5	Ontwikkelingen en aanbevelingen	24
4	Verantwoording	26
4.1	Algemeen.....	26
4.2	Realisatie programmadoelstellingen	26
4.3	Organisatie en communicatie	27
4.4	Evaluatie en Lessons learned	28
5	Referenties	30
6	Ondertekening	31
	Bijlage(n)	
	A Contactgegevens	

Afkortingenlijst

ANNC	Anglo Norwegian Netherlands Cooperation
AOP	Allied Ordnance Publications
ARBO	ARBeidsOmstandigheden
CAN	Canada
CBRN	Chemical, Biological, Radiological and Nuclear defense
CEAG	Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid
CO	koolmonoxide
CULTEX	platform for the in-vitro toxicological analysis of airborne substances, such as gases, particles, volatile compounds and complex gas mixtures at the air-liquid interface to simulate realistic (in- and outdoor) atmospheric conditions
CZE	Tsjechië
dB	decibel
EDA	European Defense Agency
EDX	Energy Dispersive X-ray
ELPI	Electrical Low Pressure Impactor
EST	Estland
ET	Exploratory Team
FIN	Finland
FRA	Frankrijk
GC-MS	GasChromatograaf – Massa Spectrometer
GER	Duitsland
HDS	Helium Diffusion Sampler
HETMC	Human and Environmental Toxicology of Munition Compounds
NATO	North Atlantic Treaty Organisation
NATO-AVT	Applied Vehicle Technology
NATO-CSO	Collaboration Support Office
NATO-HFM	Human Factors and Medicine
NATO-SCI	Systems Concepts and Integration
NLD	Nederland
NOR	Noorwegen
PAK	Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen
POR	Portugal
PUF	PolyUrethane Foam
RAO	Risico inventarisatie en Analyse Operationele omstandigheden
ROM	Roemenie
SEM	Scanning Electronen Microscoop
SWE	Zweden
TEM	Transmissie Electronen Microscopie
TG	Technical Group
TNO	Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TRACE-MI	Toxicological Risk Assessment for Chemical Exposures of Military Interest
UK	Verenigd Koninkrijk
USA	Verenigde Staten
WP	WerkPakket

1 Inleiding

Participatie in militaire missies en trainingen gaat vergezeld van bekende en onbekende (gezondheids)risico's. Defensiepersoneel kan in aanraking komen met stoffen die vooral in de Defensieorganisatie voorkomen en waaraan blootstelling niet altijd te vermijden is. Munitie-gerelateerde stoffen zijn hier een belangrijk voorbeeld van en de blootstelling daaraan vormt het onderwerp van dit programma. Dit programma beoogt de emissies bij gebruik van munitie in kaart te brengen. Dit heeft geleid tot een overzicht van relevante verbrandings- en reactieproducten, de meetmethoden om deze stoffen onder militair relevante omstandigheden te bepalen, en de bijbehorende analysemethoden. Het onderzoeksprogramma was specifiek gericht op munitie-gerelateerde stoffen en op specifieke militair-operationele omstandigheden. Het programma is afgesloten met een live firing experiment waarbij met een binnen het programma ontwikkelde meetopstelling "bemonsterd" werd. Het programma is aanvullend geweest op programma V936 "Militaire Toxicologie" en levert input voor het programma V1338 "Veiligheidsmanagement van militaire-relevante toxische stoffen", dat in 2013 is opgestart.

Met het in 2012 opgestarte onderzoeksprogramma V1219 "Blootstellingsrisico's munitie-gerelateerde stoffen", is in 3 werkpakketten onderzoek gedaan naar de mogelijke emissies van munitie en de mogelijke blootstellingsrisico's die hieraan zijn verbonden. Er is onder andere gekeken naar de emissies en blootstellingsrisico's in het algemeen (WP100: Munitie gerelateerde emissies), de meetmethoden en bijbehorende analysemethoden om deze emissies te meten en te analyseren (WP200: Meetmethoden) en er zijn diverse internationale uitwisselingen geweest dan wel werkgroepen opgezet (WP300: Internationale Samenwerking).

In deze eindrapportage wordt een beknopt overzicht gegeven van de resultaten van 2 jaar onderzoek. Om een snelle eerste indruk te geven van het onderzoek dat is uitgevoerd, wordt de rapportage zoveel mogelijk beperkt tot de hoofdlijnen van het onderzoek. Voor verdere verdieping wordt verwezen naar de literatuurlijst van hoofdstuk 5 met de belangrijkste publicaties en rapporten naar aanleiding van het onderzoek. Ook is het altijd mogelijk contact op te nemen met de werkpakketleiders van wie de contactgegevens zijn opgenomen in bijlage A van dit rapport.

De indeling van het rapport is conform de standaard TNO programma eindrapportage. In hoofdstuk 2 wordt de algemene programma context aangegeven waarbij ook kort wordt ingegaan op recente ontwikkelingen gedurende het programma. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten en de bijdrage hiervan aan de oplossing van de defensieproblematiek. In hoofdstuk 4 tenslotte vindt een verantwoording plaats met betrekking tot het verloop van het programma en de behaalde resultaten.

2 Programma-inhoud

2.1 Algemeen

Dit programma beoogt kennis te ontwikkelen waarmee invulling kan worden gegeven aan de mogelijke blootstellingsrisico's aan munitie gerelateerde stoffen. Het programma is aanvullend op het programma V936 "Militaire Toxicologie", dat in 2012 is afgesloten en levert input voor het programma V1338 "Veiligheidsmanagement van militaire-relevante toxische stoffen", dat in 2013 is opgestart.

2.2 Probleemcontext

Participatie in militaire missies en trainingen gaat vergezeld van bekende en onbekende (gezondheids)risico's. Defensiepersoneel kan in aanraking komen met stoffen die vooral in de Defensieorganisatie voorkomen en waaraan blootstelling niet altijd te vermijden is. Munitie-gerelateerde stoffen zijn hier een belangrijk voorbeeld van en de blootstelling daaraan vormt het onderwerp van dit programma. Het arbeidsomstandighedenbeleid van Defensie houdt onder andere in dat tijdens uitzendingen zoveel mogelijk wordt gehandeld naar of in de geest van relevante Nederlandse wet- en regelgeving. De omstandigheden waaronder defensiepersoneel tijdens missies werkzaam is, zijn echter veelal afwijkend van de arbeidsomstandigheden in Nederland, waardoor het beoordelen van de risico's extra aandacht vereist. Kennis met betrekking tot blootstelling aan munitie-gerelateerde stoffen is hiervoor noodzakelijk. Daarnaast worden ook trainingen steeds realistischer en daarmee dynamischer, waarbij personeel bijvoorbeeld door de zelf geproduceerde schietgassen en rookschermen loopt.

2.3 Probleemstelling

Goede werkomstandigheden zijn mede een randvoorwaarde voor het voortzettingsvermogen en het missiesucces, en vormen één van de pijlers van verantwoord werkgeverschap. Het ontbreekt Defensie op dit moment echter aan voldoende kennis en technologieën om de blootstelling aan munitie-gerelateerde reactie- en emissieproducten adequaat te kunnen vaststellen. Deze kennis is nodig om vervolgens een goede risicobeoordeling te kunnen maken.

2.4 Stand van zaken

2.4.1 *Defensieproblematiek*

Met het vaststellen van de CDS aanwijzing A-130 is de invoering van de Risico-inventarisatie en Analyse Operationele omstandigheden (RAO) een feit. Met deze RAO krijgt het personeel, dat belast is met de risico-inventarisatie en analyse, een instrument in handen waarmee meer inzicht verkregen kan worden in de risico's op het gebied van veiligheid, gezondheid en welzijn onder operationele omstandigheden waaronder de blootstelling aan chemische stoffen kan plaatsvinden. De RAO beschrijft de structuur waarmee binnen Defensie op verantwoorde wijze risico's, zoals bij blootstelling aan toxische stoffen, kunnen worden geïnventariseerd en geanalyseerd. Daarmee is nog niet gezegd dat

Defensie over alle kennis en technologieën beschikt om de RAO optimaal te kunnen uitvoeren en de resultaten te interpreteren.

Het programma heeft beoogd de kennisopbouw te genereren welke Defensie in staat stelt invulling te geven aan de aandachtsgebieden met betrekking tot blootstellingsrisico's aan munitie gerelateerde stoffen. Welke stoffen relevant zijn binnen het risicomanagement zodat deze op een verantwoorde wijze is uit te voeren. Er is kennis en kunde opgebouwd om blootstelling en risico's tijdens trainingen, oefeningen, uitzendingen en in munitiewerkplaatsen te kunnen inventariseren, monitoren en analyseren.

2.4.2 Onderzoeksvragen

In de tussen TNO en Defensie overeengekomen bestedingsovereenkomst [1], zijn de volgende onderzoeksvragen gedefinieerd:

- ✓ Werkpakket 100: Munitie-gerelateerde emissies
 - Welke criteria gelden om een prioritering aan te kunnen brengen in de munitiecomponenten op basis van blootstelling (hoeveelheid, duur, frequentie, omstandigheden, etc.)
 - Welke stoffen ontstaan bij het gebruik van munitie?
 - Wat is er bekend van het gedrag van de emissiestoffen (onderling) in ruimte, tijd en bij verschillende omstandigheden?
- ✓ Werkpakket 200: Meetmethoden (live firings)
 - Wat is de huidige State of the Art van meetmethoden om de stoffen die ontstaan bij het gebruik van munitie te kunnen meten?
 - Hoe zijn deze methoden in te zetten in de praktijk?
 - Zijn deze meetmethoden internationaal getoetst/gestandaardiseerd?
 - In welke concentraties komen de componenten vrij bij het gebruik van munitie onder bepaalde omstandigheden (proof of principle)?
- ✓ Werkpakket 300: Internationale samenwerking
 - Tot welke relevante kennis en kunde kunnen wij internationaal toegang krijgen?
 - Welke munitiecomponenten hebben internationaal de prioriteit?
 - Welke onderzoeksvragen leven er bij de internationale partners ten aanzien van het gebruik van munitie en de eventuele risicobeoordeling?

2.5 Ontwikkelingen

Het gebruik van munitie behoort tot één van de kerntaken van Defensie. Eventuele blootstellingsrisico's aan munitie-gerelateerde emissies zijn bij het gebruik van munitie onvermijdelijk. De werkgever is verantwoordelijk voor het verzorgen van een veilige werkomgeving en met het vaststellen van de CDS aanwijzing A-130 is de invoering van de Risico-inventarisatie en Analyse Operationele omstandigheden (RAO) een feit. Hiertoe is het noodzakelijk de nog onbekende gezondheidsrisico's ten gevolge van emissies van munitie in een operationele context, in kaart te brengen. Er bestaat een grote onzekerheid over de mate van blootstelling en de potentiële effecten van die blootstelling. Met name de aandacht voor emissies van (ultra)fijne deeltjes groeit, waarbij ook internationaal de focus verschuift van de milieuproblematiek naar (mogelijke) gezondheidseffecten voor de gebruiker.

3 Programmaresultaten

3.1 Algemeen

De kennisopbouw binnen dit programma stelt Defensie in staat invulling te geven aan de aandachtsgebieden met betrekking tot blootstellingsrisico's aan munitie-gerelateerde stoffen. Bijvoorbeeld welke stoffen relevant zijn binnen het risicomanagement zodat dit op een verantwoorde wijze is uit te voeren. Er is kennis en kunde opgebouwd om blootstelling en risico's tijdens trainingen, oefeningen, uitzendingen en in munitiewerkplaatsen te kunnen inventariseren, monitoren en analyseren.

Deze kennis en kunde is in diverse internationale fora gedeeld en bediscussieerd (onder andere NATO, EDA, HETMC).

3.2 Overzicht onderzoeksvragen en bereikte resultaten

Hieronder zijn kort de resultaten weergegeven van de verschillende werkpakketten. Hierbij is zoveel mogelijk nagestreefd dat de kwaliteit van de opgebouwde kennis en kunde van dien aard is dat deze implementeerbaar is bij Defensie en kan bijdragen aan internationale samenwerking en informatie-uitwisseling.

3.2.1 *WP100 [2]*

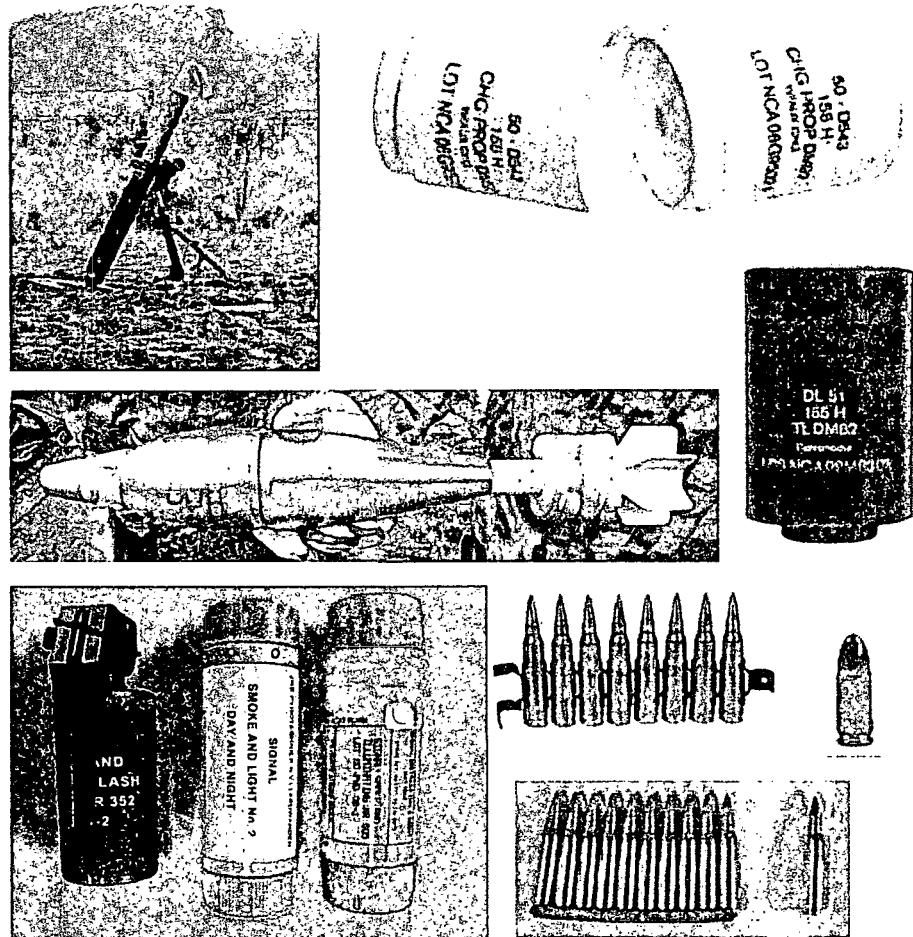
Munitie bevat veel verschillende chemische stoffen, die worden omgezet in reactieproducten na het afvuren en/of functioneren. De reactieproducten kunnen vervolgens een gevaar vormen voor de gezondheid van het personeel. In sommige gevallen kunnen deze stoffen zelfs kankerverwekkend of mutageen zijn. Blootstellingsrisico's worden bepaald door de hoeveelheid materiaal waar men aan wordt blootgesteld, de absorptie in het lichaam en de intrinsieke toxiciteit van de stof(fen). Mogelijke blootstellingen zijn gerelateerd aan de verbranding van (vuurwapen)kruiden en andere stoffen binnen de munitie (bijvoorbeeld ontstekers) die vrijkomen bij het afvuren. Naast de reactieproducten afkomstig van de energetische materialen van munitie is er ook een emissie van metalen uit de interactie van de kogel met de loop.

In het algemeen zijn inademing of contact met de huid de meest prominente routes van blootstelling aan deze emissies. Bekend in dit verband zijn verstikkende gassen (koolmonoxide, stikstofdioxide en waterstofcyanide), irriterende gassen (ammoniak, stikstofdioxide, zwaveldioxide, stikstofdioxide en waterstofchloride) en inhaalbare (kleine) deeltjes van metalen (lood, koper en andere).

De nadruk lag op de munitie-gerelateerde emissies, terwijl munitie werd afgevuurd of functioneerde. Het onderzoek is gedaan door middel van literatuuronderzoek, live-firings in het veld en het schieten in een laboratoriumopstelling. Uit de literatuur is een samenvatting gemaakt van de mogelijke blootstelling risico's en blootstelling routes van munitie gerelateerde stoffen, zowel direct (via de lucht) als indirecte (via het oppervlak van de bodem), gedurende de volledige levenscyclus van munitie. Verschillende militaire scenario's met een hoog risico zijn geïdentificeerd en een lijst van prioritaire (schadelijke) stoffen is geproduceerd.

Criteria waarom bepaalde munitie nader is onderzocht zijn gebaseerd op de gebruikte hoeveelheden, het risico voor blootstelling van personeel en het type

(reactie)stof dat mogelijk wordt gevormd. Gescreend op emissies in Werkpakket 100 "Emissies" zijn: de modulaire ladingen gebruikt met 155-mm kaliber munitie, een 81-mm mortier en een drietal klein kaliber munitie in combinatie met het gebruikte wapen en een drietal pyrotechnische artikelen (zie figuur 3.1).

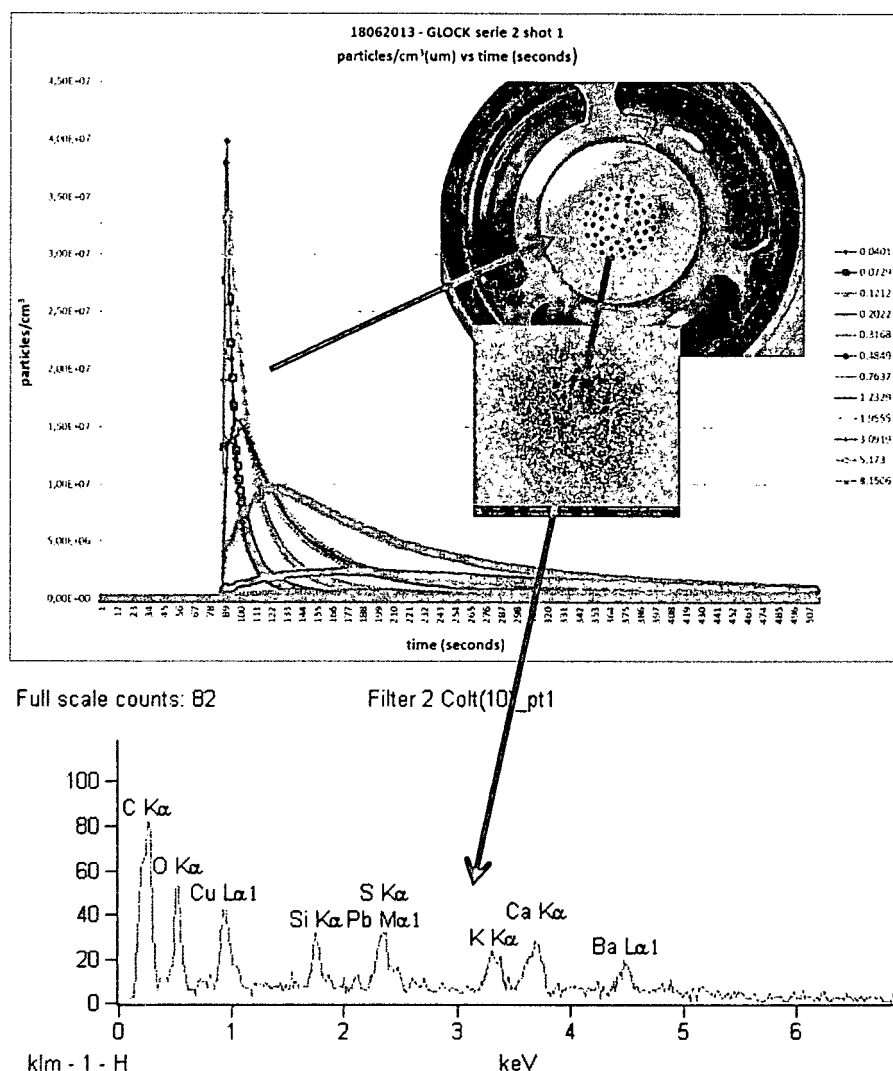


Figuur 3.1 De gescreende munitieartikelen: 81-mm mortier, 155-mm modulaire ladingen (DM82 en DM92), pyrotechnische artikelen (Flash Bang en seinmiddelen) en klein kaliber munitie (5.56 mm en 9 mm).

Resultaten tonen aan dat de emissies van het afvuren c.q. functioneren voor verschillende soorten munitie zeer verschillend zijn, bijvoorbeeld qua hoeveelheid deeltjes, deeltjesgrootteverdeling, de samenstelling en morfologie. In het algemeen bestaan de emissies van verschillende munitie uit (ultra)fijne deeltjes, bestaande uit metaal(oxiden) zoals koper, zink en lood en die van de pyrotechniek uit chloriden en organische kleurstoffen.

De aanbeveling is dan ook om te focussen op (ultra)fijn stof detectie, analyse, identificatie en kwantificatie. De combinatie van de cascade impactor (bijv. ELPI) met Scanning Elektronen Microscopie (SEM) en röntgen analyse (EDX) is hiervoor zeer geschikt omdat het zowel de deeltjesgrootteverdeling (via on-line metingen) inzichtelijk maakt als ook de chemische samenstelling en morfologie (zie figuur 3.2). De vertaling van de resultaten naar mogelijke gezondheidseffecten moet nog

worden gedaan, maar dit lag buiten de scope van het programma. In het onderzoeksprogramma V1338 "Veiligheidsmanagement van militaire-relevante toxische stoffen" is hiervoor capaciteit gereserveerd.



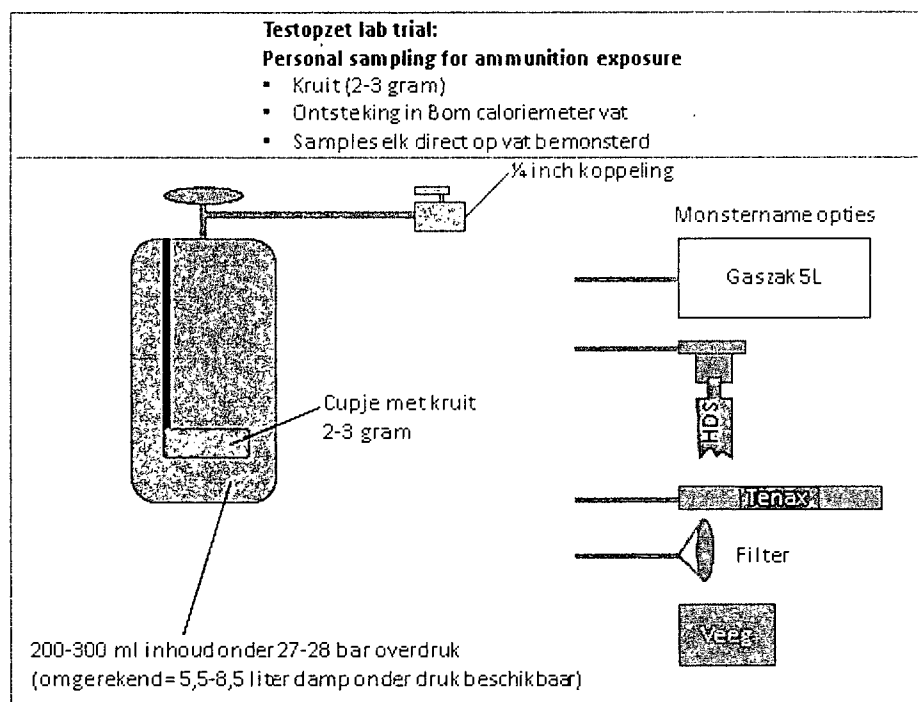
Figuur 3.2 De werkwijze voor de analyse van deeltjes: metingen met de ELPI (online) geeft een resultaat op filter (stofhoopjes) onderverdeeld in deeltjesgrootte. Bulkanalyse met SEM van dit stof geeft de chemische samenstelling.

In een aantal gevallen is gebleken dat de hoeveelheid monsternormaal te weinig is voor goede (kwantitatieve) analyses. Dit is vooral gebleken bij de metingen in de open lucht (81-mm en 155-mm). Dit is deels omdat de detectielimieten van de gebruikte analysetechnieken niet laag genoeg zijn, maar ook omdat er vaak simpelweg maar weinig materiaal wordt gevormd of deze zich door de wind over een groot oppervlak c.q. volume verplaatst. In een aantal gevallen is de terugweging van impactorplaten niet mogelijk geweest omdat de gewogen massa zich in de foutenmarge bevond. Gravimetrisch kunnen er dan geen uitspraken worden gedaan. Bulkanalyse met SEM is dan nog wel steeds mogelijk. Validatie van de gebruikte technieken (monsternorm, monsteropwerking en monsteranalyse) voor kruitcomponenten is niet uitgevoerd omdat dit buiten de scope van het project viel. Dit is een aandachtspunt voor eventuele

vervolgwerkzaamheden op dit gebied. Zeker wanneer meer kwantitatieve metingen noodzakelijk zijn zoals bij blootstellingsmetingen en er specifiek iets gezegd moet worden over de risico's voor de gezondheid en/of er grenswaarden worden bepaald. Zover reikte de scope van dit werkpakket niet. Het verdient de aanbeveling een opzet te maken voor een Standaard Operating Procedure voor de bepaling van kruitcomponenten.

3.2.2 WP200 [3]

Het specifieke doel van WP200 Meetmethoden was een inventarisatie van de state-of-the-art meettechnieken voor het (persoonsgebonden) bepalen van de vrijkomende munitie-gerelateerde stoffen, alsmede het opzetten en valideren van meetmethoden voor gebruik tijdens 'live firing'. De in de literatuurstudie geïdentificeerde sampling- en analysemethoden werden ingezet bij diverse experimenten waarbij munitie-gerelateerde stoffen gevormd werden. Ter voorbereiding op de experimenten met wapens werden eerst experimenten met kruit op laboratoriumschaal uitgevoerd, gebruikmakend van de in figuur 3.3 afgebeelde opstelling.

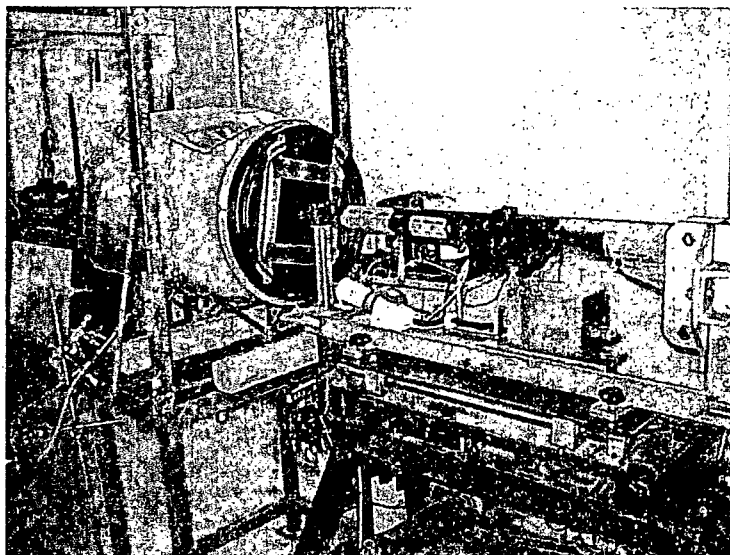


Figuur 3.3 Schematische weergave van de testopzet voor de verbrandingsexperimenten met kruit.

Het doel was de rookgassen van verbrand kruit te bemonsteren om zo een beeld te krijgen van de stoffen die vrijkomen bij de verbranding van het kruit onder gecontroleerde condities. Uit de eerste proeven bleek dat het kalibratiekruit erg schoon opbrandde. De testen met de drie 'echte' kruiden (17-A447 9 mm DM51 Lot NEN 08-004, 5.56mm NATO ball en 17-A447 9 mm Ball Action 3 Lot Dag 09-2) zijn uitgevoerd met Tenax, gevolgd door GC-MS analyse. In het vaatje zat na afloop roet en uit de analyse is gebleken dat er zich ruime hoeveelheden organische componenten hadden gevormd. Uit de massaspectra is gebleken dat na verbranding van de drie kruiden vrijwel overeenkomstige verbindingen werden

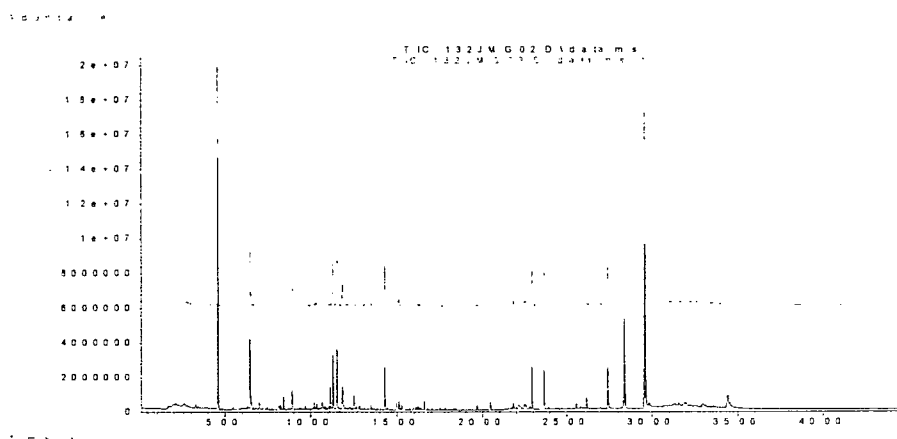
gevormd. Er vormden zich voornamelijk aromatische koolwaterstoffen en tevens werden ftalaten teruggevonden. Deze zijn vaak in kruiten aanwezig en worden onverbrand teruggevonden. Wanneer de drie kruiten onderling vergeleken werden dan viel op dat de grootste verschillen zaten in de onderlinge verhouding van de vrijgekomen stoffen. Er werden tijdens de proeven nauwelijks ongereageerde kruitcomponenten teruggevonden.

Vervolgens werd gekeken of een aantal commercieel verkrijgbare monsternamemiddelen (onder andere HDS, Tenax en polyurethaan foam (PUF)) geschikt waren voor persoonsgebonden bemonstering van munitie-gerelateerde stoffen bij gebruik van klein kaliber handwapens, te weten de Colt, de Minimi en de Glock. Naast het evalueren van de beschikbare samplers werd hiermee tevens bijgedragen aan de in WP1 benodigde kennis over de chemische samenstelling van de vrijkomende rook. Voor deze experimenten werd een opstelling geconstrueerd zoals weergegeven in figuur 3.4.



Figuur 3.4 Schietopstelling met vat voor afvangen luchtmonsters ter bepaling van munitie-gerelateerde emissieproducten van klein kaliber handwapens.

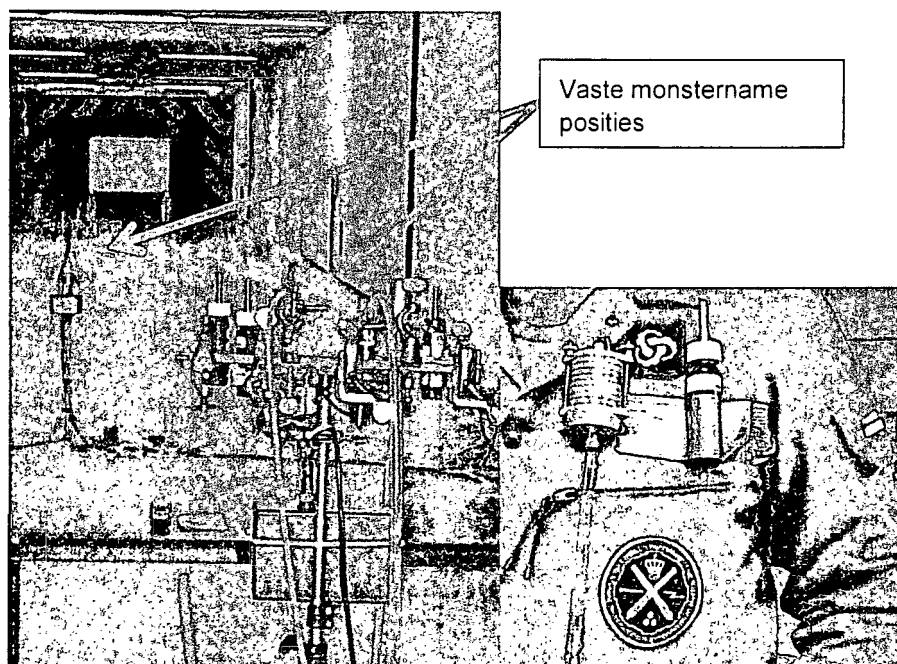
Bij het Colt wapen werden Tenaxbuizen in duplo bemonsterd. Uit de analyse-resultaten is gebleken dat de chromatogrammen nagenoeg volledig overeenkomstig waren (zie figuur 3.5). Dit duidt op een zeer reproduceerbare monsternamemidelen- en analyseprocedure.



Figuur 3.5 Overlay van twee duplo Tenax GC-MS metingen na afschieten van de Colt (beide van eerste schietreeks).

Bij zowel de Colt als de Minimi werd in de rook een behoorlijke hoeveelheid olieachtige componenten aangetroffen. Tevens betrof de hoeveelheid aangetroffen oliecomponenten (pieken) in beide gevallen een meerderheid van de pieken in het chromatogram. De gevonden oliecomponenten zijn in ieder geval niet te herleiden naar het kruit. Als mogelijke bron wordt de gebruikte wapenolie aangewezen. Bij de eerste schotserie (na schoonmaken) van een wapen was de concentratie oliecomponenten het hoogst. In de chromatogrammen werden verder pieken van toluen, stikstof bevattende aromaten als aniline, PAK's en ftalaten teruggevonden. Deze ftalaten zijn wellicht afkomstig uit het onverbrande kruit omdat deze stoffen aan kruit toegevoegd worden. De Glock liet naast een aantal van de eerder genoemde stoffen ook de aanwezigheid zien van een groot aantal siloxanen. Dit zijn afbraakproducten van de stationaire fase van de GC-kolom gebruikt voor de GC-MS analyse. Het afbreken van de stationaire fase is meestal een indicatie voor de aanwezigheid van een zeer reactieve component. Uit de metingen van de HDS bleek dat deze sterk overeenkwamen met de resultaten uit de Tenax analyses. Bij analyse van de PUFs werden nauwelijks andere componenten dan bij blanco analyses aangetroffen, dus de bruikbaarheid van deze samplers lijkt vrij beperkt te zijn voor de onderzochte gasvormige producten.

Tenslotte werden experimenten met de Colt uitgevoerd op een 50 meter indoor schietbaan (op defensie oefenterrein 't Harde). In samenwerking met Defensie is een proef opgezet waarbij 4 ervaren schutters, onder leiding van een instructeur, op door TNO aangegeven momenten een vooraf afgesproken schietserie uitvoerden (zie figuur 3.6).

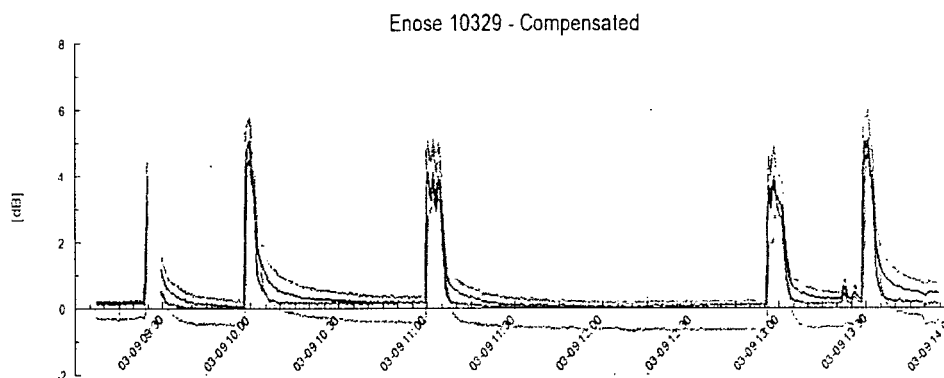


Figuur 3.6 Monstername punten op schietbaan (links) met een positie voor en achter de schutters, monstername op de borst van de schutters (rechts).

Een monstername punt bestond uit:

- Totaal stof filter (6,5 en 10 liter/min)
- E-nose (online metingen)
- Mini Cascade Impactor (9 liter/ min)
- 3X HDS (15 min, 2-4 hr, 4-8 hr)
- PAK sampler (2 liter/min)
- Gassenmonitor Infrarood
- Tenax (100-200 ml/min)

Uit de resultaten is gebleken dat de concentraties aan emissieproducten op de schietbaan achter de schutters erg laag was. Dit viel te verwachten, aangezien de ventilatie zorgt voor afblazen van de rook. In het geval van CO zijn er wel verhoogde concentraties meetbaar op de voorste bemonsteringsposities. Met de E-nose bleek het mogelijk om het experiment goed te volgen gedurende de testdag; mogelijk kan de E-nose gebruikt worden voor het 'schoon' verklaren van een testruimte (zie figuur 3.7).



Figuur 3.7 E-nose signaal in dB gedurende gehele experimentenserie op 50 m schietbaan op 't Harde (voorste bemonsteringspositie).

In alle gevallen bleek stof in concentraties tussen 1 en 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gevormd te worden. Uit de Tenax analyses bleek dat er veel vluchtige aromatische verbindingen waren gevormd. Vergeleken met de verkennende experimenten die hiervoor waren uitgevoerd met het vat bleken de gevormde componenten voor een deel overeen te komen. Uit de Tenax bepalingen bleek ook dat er relatief weinig hoogkokende PAK's teruggevonden werden, wat overeenkomt met de uitkomsten van de sampling-experimenten met de speciale PAK samplers. HDS bleek voor de gekozen opzet van de experimenten niet goed geschikt als sampling device, waarschijnlijk vanwege de combinatie van relatief korte samplingtijd/blootstellingsduur en effectieve ventilatie op de schietbaan.

3.2.3 WP300

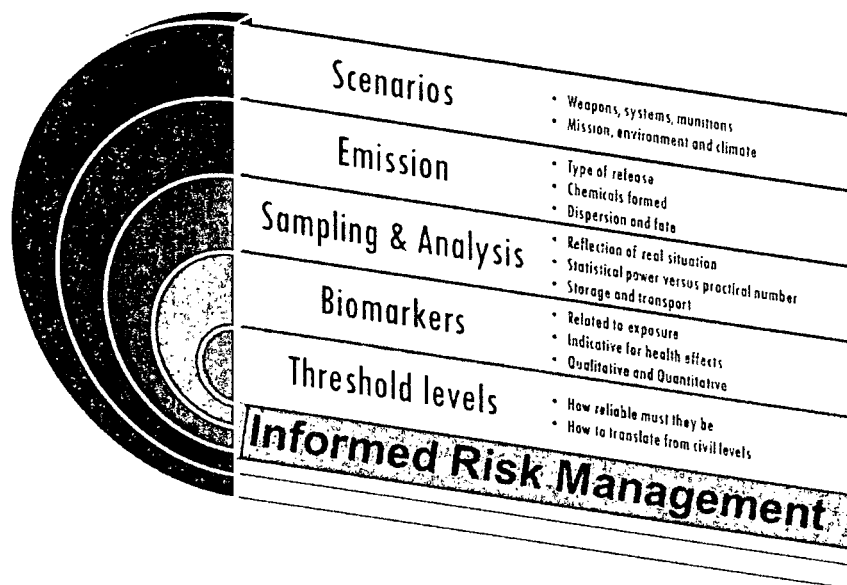
Doelstelling van dit werkpakket was het opzetten van een internationale samenwerking op het gebied van blootstelling van militairen aan munitie-gerelateerde stoffen onder specifiek militair-operationele omstandigheden. En het onderhouden van diverse (in meer of mindere mate) reeds lopende contacten/samenwerkingen. Hieronder worden de bereikte resultaten en ingezette initiatieven weergegeven.

3.2.3.1 EDA

Bij EDA Captech ESM04 is de interesse gewerkt voor het onderwerp 'risico-evaluatie van blootstelling aan militair-relevante stoffen'. Na een aantal iteraties van de 'outline description' is toestemming verkregen voor een categorie B project op dit gebied [4]. In januari 2013 is in Hoofddorp een eerste inventariserende workshop gehouden, waaraan EST, FRA, NLD, NOR en SWE hebben deelgenomen. POR kon niet aanwezig zijn, maar had wel enige input geleverd. Tijdens deze bijeenkomst is de breedte van het speelveld verkend, waarna in goed overleg is besloten om de doelstelling te beperken tot risicomanagement voor blootstelling aan wapenemissies, waaronder munitie-gerelateerde stoffen, militaire roken en hun verbrandingsproducten. Dit sluit prima aan op hetgeen in V1219 is gedaan. Er is een voorlopige werkpakketindeling geformuleerd en het acroniem 'TRACE-MI' bedacht: "Toxicological Risk Assessment for Chemical Exposures of Military Interest".

In juni 2013 is een vervolg-workshop gehouden bij FFI (NOR). Aan deze meeting hebben EST, FRA, GER, NLD, NOR en SWE deelgenomen. POR was niet aanwezig, maar heeft wel input geleverd. ITA had aangegeven mee te willen doen maar heeft tot op heden geen input geleverd. Tijdens deze workshop is de invulling

van de werkpakketten bediscussieerd en is geïnventariseerd wie aan welke werkpakketten wil bijdragen en in welke mate. In onderstaande figuur worden de inhoudelijke werkpakketten van TRACE-MI getoond. Daarnaast zijn de werkpakketten 'Management' en 'Dissemination' geformuleerd.



Figuur 3.8 Inhoudelijke werkpakketten van TRACE-MI.

NLD zal TRACE-MI gaan leiden, is leider van werkpakket "Sampling and Analysis" en neemt deel aan alle andere werkpakketten, met uitzondering van "Biomarkers". De reden hiervoor is dat we momenteel geen onderzoek doen aan biomarkers in de context van militaire toxicologie. Het is wel mogelijk reeds opgebouwde kennis op dit onderwerp in te brengen. In zijn algemeenheid brengt NLD inhoudelijk resultaten in vanuit V217, V936, V1219 en V1338.

Werkpakket "Scenarios" zal worden geleid door POR, "Emission" door SWE, "Biomarkers" door NOR, "Threshold levels" door FRA, "Informed risk management" door GER en "Dissemination" door ITA, mits zij gaan participeren.

De totale omvang van TRACE-MI is geschat op 2.45 MEURO, hetgeen door de landen "in kind" wordt ingebracht. De NLD-bijdrage is 400 KEURO, hetgeen vanuit de programma's V1338, V936, V217 en V1219 wordt ingebracht. De looptijd is 36 maanden. De draft-project arrangement is ingediend en wacht op ondertekening door de participerende naties. De ervaring leert dat dit geruime tijd kan duren. Niettemin zal TRACE-MI kunnen worden gerealiseerd binnen de looptijd van V1338 (2013-2017). In januari 2014 staat in Parijs een "pre-kickoff" meeting gepland.

3.2.3.2 NATO

NATO is een prima forum voor kennisuitwisseling en samenwerking. Binnen 3 panels, nl. HFM, SCI en AVT, is draagvlak gecreëerd voor aandacht voor beheersing van de gezondheidseffecten die kunnen voortvloeien uit blootstelling aan munitie-gerelateerde stoffen en de verbrandingsproducten daarvan.

3.2.3.2.1 *Human Factors and Medicine (HFM) panel*

Onder het HFM-panel is onder leiding van NLD met succes TG-009 "Biotechnologies for Assessment of Toxic Hazards in Operational Environments" actief geweest van 2004-2006. De focus van deze groep was op "emerging technologies" voor risicomanagement van chemische blootstellingen onder militair-operationele omstandigheden, toxicologie van mengsels en combinaties van stoffen en biomarkers voor het meten van blootstelling en effect. Hierna had het HFM-panel het plan opgevat om een nieuwe TG te starten die het gehele spectrum van toxische stoffen zou gaan bestrijken, d.w.z. inclusief chemische strijdmiddelen, een onderwerp dat in TG-004 werd geadresseerd. De community die zich bezighield met laatstgenoemde materie wilde echter een aparte TG behouden, waardoor de brede TG niet van de grond is gekomen. Derhalve is er na 2006 geen TG meer actief geweest op het gebied van militaire toxicologie onder dit panel.

Tijdens de voorjaarsmeeting in 2013 van het HFM-panel is groen licht gegeven voor oprichting van ET-128 "Health Risk Assessment for Chemical Exposures of Military Interest", voor de periode september 2013 tot september 2015 [5]. Dit ET richt zich op operationeel risicomanagement van blootstellingen aan militair-relevante stoffen, en zowel op korte als lange termijn gezondheidseffecten. NLD, NOR en USA hebben interesse getoond. Via NATO-CSO wordt geïnventariseerd welke andere NATO-landen zouden willen participeren. NLD zal het ET gaan leiden, e.e.a. wordt gefinancierd uit V1338.

3.2.3.2.2 *Systems Concepts and Integration (SCI) panel*

Gelinkt aan het werk binnen V1219 zijn de internationale inspanningen op het gebied van militaire roken. Onder het SCI-panel is ET-008 "Guidelines for Toxicity Testing of Smokes, Obscurants, and Pyrotechnic Mixtures" opgericht [6], welke rapporteerde aan de NATO/NAFAG/JCG/ISR/CCDO werkgroep. De startbijeenkomst vond plaats in januari 2013 te Parijs. Vervolgbijeenkomsten waren in juni 2013 te Rijswijk en in september 2013 te Utrecht, rondom het tweede internationale symposium "Human and Environmental Toxicity of Munition-related Compounds" (HETMC). FRA leidde dit ET, waarin CAN, NLD, UK en USA participeerden. ET-008 richtte zich op de vraag of het wenselijk is om een TG op te richten die zich gaat buigen over methoden voor bepaling van de korte en lange termijn gezondheidseffecten van blootstelling aan militaire roken en pyrotechnische mengsel, hetgeen uiteindelijk moet leiden tot een nieuwe AOP. Het antwoord op deze vraag was volmondig 'ja'. Het SCI-panel heeft op haar najaarsbijeenkomst 2013 toestemming gegeven voor oprichting van TG-273 [7], die dezelfde titel draagt als ET-008, en drie jaren zal lopen. FRA zal deze TG voorzitten, met NLD als co-chair. Voor 2014 geschiedt financiering van de NLD-participatie vanuit een project voor het Franse MinDef. Voor 2015 en 2016 is nog geen financiering gevonden. De startbijeenkomst van TG-273 zal in Parijs plaatsvinden in januari 2014. Vooralsnog zullen CAN, CZE, FRA, GER, NLD, ROM, UK en USA participeren. UK heeft FIN gevraagd om in te stappen.

3.2.3.2.3 *Applied Vehicle Technology (AVT)-panel*

Ook in het AVT-panel is draagvlak gecreëerd voor een ET op het gebied van risico's van blootstelling aan munitie-gerelateerde stoffen onder operationele omstandigheden, in dit geval gerelateerd aan wapenplatforms. De titel is "Risk management of exposure to ammunition-related compounds and combustion products thereof under operational conditions", volgnummer en startdatum zijn nog

niet bekend [8]. NLD zal dit ET gaan leiden. Financiering wordt voorzien vanuit programma V1322.

3.2.3.3 UK

DSTL is een toonaangevende onderzoeksorganisatie binnen het defensiedomein. Uit ervaring weten we dat de Engelsen in grote internationale fora weinig van hun kennis delen. In ANNC-verband is men wat spraakzamer, maar in deze trilaterale samenwerking zit NOR ook aan tafel. Derhalve is getracht tot een bilaterale kennisuitwisseling c.q. samenwerking te komen.

Vanuit het CBRN-domein hebben we contacten met

. Op basis van deze relatie is een kennisuitwisseling opgestart op het gebied van deeltjes die vrijkomen bij gebruik van wolfram-gebaseerde munitie en het voorspellen van de mogelijke gezondheidsgevaren daarvan. Rapporten van het werk dat DSTL samen met de universiteit van Birmingham op dit gebied doet zijn reeds ontvangen. In 2014 zal worden getracht tot afstemming van het onderzoek op dit gebied te komen.

Via internationale symposia en de NATO/NAFAG/JCG/ISR/CCDO meeting is een goede verstandhouding opgebouwd met Grahame Poulson van DSTL Fort Hamstead te Sevenoaks, die graag wil samenwerken op het gebied van toxiciteit van militaire roken. Er wordt aan beide zijden gezocht naar een geschikt vehikel om deze samenwerking te formaliseren. Op diverse meetings delen we informeel al kennis voor zover dat is toegestaan.

3.2.4 WP400

Gedurende de looptijd van het programma heeft er op regelmatige basis overleg plaatsgevonden tussen de programmaleider en de programmabegeleider, zowel tijdens het vierkantoverleg als via email/telefoon. Het overleg tussen programmaleider en de themaleiders gebeurde op basis van wederzijdse behoefte en werd vastgelegd in kwartaalrapportages. Daarnaast zijn er jaarrapportages opgeleverd in oktober 2012 en oktober 2013.

Op 26 januari 2012 heeft de kickoff plaatsgevonden van het onderzoeksprogramma. Hierbij is er een introductie gegeven op het programma en zijn de verschillende werkpakketten gepresenteerd. Daarnaast was het kennismaken tussen TNO projectleiders en medewerkers en Defensie projectbegeleiders één van de doelen [9].

Op 2 april 2012 is de (Engelstalige) programmaflyer aangeboden aan de Souschef Defensie Research & Development,

Op 11 december 2012 heeft aansluitend aan de einddag van het Defensie-onderzoeksprogramma V936, "Militaire Toxicologie", het klankbordoverleg van het programma V1219, plaatsgevonden. Het doel van de bijeenkomst was om de resultaten te presenteren die waren behaald in 2012, alsmede de plannen te presenteren voor 2013 en draagvlak te creëren voor het programma. De aanwezigen werd gevraagd hierop te reageren en eventueel met (andere) ideeën te komen [11]. Hieruit is onder andere voortgekomen dat bijvoorbeeld het schieten met klein kaliber munitie een potentieel blootstellingsrisico met zich meebrengt.

In augustus 2013 is er van programmabegeleider gewisseld; is opgevolgd door . Doordat deze laatste reeds inhoudelijk betrokken was binnen WP100 is die overgang zeer soepel verlopen. Echter, de programmabegeleider heeft de werkzaamheden in de laatste maanden overgedragen aan , die in WP300 inhoudelijk was betrokken.

De vierkantoverleggen hebben in 2012 plaatsgevonden op 6 maart [12], 5 juni [13] en 23 oktober [14]. De vierkantoverleggen hebben in 2013 plaatsgevonden op 29 januari [15], 28 mei [16] en 15 oktober [17]. Hiervan zijn notulen gemaakt en verzonden naar alle belanghebbenden.

Voor het congres Human and Environmental Toxicology of Munitions Compounds (HETMC) te Utrecht van 17-19 september 2013 zijn zoveel mogelijk van de programmaresultaten verzameld en gepresenteerd [18].

3.3 Bijdrage aan de oplossing van de Defensieproblematiek

De verkregen resultaten en inzichten binnen het programma, stellen Defensie beter in staat binnen het risicomanagementsysteem invulling te geven aan de blootstellingsrisico's van munitiegerelateerde stoffen. Er is kennis en kunde opgebouwd om blootstellingen tijdens trainingen, oefeningen en uitzendingen te kunnen inventariseren, monitoren en analyseren.

3.4 Appreciatie van de programma resultaten

De programmabegeleider, heeft de onderstaande appreciatie doorgegeven:

Binnen de korte looptijd van slechts twee jaar heeft het programma substantiële resultaten ten aanzien van de onderzoeksvragen opgeleverd. De resultaten van het programma onderschrijven de complexiteit van de risicobeoordeling van munitiegerelateerde stoffen. De emissiemetingen hebben de kennis van de chemische samenstelling en morfologie van de fijn stof deeltjes die ontstaan aanmerkelijk uitgebreid. Voor de beoordeling van de mogelijke gezondheidsrisico's is aanvullend onderzoek noodzakelijk; in V1338. -Veiligheidsmanagement van militair-relevante toxische stoffen- is hiervoor capaciteit gereserveerd. Diverse internationale initiatieven zijn onderzocht en geïnitieerd die de kennisontwikkeling en -deling op dit gebied ook op de langere termijn mogelijk maken.

Aan de hand van de onderzoeksvragen die per werkpakket in de bestedingsovereenkomst zijn opgenomen worden de resultaten beoordeeld.

WP 100 – munitie gerelateerde emissies

- *Welke criteria gelden om een prioritering aan te kunnen brengen in de munitiecomponenten op basis van blootstelling (hoeveelheid, duur, frequentie, omstandigheden, etc.).*

Door Defensie is in overleg met TNO een selectie gemaakt van wapensystemen/ munitie die tot potentiële blootstelling kunnen leiden. Bij deze selectie is met name gekeken naar de afstand van afvuren tot het personeel, het verbruik van munitiesoorten en het type stof dat mogelijk gevormd wordt. Omdat karakterisering

van de emissie producten onderdeel vormde van het onderzoek zijn munitiesoorten uit de diversen hoofdgroepen geselecteerd.

Alhoewel triviaal bleek uit het onderzoek bij 81- en 155-mm munitie dat de (natuurlijke) ventilatie in het open veld een grote invloed heeft op het blootstellingrisico. Andere mogelijke omstandigheden, zoals temperatuur en vochtigheidsgraad, van invloed op de blootstelling werden niet geconstateerd.

- *Welke stoffen ontstaan bij het gebruik van munitie?*

De emissieproducten van de onderzochte munitie heeft de kennis die uit het literatuuronderzoek is gerapporteerd, met name over de chemische samenstelling en de morfologie van de (fijn) stof producten aanmerkelijk uitgebreid.

Voor de vertaalslag naar de mogelijke gezondheidsrisico's van deze emissieproducten zullen de kwantitatieve aspecten die bepalend zijn voor het blootstellingsrisico nader uitgewerkt moeten worden.

- *Wat is er bekend van het gedrag van de emissiestoffen (onderling) in ruimte, tijd en bij verschillende omstandigheden?*

Naast de constatering bij de metingen dat munitie reactieproducten een reactief mengsel vormen en na monsternamen niet op alle componenten stabiel zijn, kon binnen het programma geen specifieke onderzoek hiernaar worden gedaan.

Werkpakket 200: Meetmethoden (live firing)

- *Wat is de huidige State of the Art van meetmethoden om de stoffen die ontstaan bij het gebruik van munitie te kunnen meten?*

Technieken en methoden om munitie emissiestoffen te kunnen bemonsteren en analyseren werden in een State of the Art rapport vastgelegd. Hierin werd de militair operationele context als randvoorwaarde meegenomen.

- *Hoe zijn deze methoden in te zetten in de praktijk?*

De beantwoording van deze vraag hangt af van de 'operationele' aard van de 'praktijk'. Monsternamen technieken op de militair zullen tijdens trainingen een heel andere inzetbaarheid kennen dan onder operationele inzet. Bij een breed scala van wapensystemen/munitie werden de (on)mogelijkheden onder diverse praktijk omstandigheden onderzocht.

- *Zijn deze meetmethoden internationaal getoetst/gestandaardiseerd?*

Een aantal van de technieken zijn bestaande gevalideerde technieken. Er is geen onderzoek gedaan of deze technieken internationaal zijn gestandaardiseerd.

- *In welke concentraties komen de componenten vrij bij het gebruik van munitie onder bepaalde omstandigheden (proof of principle)?*

Bij het life firing experiment werden de mogelijkheden en de beperkingen van bepaalde monsternamen technieken inzichtelijk. Voor de kwantificering van de persoonlijke blootstelling onder operationele inzet zal aanvullend onderzoek noodzakelijk zijn. Defensie heeft meer inzicht gekregen welke meetsystemen mogelijk zijn om beter inzicht te krijgen van de blootstelling.

Werkpakket 300: Internationale samenwerking

- *Tot welke relevante kennis en kunde kunnen wij internationaal toegang krijgen?*
- *Welke munitiecomponenten hebben internationaal de prioriteit?*

- *Welke onderzoeksvragen leven er bij de internationale partners t.a.v. het gebruik van munitie en de eventuele risicobeoordeling?*

Ten aanzien van bovenstaande drie onderzoeksvragen werden binnen EDA en NATO in samenwerking met Defensie door TNO diverse internationale initiatieven ontplooid. Deze initiatieven leiden nu en in de toekomst tot kennisdeling in relatie tot dit onderzoeksprogramma en het onderzoeksprogramma V1338 'Veiligheidsmanagement van militair-relevante toxische stoffen'.

3.5 Ontwikkelingen en aanbevelingen

Voor onderzoek aan nanodeeltjes zou de impactor gecombineerd kunnen worden met een "Nano Impactor". De nanodeeltjes worden dan op een TEM-grid met "holey carbon film" afgevangen, waardoor karakterisering met betrekking tot morfologie en chemische samenstelling veel beter kan worden uitgevoerd. Aan deze laatste toepassing wordt momenteel gewerkt (V1338) en zal in de toekomst zeker een grote bijdrage kunnen geven bij de karakterisering van vrijkomende nanodeeltjes.

Bij de experimenten met de klein kaliber munitie blijkt dat bij het allereerste schot met het wapen wapenolie teruggevonden is. Dit geeft mogelijk een vertekend beeld. Beter is het om in dit geval om het wapen eerst "schoon" te schieten. Onbekend is in hoeverre de aanwezige wapenolie mee zal spelen in een blootstellingsrisico, dan wel effecten op de gezondheid. Dit zal altijd aanwezig zijn tijdens schietoefeningen. Omdat ook tijdens de wapen schoonmaak, een blootstellingsrisico aan deze wapenolie aanwezig is, verdient het ook in dat scenario aandacht.

Validatie van de gebruikte technieken (monstername, monsteropwerking en monsteranalyse) voor kruitcomponenten is niet uitgevoerd omdat dit buiten de scope van het programma lag. Het verdient de aanbeveling een opzet te maken voor een Standaard Operating Procedure voor de bepaling van kruitcomponenten, zeker wanneer meer kwantitatieve metingen noodzakelijk zijn. Vooralsnog lijken samplingsmethoden gebaseerd op Tenax, gecombineerd met GC-MS metingen, de beste resultaten te geven voor vluchtige organische componenten. Het is aan te bevelen om hier binnen V1338 aandacht aan te besteden.

De vertaalslag van wat de resultaten uit de verschillende emissiemetingen mogelijk betekenen voor de gezondheid van de gebruiker, zal verder onderzocht worden in V1338. Een aantal aanbevelingen zijn hierboven aangegeven en worden daar reeds opgepakt.

De focus binnen het programma lag op stoffen en gassen waarvoor naast een blootstellingsrisico een mogelijke gezondheidsrisico zou kunnen optreden. Naar bijvoorbeeld de belasting van geluid op de militair is binnen het programma niet gekeken. Vanuit discussie tijdens het congres "Human and Environmental Toxicology of Munitions Compounds" kwam ook de mogelijke toxiciteit van energetische materialen op het gehoor ter sprake, welke versterkt kan worden door lawaai-belasting. Om dit nader te onderzoeken is een project opgestart binnen het BMW ondersteuningsproject.

Het onderzoeksgebied met betrekking tot emissies en eventuele blootstellingsrisico's, is zo groot dat het noodzakelijk is kennis te delen en onderzoek af te stemmen met internationale partners. Inmiddels is de bewustwording dat blootstelling aan munitie-

gerelateerde stoffen en verbrandingsproducten daarvan tot gezondheidsschade op korte of lange termijn kan veroorzaken zodanig toegenomen dat vele landen dit onderwerp op de agenda hebben staan. De bereidwilligheid tot samenwerken is groot, hetgeen bijvoorbeeld blijkt uit het enthousiasme waarmee in EDA verband TRACE-MI is vormgegeven. Ook de samenwerking binnen NATO is belangrijk. Het feit dat dit onderwerp binnen drie NATO/CSO panels wordt opgepakt, elk vanuit een andere optiek, heeft in positieve zin de aandacht getrokken binnen de CSO, die graag de samenwerking tussen de panels wil intensiveren en op dit onderwerp daartoe een kans ziet. Omdat TNO de lead heeft in 2 van deze teams en co-chair is in de derde, geeft dit goede kansen om de onderwerpen in de voor NLD gewenste richting te sturen.

4 Verantwoording

4.1 Algemeen

De financiële planning van het programma is in tabel 4.1 samengevat (in k€). Per jaar is per werkpakket het beschikbare budget aangegeven.

Tabel 4.1 Overzicht budget per werkpakket en totaal.

BO 2.1		2012	2013	Totaal
WP100	Munitie gerelateerde emissies	80	70	150
WP200	Meetmethoden	70	100	170
WP300	Internationale samenwerking	35	35	70
WP400	Management	40*	20	60
Totaal		225	225	450

* Van dit budget is in 2011 20 k€ ter beschikking gesteld voor het opstellen van het programmavoorstel.

Tabel 4.2 Overzicht besteed budget per werkpakket en totaal.

BO 2.1		2012	2013	Totaal
WP100	Munitie gerelateerde emissies	81	69	150
WP200	Meetmethoden	68	102	170
WP300	Internationale samenwerking	36	34	70
WP400	Management	10+30	20	60
Totaal		225	225	450

4.2 Realisatie programmadoelstellingen

De programmadoelstelling zoals vastgelegd in de bestedingsovereenkomst is omschreven als:

"Het in kaart brengen van de emissies bij gebruik van munitie, leidend tot een overzicht van relevante verbrandings- en reactieproducten, de meetmethoden om deze stoffen onder militair relevante omstandigheden te bepalen, en de bijbehorende analysemethoden. Het onderzoeksprogramma is specifiek gericht op munitie-gerelateerde stoffen en op specifieke militair-operationele omstandigheden. Aan het eind wordt met een te ontwikkelen meetopstelling een live firing "bemonsterd".

Gesteld kan worden dat de doelstelling is gehaald. Binnen WP100 "Munitie gerelateerde emissies", is een overzicht gegeven van relevante verbrandings- en reactieproducten, alsmede een overzicht van mogelijke blootstellingsrisico's. In WP200 "Meetmethoden", is een overzicht gegeven van beschikbare meetmethoden om deze stoffen onder militair relevante omstandigheden te bepalen, inclusief de bijbehorende analysemethode, waarbij deze bovendien tijdens live firing zijn ingezet. Daarnaast is in WP300 kennis en kunde uitgewisseld in diverse internationale fora.

Tabel 4.2 geeft de programma deliverables weer inclusief de verschijningsdatum.

Tabel 4.2 Programma deliverables.

Werkpakket	Deliverable	Omschrijving	Verschijningsdatum
WP100	Rapport	Overzichtsrapportage van vrijkomende stoffen (vaste stoffen en gassen)	December 2013 TNO 2013 R11476, V1219 WP100: "Munitie gerelateerde emissies"
WP200	Rapport	Overzichtsrapportage van mogelijke (semi-kwantitatieve) meetmethoden voor emissies van munitie	December 2013 TNO 2013 R11500, "Evaluatie van (semi-kwantitatieve) meetmethoden voor emissies van munitie"
WP200	Demonstratie (proof of principle)	(Eenvoudige) meetopstelling voor live firing + Resultaten live firing (proof of principle)	3 september 2013 (KCW&M)
WP400	Rapport	Eindrapportage programma	2013 (TNO 2013 R11544 "Eindrapportage V1219: Blootstellingsrisico's Munitie gerelateerde Stoffen")
WP400	Presentatie	Eindpresentatie van de programma resultaten	17-19 september 2013 (HETMC)

4.3 Organisatie en communicatie

Het programma V1219 is vanuit Defensie begeleid door het CEAG. Vanaf de start tot en met juli 2013 was de programmabegeleider. was programmabegeleider vanaf 1 augustus tot het einde van het programma. De werkzaamheden zijn vanaf half augustus tot half december overgenomen door Vanuit TNO zijde was programmaleider. Tijdens haar zwangerschapsverlof (2012) zijn de werkzaamheden overgenomen door

Bij de invulling van de uitvoering van de werkzaamheden is gekozen het werk in een drietal werkpakketten in te delen en aan elk werkpakket een projectleider te koppelen. Door de in de bestedingsovereenkomst vastgelegde deliverables en de budgetten is de afbakening voor de projectleiders (resultaat, budget en tijd) vastgelegd [1]. Binnen de projecten hebben de projectleiders van TNO (zie bijlage A) contact gehad met hun project begeleiders. Communicatie met de programmaleider heeft plaatsgevonden met betrekking tot de vooraf vastgestelde rapportages (zoals kwartaalrapportages en jaarrapportages) of indien daar behoefte aan was (bijvoorbeeld bij de afstemming tussen WP100 en WP200).

Naast de formele afstemming tussen programmaleider en programmabegeleider vond ook frequent informeel overleg plaats. Aan het formele overleg namen ook de programmareferenten deel (vierkant overleggen) (zie ook paragraaf 3.2.4).

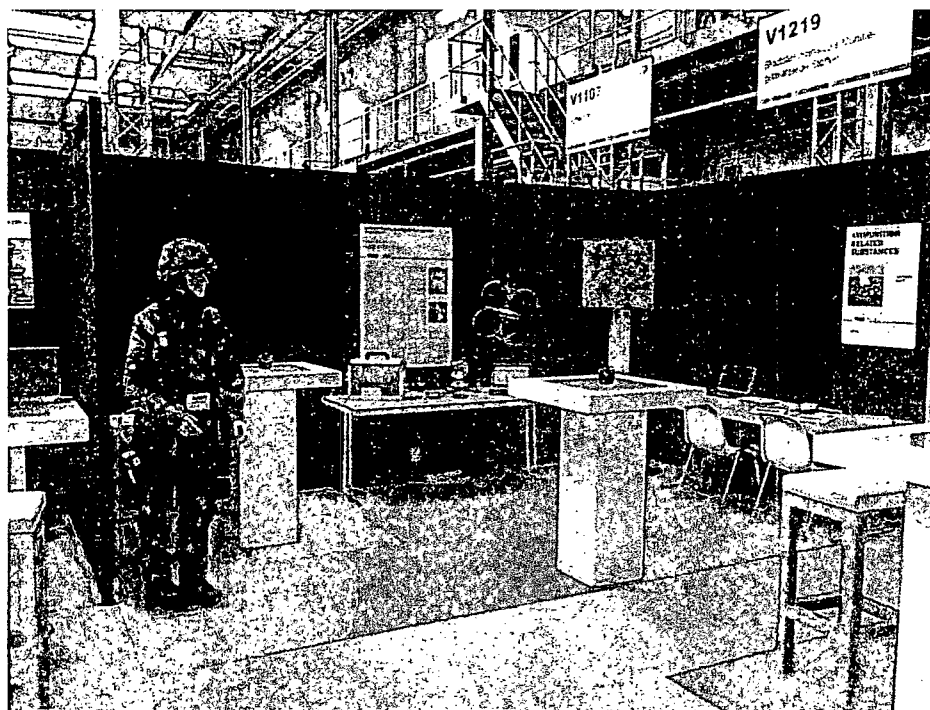
De officiële kick-off van het programma heeft plaatsgevonden op 26 januari 2012 [9].

Op 2 april 2012 is de (Engelstalige) programmaflyer aangeboden aan de Souchef Defensie Research & Development, [10].

Op 11 december 2012 heeft er een klankbordoverleg plaatsgevonden aansluitend aan de einddag van V936 [11].

In september 2013 zijn de voorlopige programmaresultaten gepresenteerd tijdens het congres "Human and Environmental Toxicology of Munitions Compounds" (HETMC) te Utrecht [18].

Op 10 december 2013 heeft de afsluitende programmadag plaatsgevonden, waarbij alle eindresultaten van het programma aan Defensie zijn gepresenteerd, "Innovation in Defense". Hier is deelgenomen met een stand (zie figuur 4.1) en is een eindpresentatie gegeven van de behaalde resultaten in het programma. De presentatie is digitaal ter beschikking gesteld aan Defensie [19].



Figuur 4.1 Impressie van de stand op de "Innovation in Defense" einddag te Den Haag.

4.4 Evaluatie en Lessons learned

Het programma "Blootstellingsrisico's munitie-gerelateerde stoffen" (V1219) heeft binnen budget en tijd de beoogde resultaten opgeleverd. Mede dankzij een

additioneel bedrag vanuit de onderbesteding in 2012 (75k€), welke is besteed om de emissies met betrekking tot klein kaliber in kaart te brengen.

Binnen het programma zijn we trots dat we een rol (hebben) kunnen spelen in het bij elkaar brengen van de verschillende Defensieonderdelen, CEAG enerzijds en DMO (KC W&M) anderzijds. Hierdoor is een brede afstemming mogelijk gebleken ten opzichte van welk munitiegebruik tot eventuele blootstellingsrisico's kan leiden. De goede samenwerking heeft zowel binnen TNO als binnen Defensie tot meer dwarsverbanden geleid.

Ook internationaal is er veel belangstelling voor het onderwerp. Eén van de symposia/congressen waar milieu en gezondheid met betrekking tot munitie gerelateerde stoffen samenkomt is het Human and Environmental Toxicology of Munition Compounds, (HETMC) welke in 2013 voor de tweede keer is georganiseerd (te Utrecht, 17-19 september). Een internationale bijeenkomst die naast de inhoudelijke presentaties ook veel discussie heeft opgeleverd. Hier zijn zoveel mogelijk van de op dat moment beschikbare resultaten gepresenteerd. Wat uit de presentaties en discussies naar voren is gekomen, is de aandacht voor emissies van stoffen in het gebruik (functioneren) van munitie. Enerzijds de hoeveelheden die in het milieu terechtkomen (bijvoorbeeld ten gevolge van een onvolledige verbranding van kruiden), anderzijds de kleine deeltjes die zich vormen in de lucht en mogelijk een direct gevaar betekenen bij inademing. Het gehele spectrum van emissies en eventuele gevolgen is behandeld, de gevolgen voor het milieu (bodem door de US, lucht door Canada), de toxiciteit voor de mens door middel van CULTEX® (TNO) en proefnemingen op de mens (Noorwegen).

De programmaresultaten geven een goed beeld van de aard en omvang van de problematiek. Bij schietseries zowel binnen als buiten is materiaal gemonsterd en geanalyseerd. De grootste uitdaging is de minimale hoeveelheid monstermateriaal waarop analyse moet worden gedaan. Dit vergt het uiterste van de bestaande analysetechnieken. Door internationaal de resultaten te presenteren is er een brede discussie ontstaan over de aanpak, analyse, en kwantificering van munitie gerelateerde emissies. De volgende stap is de focus te leggen naar de mogelijke toxiciteits- (en dus gezondheids-)risico's. Dit wordt verder uitgewerkt in programma V1338 "Veiligheidsmanagement van militair-relevante toxische stoffen", welke in 2013 is opgestart, waarin ook de vele initiatieven met betrekking tot internationale samenwerkingen zijn ondergebracht.

De programmaresultaten en "lessons learned" worden ingebracht in het lopende programma V1338 (Veiligheidsmanagement van militair-relevante toxische stoffen), en geven een basis voor diverse lopende projecten en initiatieven, waarbij met name gezondheidsrisico's een rol spelen. De vertaalslag van wat de resultaten uit de verschillende emissiemetingen mogelijk betekenen voor de gezondheid van de gebruiker, worden verder onderzocht in V1338. Een aantal aanbevelingen die zijn aangegeven worden daar reeds opgepakt.

De gezondheid van militair personeel blijft een belangrijke voorwaarde voor elke militaire training en missie en de noodzaak voor de identificatie en kwantificering van de stoffen waaraan militair personeel wordt blootgesteld blijft van groot belang.

5 Referenties

- [1] (getekende) Bestedingsovereenkomst programma "Blootstellingsrisico's munitie-gerelateerde stoffen" (V1219), BS/2012001196, (TNO-060-DHW-2011-04749).
- [2] Eindrapport voor het werkpakket WP100: TNO 2013 R11476, V1219 WP100: "Munitie-gerelateerde emissies",
 , December 2013.
- [3] Eindrapport voor het werkpakket WP200: TNO 2013 R11500, "Evaluatie van (semi-kwantitatieve) meetmethoden voor emissies van munitie", J.
- [4] EDA TRACE-MI 'Toxicological Risk Assessment for Chemical Exposures of Military Interest'.
- [5] NATO/CSO/HFM-ET-128 'Health Risk Assessment for Chemical Exposures of Military Interest'.
- [6] NATO/CSO/SCI ET-008 'Guidelines for Toxicity Testing of Smokes, Obscurants, and Pyrotechnic Mixtures'.
- [7] NATO/CSO/SCI TG-273 'Guidelines for Toxicity Testing of Smokes, Obscurants, and Pyrotechnic Mixtures'.
- [8] AVT-ET XXX 'Risk management of exposure to ammunition-related compounds and combustion products thereof under operational conditions'.
- [9] Notulen kick-off meeting, 6 februari 2012, 12EM/314.
- [10] Flyer: Programme Summary, Ammunition-related substances.
- [11] Notulen klankbordoverleg V1219, 12 december 2012, 12EM/1204.
- [12] Notulen vierkantoverleg 6 maart 2012, 13 maart 2012, 12EM/427.
- [13] Notulen vierkantoverleg 5 juni 2012, 14 juni 2012, 12EM/667.
- [14] Notulen vierkantoverleg 23 oktober 2012, 29 oktober 2012, 12EM/1093.
- [15] Notulen vierkantoverleg 29 januari 2013, 5 februari 2013, 13EM/0071.
- [16] Notulen vierkantoverleg 28 mei 2013, 3 juni 2013, 13EM/0600.
- [17] Notulen vierkantoverleg 15 oktober 2013, 15 oktober 2013, 13EM/0938.
- [18] Analytical techniques for identification and quantification of combustion products of ammunition and their application to exposure assessment,
 , presentatie
 tijdens HETMC, 17-19 september 2013.
- [19] Innovation in Defense, 9+10 december 2013, einddag.

6 Ondertekening

Rijswijk, maart 2014

TNO

Research manager

Auteur

A Contactgegevens

CONTACTPERSONEN DEFENSIE		CONTACTPERSONEN TNO	
<i>rol</i>	Programmabegeleider (PBL)	<i>rol</i>	Programmaleider (PGL)
<i>naam</i>		<i>naam</i>	
<i>afd & functie</i>	Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid (CEAG), Toxicoloog	<i>afd & functie</i>	Afdeling Energetische materialen Wetenschappelijk medewerker TNO
<i>adres</i>	Postbus 185, 3940 AD, Doorn	<i>adres</i>	Lange Kleiweg 137, 2288 GJ, Rijswijk
<i>email</i>	@mindef.nl	<i>email</i>	@tno.nl
<i>tel</i>		<i>tel</i>	
<i>rol</i>	Defensie referent	<i>rol</i>	TNO referent
<i>naam</i>		<i>naam</i>	
<i>afd & functie</i>	Ministerie van Defensie /DMO/Directie Beleid/DR&D	<i>afd & functie</i>	TNO Defence Research, Business Line Manager Force Protection
<i>adres</i>	Postbus 20702, 2500 ES, Den Haag	<i>adres</i>	Lange Kleiweg 137, 2288 GJ, Rijswijk
<i>email</i>	@mindef.nl	<i>email</i>	@tno.nl
<i>tel</i>		<i>tel</i>	
<i>rol</i>	Projectbegeleider werkpakket 100	<i>rol</i>	Projectleider werkpakket 100
<i>naam</i>		<i>naam</i>	
<i>afd & functie</i>	Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid (CEAG), Toxicoloog	<i>afd & functie</i>	Materials Wetenschappelijk medewerker TNO
<i>adres</i>	Postbus 185, 3940 AD, Doorn	<i>adres</i>	Lange Kleiweg 137, 2288 GJ, Rijswijk
<i>email</i>	@mindef.nl	<i>email</i>	@tno.nl
<i>tel</i>		<i>tel</i>	
<i>rol</i>	Projectbegeleider werkpakket 200	<i>rol</i>	Projectleider werkpakket 200
<i>naam</i>		<i>naam</i>	
<i>afd & functie</i>	Kenniscentrum Wapensystemen en Munitie, Wetenschappelijk Analist	<i>afd & functie</i>	Research Group CBRN Protection, Wetenschappelijk medewerker TNO
<i>adres</i>	Legerplaats bij Oldebroek, Eperweg 149, 8084 HE, 't Harde	<i>adres</i>	Lange Kleiweg 137, 2288 GJ, Rijswijk
<i>email</i>	@mindef.nl	<i>email</i>	@tno.nl
<i>tel</i>		<i>tel</i>	
<i>rol</i>	Projectbegeleider werkpakket 300	<i>rol</i>	Projectleider werkpakket 300
<i>naam</i>		<i>naam</i>	
<i>afd & functie</i>	Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid (CEAG), Toxicoloog	<i>afd & functie</i>	Research Group CBRN Protection, Apotheker
<i>adres</i>	Postbus 185, 3940 AD, Doorn	<i>adres</i>	Lange Kleiweg 137, 2288 GJ, Rijswijk
<i>email</i>	@mindef.nl	<i>email</i>	@tno.nl
<i>tel</i>		<i>tel</i>	
<i>rol</i>	Projectbegeleider werkpakket 400	<i>rol</i>	Projectleider werkpakket 400
<i>naam</i>		<i>naam</i>	
<i>afd & functie</i>	Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid (CEAG), Toxicoloog	<i>afd & functie</i>	Wetenschappelijk medewerker TNO Research Group Energetic Materials
<i>adres</i>	Postbus 185, 3940 AD, Doorn	<i>adres</i>	Lange Kleiweg 137, 2288 GJ, Rijswijk
<i>email</i>	@mindef.nl	<i>email</i>	@tno.nl
<i>tel</i>		<i>tel</i>	

Distributielijst

Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport inclusief managementuittreksel.

- 1 BS/DS/DPLAN,

(alleen gedrukt exemplaar, distributie via Thema secretariaat IV met begeleidende afsluitbrief)
- 2 BS/DS/PLANNEN/K&I,

(gedrukt exemplaar inclusief cd-rom)
- 3 NLDA/Projectbureau K&I,

(gedrukt exemplaar inclusief cd-rom)
- 4 NLDA, Bibliotheek KMA
(alleen gedrukt exemplaar)
- 5 NLDA/Projectbureau K&I, Defensie Programma procesbegeleider,

6 Programmabegeleider Defensie, Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid (CEAG),

(inclusief digitale versie op cd-rom)
- 7 TNO, locatie Rijswijk,
Archief (losbladig)
- 8 Themamanager Force Protection
TNO, vestiging Rijswijk,
- 9 Expertise manager EM
TNO, vestiging Rijswijk,
- 10 Programmaleider TNO
TNO, vestiging Rijswijk,
- 11/12 Werkpakketleiders TNO
TNO, vestiging Rijswijk,
- 13 TNO, vestiging Den Haag

Onderstaande instanties/personen ontvangen het managementuittreksel en de distributielijst van het rapport.

- 4 ex. DMO/SC-DR&D
- 1 ex. DMO/ressort Zeesystemen
- 1 ex. DMO/ressort Landsystemen
- 1 ex. DMO/ressort Luchtsystemen
- 2 ex. BS/DS/DOBBP/SCOB
- 1 ex. MIVD/AAR/BMT
- 1 ex. Staf CZSK
- 1 ex. Staf CLAS
- 1 ex. Staf CLSK
- 1 ex. Staf KMar