

TNO PUBLIEK

Defence, Safety & SecurityKampweg 55
3769 DE Soesterberg
Postbus 23
3769 ZG Soesterbergwww.tno.nl

T +31 88 866 15 00

TNO-rapport**TNO 2020 R10774 | Eindrapport****Eindrapportage V1605 Soldier Optimal Load
Assessment Research (SOLAR)**

Datum	mei 2020
Auteur(s)	A.A. Woering
Rubricering rapport	TNO Publiek
Vastgesteld door	LtKol Z. Hommersom
Vastgesteld d.d.	april 2020
Titel	TNO Publiek
Managementuittreksel	Niet van toepassing
Samenvatting	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Bijlagen	TNO Publiek
Oplage	6
Aantal pagina's	59 (incl. bijlage, excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	5

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

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

© 2020 TNO

TNO PUBLIEK

Samenvatting

In het vraaggestuurde onderzoeksprogramma V1605 SOLAR, Soldier Optimal Load Assessment Research werd onderzoek verricht naar de fysieke en cognitieve belasting van de militair en een omgeving waarin evaluatie van deze belasting op een operationeel relevante manier kan worden vastgesteld. Deze evaluatieomgeving bestaat uit verschillende modellen, experimentele opstellingen en experimentele methodes.

Het onderzoek in het programma heeft plaatsgevonden in drie belangrijke thema's, t.w. thermofysiologie ofwel de belasting door hitte en koude, agility ofwel de prestatie bij (hoge) fysieke belasting en cognitieve belasting. Op alle drie deze thema's werd analytisch, modelmatig en experimenteel onderzoek verricht. Tegelijkertijd werd ook de combinatie gemaakt tussen fysiek en cognitief presteren en fysieke en cognitieve belasting. In die overlap zijn voornamelijk enkele interessante experimentele studies uitgevoerd, veelal in samenwerking met één of meer universiteiten.

Het programma heeft een behoorlijk aantal tools, modellen en technieken opgeleverd die voor Defensie gebruikt worden of gebruikt kunnen worden. Voorbeelden hiervan zijn de thermische software SCOPE Thermal voor het berekenen van de thermische belasting door kleding (en uitrusting), de Agility Run voor het vaststellen van de invloed van kleding en uitrusting op wendbaarheid, de hittewijzer.nl die helpt bij het plannen van oefeningen (in de warmte) en de Mixed Reality omgeving waarin de cognitieve belasting van (nieuwe) technologie kan worden bepaald. Dit is slechts een deel van de tools en inzichten die door het programma zijn opgeleverd. Al met al voldoen de behaalde resultaten in belangrijke mate aan de doelstellingen die bij aanvang waren gesteld.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Afkortingen.....	4
1	Inleiding	5
2	Programma-inhoud.....	6
2.1	Probleemcontext.....	6
2.2	Probleemstelling	7
2.3	Programmacontext	7
2.4	Defensiedoelstelling.....	8
2.5	Programmadoelstelling.....	8
2.6	Onderzoeksvragen	8
3	Programmaresultaten.....	10
3.1	Overzicht onderzoeksvragen en bereikte resultaten	10
3.2	Bijdrage aan de Defensieproblematiek.....	10
3.3	Appreciatie van de programmaresultaten.....	10
3.4	Ontwikkelingen en aanbevelingen	11
4	Dreigings- en omgevingsanalyse (WP1)	13
4.1	Dreigings- en omgevingsanalyse	13
4.2	Omgevings- en dreigingsanalyse integrale belasting.....	13
4.3	Internationale samenwerking.....	13
4.4	Verkenning modellen en uitgangspunten	14
5	Modelomgeving: Modelleren en voorspellen belasting (WP2)	16
5.1	Modelomgeving	16
5.2	Modelleren van fysieke prestatie	17
6	Kwantificering van belasting en belastbaarheid (WP3).....	27
7	SOLAR use cases (WP4).....	38
8	Programmamanagement	44
8.1	Programmamanagement en disseminatie.....	44
9	Verantwoording	45
9.1	Realisatie programmadoelstellingen	45
9.2	Organisatie en communicatie	45
9.3	Evaluatie en Lessons learned	46
	Bijlage(n)	
	A Financiële rapportage	
	B Conferentiebijdragen	
	C Resultaten en verslaglegging	
	D Disseminatie van thermofysiologie in SOLAR	
	E Quantifying mental effort in heart rate during a thermal challenge	

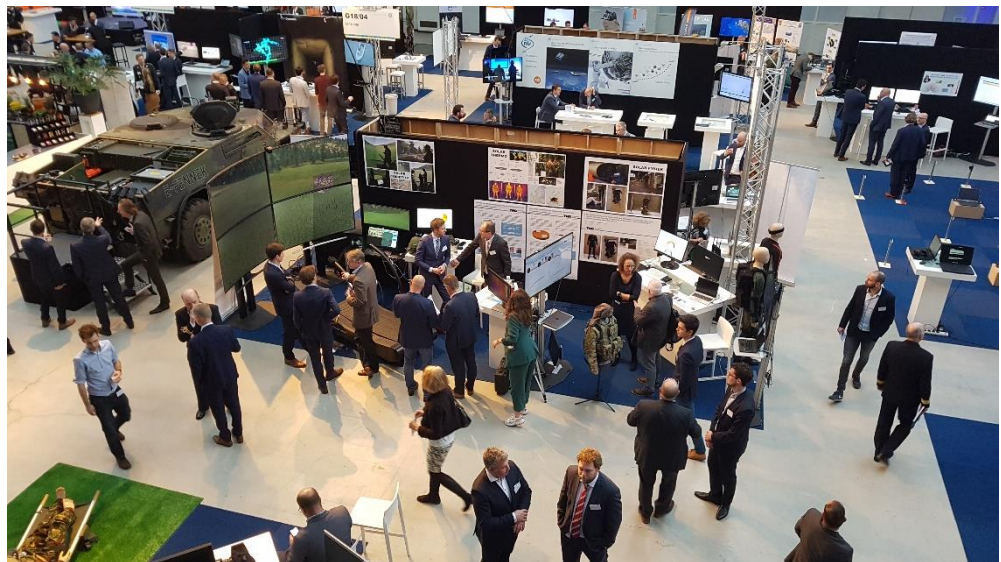
Afkortingen

ACSM	American College of Sports Medicine
ACT-R	Adaptive Control of Thought - Rational, modelling software
AR	Augmented Reality
BBN	Bayesian Belief Network
CLAS	Commando Landstrijdkrachten
C-LEAP	Cognitive Load Effects Assessment Program
DEC M&U	Defensie Expertise Centrum Militair en Uitrusting
DOKS	Defensie Operationeel KledingSysteem
DPLAN/K&I	Directie Plannen/Kennis & Innovatie
DRDC	Defence Research and Development Canada
ELOT	End Life of Type
EVO	Effectief en Veilig Optreden
FPC	Fiala thermal physiology and comfort
KKW SIM	Klein caliber wapen simulator
KMARNS	Koninklijke Mariniers
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KPU-bedrijf	Kleding en Persoonlijke Uitrustingsbedrijf
LCGDSS	Land Capability Group Dismounted Soldier Systems
LEAP	Load Effect Assessment Program
LVO	Landmacht van Overmorgen
LWC	Land Warfare Center
MTR	Mid Term Review
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NLD	Nederland
PA	Project Arrangement
PGB/PGL	Programmabegeleider/programmaleider
PGU	Persoonlijke gevechtsuitrusting
PHS	Predicted Heat Strain
PPO	Periodiek Programma Overleg
RTG	Research Task Group
SA	Situation Awareness
SOLAR	Soldier Optimal Load Assessment Research
SWE	Sweden/Zweden
TGTF	Trainingsgeneeskunde/trainingsfysiologie
TNO OHF	TNO Operations & Human Factors
TTCP	The Technical Cooperation Programme
TU/e	Technische Universiteit Eindhoven
VOSS	Verbeterd Operationeel SoldaatSysteem
WBGT	Wet Bulb Globe Temperature
WET	Wet equivalent Temperature
WP	Werkpakket

1 Inleiding

In 2016 werd het vierjarige onderzoeksprogramma V1605 Soldier Optimal Load Assessment Research (SOLAR) gestart. Dit rapport kijkt terug op het verloop, de uitvoering en de resultaten van dit programma.

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de inhoud van het onderzoeksprogramma. De tekst in dit hoofdstuk is grotendeels identiek aan de tekst in de bestedings-overeenkomst. Op onderdelen is deze geactualiseerd. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten uit de verschillende projecten, werkpakketten (WP) en werkzaamheden. In hoofdstuk 4 wordt nader ingegaan op de betekenis die deze resultaten hebben voor Defensie en hoe zij bijdragen aan de Defensie doelstellingen. Ook beschrijft hoofdstuk 4 het organisatorische en administratieve verloop van het programma.



Figuur 1 V1605 SOLAR stand Innovation in Defence, December 2019.

2 Programma-inhoud

In dit hoofdstuk wordt grotendeels de tekst uit de bestedingsovereenkomst V1605 overgenomen. Alleen waar nodig is de tekst aangepast om recht te doen aan voortschrijdend inzicht.

Het Land Warfare Centre (LWC) verricht onderzoek naar de karakteristieken van toekomstige conflicten, wat dit betekent voor het toekomstige landoptreden en welke trends en ontwikkelingen het toekomstige landoptreden zullen beïnvloeden. Uit nationaal en internationaal onderzoek blijkt dat ontwikkelingen zoals de fundamentele onzekerheid, het toenemende verandertempo en de toenemende complexiteit van conflicten tot een hogere belasting van de militair leiden. Naar de invloed van afzonderlijke ontwikkelingen op fysieke, cognitieve of mentale belasting is al veel onderzoek gedaan. Dit programma richt zich op het onderkennen van de invloed van een set van ontwikkelingen op de totale belasting van de militair en de maatregelen waarmee deze belasting kan worden geoptimaliseerd.

Omdat VOSS (Verbeterd Operationeel Soldaat Systeem) vanaf 2016¹ ingevoerd wordt en de ontwikkelingen op gebied van C4I erg snel gaan, moet in bovengenoemde zin tijdig over het volgende soldaatsysteem nagedacht worden. Op het gebied van de conceptuele component wordt de individuele soldaat voor het CLAS (Commando Landstrijdkrachten) steeds belangrijker. In de LVO (Landmacht van Overmorgen) staat de effectiviteit en adaptiviteit van de soldaat centraal. Het is hoogstnoodzakelijk om alle technologische middelen te blijven afstemmen op het cognitieve vermogen van de soldaat.

Op gebied van bescherming wordt de soldaat momenteel met name beschermd tegen de klassieke dreiging (hoofd, torso tegen scherven en kogels), en onvoldoende tegen de meest voorkomende dreiging (blastwerking explosieven). De bescherming moet dus up-to-date gemaakt worden en tevens voldoen aan gewichtsreductie en het vergroten van de mobiliteit en adaptiviteit.

2.1 Probleemcontext

Het zoeken naar een balans tussen fysieke belasting en fysieke bescherming van de militair was de rode draad binnen het onderzoeksprogramma Effectief en Veilig Optreden (V1215 EVO). Dit programma resulteerde in methodes waarmee Defensie beide aspecten in kwantitatieve zin kan afwegen. Het cognitieve en mentale domein is hierbij buiten beschouwing gelaten hoewel bekend is dat fysieke belasting zeker van invloed is op cognitieve vaardigheden.

Binnen het TNO Defensieproject Cognitieve Werkbelasting Soldaatoptreden (V1117, 2014) is de problematiek rondom cognitieve werkbelasting van gevechtsgroepen verkend. Naast een bundeling van de beschikbare (inter-) nationale kennis over dit onderwerp zijn er casussen verzameld middels semigestructureerde interviews, workshops en veldexperimenten met militairen met operationele ervaring. Het project laat zien dat meerwaarde wordt gerealiseerd door de problematiek niet alleen vanuit het cognitieve domein te benaderen, maar ook het fysieke en mentale domein te betrekken, juist vanwege de sterk wisselende omstandigheden waarin eenheden moeten opereren. Door de kennis vanuit de

¹ Inmiddels wordt de invoering in 2020 verwacht.

verschillende domeinen te bundelen en te integreren kunnen betere voorspellingen worden gedaan over “wanneer/in welke situaties een te grote belasting zal optreden”. De integrale benadering leidt tot inzicht in het effect van interventies in de verschillende domeinen en biedt daardoor meer aanknopingspunten om de belasting onder controle te houden, zowel op het gebied van materieel, als in selectie, opleiding en training van militairen.

2.2 Probleemstelling

De fundamentele onzekerheid, het toenemende verandertempo en de toenemende complexiteit van conflicten zullen de militair zowel in het cognitieve, fysieke en mentale domein zwaarder belasten. Defensie heeft onvoldoende inzicht in de integrale effecten van deze ontwikkelingen en de effectiviteit van mogelijke interventies om de operationele prestatie van de militair in toekomstige conflicten op niveau te houden.

Kennisopbouw is daarom nodig om de volgende kernvraag te beantwoorden: Welke interventies houden de fysieke, cognitieve en mentale belasting en belastbaarheid van de militair in balans en de operationele prestatie op peil?

2.3 Programmacontext

Het programma bouwde voort op eerder werk binnen TNO en Defensie. Belangrijke voorgangers zijn:

V1135 Small Arms Next Generation: voor de ideale wapenmix opties: verkenning van inzetopties met passende mix aan wapensystemen;

V1215 Effectief en Veilig Optreden: vooral de wijze van het bouwen van het beslismodel kan hier worden hergebruikt, doorontwikkelen van de kennis op het gebied van fysieke belasting;

V1117 Vergroten Mentale Veerkracht: kennis met betrekking tot invloedfactoren van cognitieve werkbelasting en het verhogen van de mentale belastbaarheid;

V1216 Superieure Situation Awareness: hier werd de state of the art op het gebied van mobiele technologie voor soldaten (soldier apps) in kaart gebracht;

V205 Soldaateffectiviteit: Ontwikkeling van een eerste integrale visie op een soldaatsysteem (2002-2006) met name over de invloed van gebruikte systemen op situation awareness en het verbeteren van ergonomie van draagsysteem.

V929 Smart Operations: kennis met betrekking tot de relevantie van informatie;

V707 Soldaatoptreden: Situation Awareness ontwikkeling, mitigeren van hoge fysieke last.

V801 Effectieve Opleiding en Training: het ontwikkelen van (leer)oplossingen ten behoeve van zelfsturend leren onafhankelijk van tijd en plaats, effectief gebruik van lessons learned, defensiebrede opleidingsontwikkeling, en optimaal gebruik van trainings simulatie en serious gaming.

V1212 Opleiden en Trainen voor Gereedstelling Dynamische Teams: kennis over het optimaal ondersteunen van teams die in steeds veranderende omstandigheden optreden.

V1229 Militair prestatievermogen: Optimalisatie van fysieke inzet van militairen door middel van modelleren, meten en voorspellen.

2.4 Defensiedoelstelling

Dit programma draagt direct bij aan het strategisch belang van Defensie voor veilig en effectief optreden. Om zowel effectief, efficiënt als veilig te kunnen optreden moet de belasting die militairen ervaren en de belasting die de militair in de specifieke operationele context aankan, in balans worden gehouden. Daarom heeft Defensie behoefte aan een methodologie waar beslissingen over taakstelling, inzet van systemen, individuele militairen en eenheden op gebaseerd kunnen worden en de consequenties voor materieelverwerving, systeemontwerp, werving, selectie, opleiding en training voor militairen inzichtelijk gemaakt kunnen worden.

De methodologie/model/evaluatieomgeving ondersteunt Defensie om:

- een systeemvisie op de problematiek rondom integrale belasting (fysiek en cognitief) ontwikkelen;
- te schakelen tussen configuraties van taken, systemen en mensen;
- vanuit een integrale aanpak te komen tot een optimale regulering en voorspelling van belasting voor de toekomstige militair.

Door de diverse invloedfactoren (missie/taak, systemen, context en persoon en uitrusting) in relatie tot elkaar in operationele situaties te toetsen, sluit de modelomgeving goed aan bij de praktijksituaties die militairen ondervinden. De uiteindelijke doelstelling van dit programma is Defensie inzicht te geven in de optimale configuraties van de combinatie van systemen (soldaat en uitrusting en bescherming), taken en persoonskenmerken die gebruikt kunnen worden onder verschillende operationele omstandigheden. Door kennis van optimalisatie van fysieke, mentale en cognitieve belasting neemt inzetbaarheid en dus effectiviteit van de militair en tevens eenheden toe en neemt personele uitval tijdens opleiding, training en operationele inzet af.

2.5 Programmadoelstelling

Het programma beoogt het in kaart brengen van de samenhang tussen o.a. fysieke, cognitieve en in beperkte mate mentale kenmerken van de individuele militair en het gebruik van uitrusting en bescherming en de invloed daarvan op operationeel optreden (inzettijd, Situation Awareness (SA), uitval). Uiteindelijk zal dit moeten leiden tot beter voorbereide en toegeruste militair.

2.6 Onderzoeksvragen

Op basis van de Defensiedoelstelling, moeten in het onderzoek de volgende drie hoofdonderzoeksvragen worden beantwoord:

1. Wat zijn de bepalende factoren voor de fysieke, cognitieve (en mentale) belasting en hun onderlinge relatie en de verwachte effecten op de operationele prestatie?
2. Welke ontwikkelingen (bijvoorbeeld operationeel, technologisch, ethisch etc.) hebben invloed op deze factoren en wat is die invloed?
3. Welke bruikbare inzichten zijn te destilleren voor toekomstige interventies en mitigaties?

De ambitie is om hoogwaardig onderzoek te verrichten om Defensie te voorzien van de juiste kennis, vaardigheden en infrastructuur op die vlakken die bijdragen aan het domein soldaatbescherming en optimale inzetbaarheid. Er zal met name worden ingezet op de integratie van fysieke, cognitieve (en in bescheiden mate mentale belasting) als ook op kennisonderhoud en ontwikkeling op een aantal specifieke speerpunten.

Het programma is onderverdeeld in de volgende vier werkpakketten (WP):

WP1 Dreigings- en omgevingsanalyse.

WP2 Modelomgeving: Modelleren en voorspellen belastbaarheid.

WP3 Kwantificering van belasting en belastbaarheid.

WP4 Use cases.

Naast de procesmatige werkpakketstructuur is vroeg in het programma besloten tot een drietal inhoudelijke pijlers:

- Thermofysiologie, belasting door hitte en kou;
- Agility, wendbaarheid onder fysieke belasting;
- Cognitieve belasting.

Vanzelfsprekend werd, zoals aangegeven in de bestedingsovereenkomst ook gekeken naar interactie en integrale aspecten.

3 Programmaresultaten

3.1 Overzicht onderzoeksvragen en bereikte resultaten

In de bestedingsovereenkomst worden de volgende onderzoeksvragen vermeld:

- Wat zijn de bepalende factoren voor de fysieke en cognitieve belasting en hun onderlinge relatie en de verwachte effecten op de operationele prestatie?
- Welke ontwikkelingen (bijvoorbeeld operationeel, technologisch, ethisch etc.) hebben invloed op deze factoren en wat is die invloed?
- Welke bruikbare inzichten zijn te destilleren voor toekomstige interventies en mitigaties?

Deze onderzoeksvragen zijn vertaald naar een viertal inhoudelijke werkpakketten die bijdragen aan de beantwoording van de globale onderzoeksvragen.

De resultaten van deze werkpakketten worden beschreven in de hoofdstukken 4 tot en met 7. Het resultaat van het programmamanagement wordt beschreven in hoofdstuk 8.

3.2 Bijdrage aan de Defensieproblematiek

De fysieke belasting op militairen is door de eeuwen heen alleen maar gestegen. Met name de laatste honderd jaar is deze explosief gegroeid, met alle operationele en gezondheidsconsequenties van dien. Ook voor de cognitieve belasting zal dit in de toekomst gaan gelden, gegeven de sterke stijging van C4I-middelen en toenemende complexiteit van andere uitrusting.

Om dergelijke problemen en verwachtingen het hoofd te bieden heeft Defensie een gedegen inzicht nodig in de omvang van de invloed van belasting op presteren en op de balans tussen de positieve effecten van uitrusting, immers het wordt niet voor niets meegedragen, en de negatieve effecten.

Het programma draagt rechtstreeks bij aan deze twee doelstellingen.

De verschillende experimentele opstellingen en demonstrators die in het programma ontwikkeld zijn, zijn voor Defensie beschikbaar om de operationele consequenties te evalueren en te kwantificeren, zowel voor fysiek presteren als voor cognitief presteren. Voorbeelden hiervan zijn de Agility Run, de Mixed Reality omgeving, de Cognitive LEAP-hindernissen etc.

Daarnaast zijn er verschillende modellen ontwikkeld om bij te dragen aan de systeemvisie met betrekking tot belasting. Deze modelvorming, gericht op taakprestatie, is ook beschikbaar voor Defensie. Voorbeelden zijn [hittewijzer.nl](#) en [koudewijzer.nl](#), het massa/volume/stijfheid-model voor fysieke operationele prestatie en de nieuwe release van SCOPE Thermal V3.1 Anorak.

3.3 Appreciatie van de programmaresultaten

In de hoofdstukken **Error! Reference source not found.** tot en met 7 wordt uitgebreid ingegaan op de verschillende resultaten van het programma. In deze paragraaf wordt kort teruggeblikt op de onderzoeksvragen en de mate waarin deze zijn beantwoord of vervuld.

Wat zijn de bepalende factoren voor de fysieke en cognitieve belasting en hun onderlinge relatie en de verwachte effecten op de operationele prestatie?

Fysieke belasting is een onderwerp waar al veel kennis over is. Met name de mobiliteit van duurbelasting is veelvuldig onderzocht en ook is er de nodige ervaring met range of motion testen. Veel minder onderzocht is de zgn. agility, de mobiliteit gekoppeld aan snelle, onverwachte bewegingen, zoals in dekking gaan, vuur en bewegen etc. Deze agility is uitgebreid onderzocht in het programma. Ook de kennis van warmtebelasting, van grote invloed op presteren, is vergroot binnen het programma en er is expliciet de koppeling gemaakt tussen warmtebelasting en cognitie. Voor cognitie geldt dat er op het gebied van uitgestegen militairen veel minder ervaring was en dat veel kennis opgebouwd moest worden. Een cognitieve taakanalyse, het aanpassen van cognitieve taken naar militair relevante varianten en de ontwikkeling van cognitieve modellen (gekoppeld met warmtebelasting) heeft tot verschillende inzichten en kennis geleid met betrekking tot cognitief presteren en de factoren die cognitief presteren beïnvloeden.

Welke ontwikkelingen (bijvoorbeeld operationeel, technologisch, ethisch etc.) hebben invloed op deze factoren en wat is die invloed?

In verschillende experimenten zijn moderne technische ontwikkelingen ingezet om de invloed daarvan op het presteren en de onderliggende factoren te onderzoeken. De fysieke prestatie werd onderzocht met de introductie van VOSS in het achterhoofd. Fysieke prestatie werd onderzocht op de juist door Defensie aangeschafte Load Effects Assessment Program (LEAP). Cognitieve belasting werd vooral onderzocht in relatie tot nieuwe middelen en nieuw optreden dat die middelen teweeg zou brengen.

De basis voor de ontwikkelingen werd gelegd in WP1 Omgevings- en dreigingsanalyse integrale belasting resulterend in het rapport: TNO 2016 R10830 "SOLAR Trend analysis and scenarios"

Welke bruikbare inzichten zijn te destilleren voor toekomstige interventies en mitigaties?

Op basis van de opgebouwde kennis werden verschillende modellen en tools gebouwd die rechtstreeks door Defensie kunnen worden ingezet. Voorbeelden daarvan zijn de hittewijzer.nl waarmee advies wordt gegeven over de risico's van hittebelasting op basis van een weersverwachting. Het massa/volume/stijfheid-model geeft zeer bruikbare handvatten voor de nadelige effecten van uitrusting. De mixed reality omgeving biedt de mogelijkheid om verschillende C4I technologieën te evalueren en inzicht te krijgen in de bruikbaarheid van deze technologie en andere interventies.

3.4 Ontwikkelingen en aanbevelingen

Sinds begin 2016 is er een hoop veranderd. Nederland heeft de missie in Mali beëindigd zonder dat er zicht is op een operationele missie in de nabije toekomst. Daarnaast wordt het project VOSS in 2020 uitgerold, waarmee het Nederlandse soldaatsysteem een feit is. Zeer kort daarna volgt de uitrol van het project DOKS (Defensie Operationeel Kleding Systeem) waarmee ook de helm en het kleding-systeem vernieuwd is. Hiermee bestaat de kans dat de druk op innovatie van soldaatuitrusting afneemt. Immers, er is geen operationele druk en met VOSS en DOKS kunnen we toch jaren vooruit?

Niets is echter minder waar. Doorontwikkeling blijft een cruciale rol spelen bij de effectiviteit van de krijgsmacht. Niet alleen technisch, maar ook operationeel en in interactie met de gebruiker. Immers toename van middelen leidt tot steeds stijgende fysieke belasting en in veel gevallen ook tot stijgende cognitieve belasting. Toevoegen van nieuwe technologie is ook in de toekomst onontkoombaar en juist in een gebalanceerd systeem als VOSS is het van cruciaal belang om het overkoepelende beeld te blijven beschouwen en fysieke en cognitieve belasting in kaart te brengen. Immers de voordelen van middelen moet altijd opwegen tegen de nadelen. Blijvende investering in de systeemsoldaat (systeem en soldaat in interactie) is derhalve geboden.

3.4.1 *Begeleiding vanuit Defensie*

Cruciaal voor het welslagen van een onderzoeksprogramma is de beschikbaarheid van adequate begeleiding. Het programma V1605 bevond zich in de gelukkige omstandigheid dat de begeleiding plaatsvond door het Defensie Expertise Centrum Militair en Uitrusting (DEC M&U). Aanvullende begeleiding en ondersteuning werd gevonden bij de afdeling Trainingsgeneeskunde en trainingsfysiologie (TGTF) en het Kleding- en Persoonsgebonden Uitrustingsbedrijf (KPU-bedrijf). Tijdens de onderzoeken werd de actieve bijdrage van de eenheden van het Commando Landstrijdkrachten en in het bijzonder Koninklijke Mariniers zeer gewaardeerd. Het draagvlak voor het TNO-werk bij de operationele eenheden is van groot belang en zorgt daarnaast voor veel voldoening bij onderzoekers van TNO.

4 Dreigings- en omgevingsanalyse (WP1)

4.1 Dreigings- en omgevingsanalyse

WP1 bestaat uit de combinatie van analyse van welke ontwikkelingen mogelijk zullen plaatsvinden en welke invloed deze ontwikkelingen zullen hebben op het cognitief/fysiek functioneren van de militair en internationale samenwerking met betrekking tot met name fysieke en cognitief presteren.

4.2 Omgevings- en dreigingsanalyse integrale belasting

Bij de start van het programma was er behoefte aan een beschrijving en analyse van taken, omstandigheden en scenario's die relevant zijn voor het (toekomstige) optreden van militairen en die zicht geven op de fysieke en cognitieve belasting die deze omstandigheden met zich mee brengen. Het project Omgevingsanalyse was bedoeld om een kader te scheppen voor de werkzaamheden die in het programma zouden volgen.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2016 R10830, GAASBEEK, R. & OERLEMANS, H. "SOLAR Trend analysis and scenarios".

4.3 Internationale samenwerking

In WP1 was beperkt ruimte gereserveerd voor Internationale samenwerking. Voor een deel betrof dat lopende verplichtingen. Later in het programma beperkte het zich tot enkele activiteiten die sterk aansloten bij de doelstellingen van V1605. WP1 voorzag in de kosten van het bezoeken van internationale meetings en de uitwisseling van data/resultaten en modellen. Inhoudelijke bijdragen aan internationale fora werd uit andere projecten en programma's gefinancierd of uit een ander werkpakket binnen SOLAR.

Verschillende lopende activiteiten

Het project dekt de kosten van een aantal bezoeken in het kader van lopende verplichtingen.

- HFM 234 "Framework for Modeling and Simulation of Human Lethality, Injury, and Impairment from Blast-Related Threats", eindigde in juni 2016. Het betrof hier een lopende internationale verplichting.
- HFM270 "A Survey of Blast Injury across the Full Landscape of Military Science": Het betrof hier een lopende internationale verplichting.
- SAS 107 "Factoring Situational Awareness and Communications in Operational Models of Dismounted Combat": Het betrof hier een lopende verplichting.

HFM-RTG-238 Soldier burden

Activiteiten in deze Human Factors and Medicine Research Task Group (HFM-RTG) lopen van de start van het programma tot aan de herfst 2017 (gepland en gebudgetteerd tot eind 2016). De internationale verplichting m.b.t. deze RTG werd gecontinueerd vanuit V1215.

Project Arrangement CAN/NLD/SWE 2017-01 “INTEGRATION of PHYSICAL and COGNITIVE BURDEN”

Binnen het SOLAR-programma werd actief gewerkt aan de totstandkoming van een Project Arrangement (PA) in het kader van de samenwerking tussen Canada (CAN), Nederland (NLD) en Zweden (SWE). Verschillende PA-meetings, met name tussen Defence Research and Development Canada (DRDC) en TNO hebben plaatsgevonden gedurende de looptijd van het SOLAR-programma. De PA behelst vooral activiteiten die in SOLAR gepland waren. In WP1 worden slechts de kosten van het in stand houden van de PA gedekt.

HFM-ET-181/HFM-RTG-319 Measuring the Cognitive Load on the Soldier

Ten behoeve van de oprichting van deze RTG werd bijgedragen aan deze NATO (North Atlantic Treaty Organization) activiteit. De activiteiten van deze RTG lopen enigszins parallel met de activiteiten uit de CAN/NLD/SWE project arrangement. Daar waar mogelijk werden bijeenkomsten afgestemd.

SAS-RTG-145 Soldier system Weapon & Equipment Assessment Tool

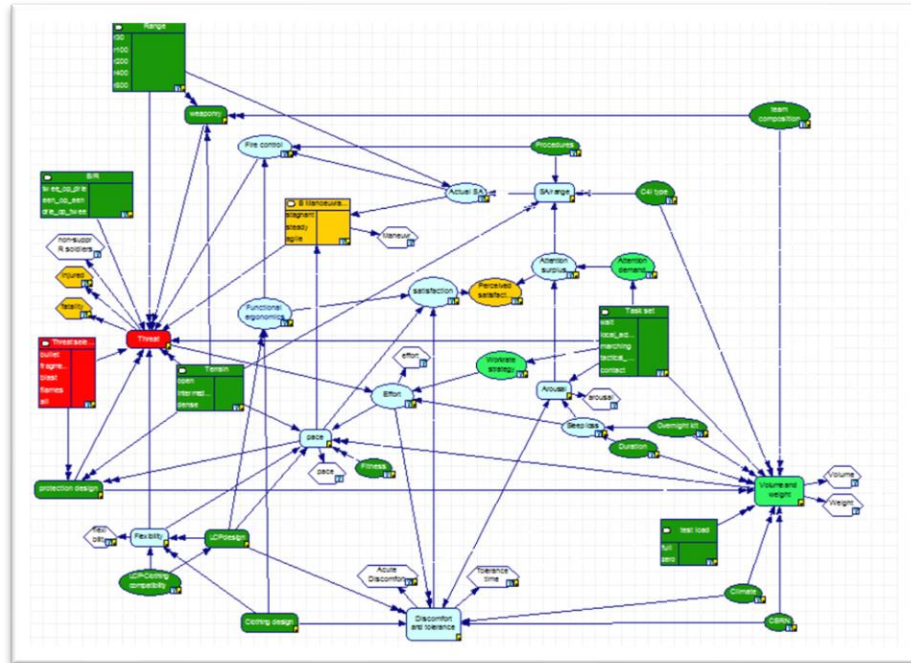
Op verzoek van Defensie werd bij de Mid Term Review (MTR) van het programma besloten om deel te nemen aan SAS-RTG-145. Het doel van deze RTG is om de schietprestatie, letaliteit en survivability van uitgestegen soldaten, i.c.m. uitrusting, wapen etc., te meten en te analyseren. Eén van de belangrijkste speerpunten van de RTG is het ontwikkelen van een assessment en evaluatie-omgeving, bij voorkeur geïnspireerd of afgeleid van de LEAP (Load Effect Assessment Program). Inhoudelijke ondersteuning voor deze RTG kwam uit de reguliere SOLAR werkpakketten.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- NATO HFM RTG-238, “Reducing the Burden on the Dismounted Soldier”, 2019, STO-TR-HFM-238.
- CAN/NLD/SWE, “Project arrangement Integration of physical and cognitive burden”, 2017.

4.4 Verkenning modellen en uitgangspunten

Als onderdeel van de analyse van de omgeving werd een inventarisatie uitgevoerd van eerder (TNO-) werk en de mate waarin dat werk nog relevant is, naar werk van internationale peers en naar werk in vergelijkbare maar andere domeinen. Het literatuuronderzoek was gericht op modellen (zie bijvoorbeeld Figuur 2) m.b.t. fysieke en cognitieve prestatie. Activiteiten in dit werkpakket omvatten het opzetten van een literatuur database van TNO-literatuur en externe literatuur, verkenning van relevante bestaande militaire (onderzoeks) scenario's en van het type klantvragen waarvoor onderzoekstools moeten worden opgebouwd.



Figuur 2 Evolution operations research model uit V1205 als voorbeeld van relevant, recent modellerwerk m.b.t. uitgestegen militair optreden (2016).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2018 R10250, WOERING, A.A. “V1605 Model Inventory”.

5 Modelomgeving: Modelleren en voorspellen belasting (WP2)

Eén van de belangrijkste ingrediënten bij het vaststellen van belasting is het modelleren van relaties, het samenstellen van meerdere modellen en het voorspellen van belasting onder diverse omstandigheden.

Modelomgeving van submodellen, factoren en hun onderlinge relaties. Inrichting van een samenhangende modelomgeving ten behoeve van integrale belasting.

WP 2.1 Modelomgeving

WP 2.2 Modelleren fysieke belasting en taakprestatie

WP 2.3 Modelleren cognitieve belasting en taakprestatie

WP 2.4 Interactie fysieke/cognitieve belasting

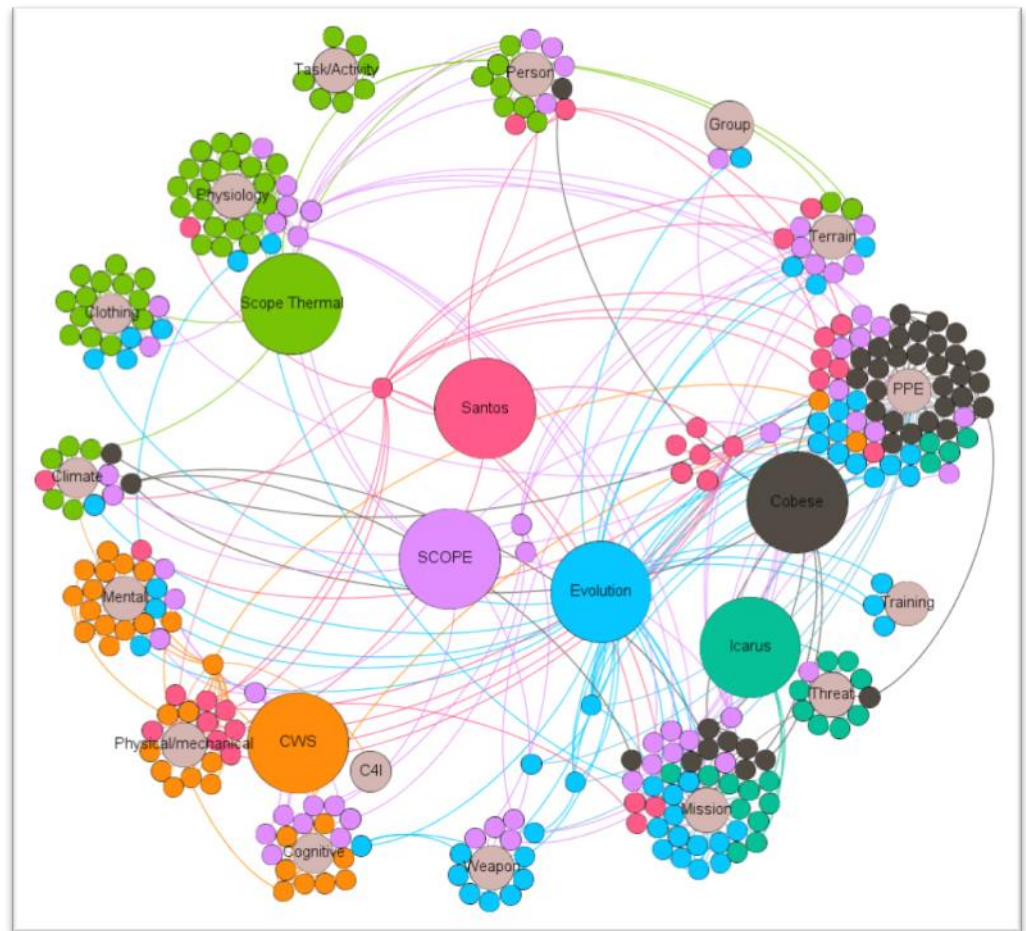
WP 2.5 Operationele prestatie

WP 2.6 Modelintegratie

5.1 Modelomgeving

Naast de verkenning van bestaande modellen en bestaande literatuur werd bij aanvang van SOLAR vastgesteld aan welke operationele, functionele en technische eisen en wensen de uiteindelijke evaluatie- en modelomgeving zou moeten beantwoorden. Eveneens werd vastgesteld waar de hiaten in of tussen de huidige modellen bestaat en in welke mate de variabelen in de verschillende beschikbare modellen hetzelfde betekenen en representeren. Er werd ten behoeve van verder werk in SOLAR een wiki met alle onderzochte modellen ingeicht op het TNO-sharepoint, met behulp van de grafische tool Gephi (Figuur 3) werd onderzocht in welke mate verschillende modellen mogelijk met elkaar samenhangen, waar ze variabelen delen en hoe modellen ten opzichte van elkaar gepositioneerd staan. Eveneens werd in 2016 een eerste en voorlopige keuze gemaakt voor verdere bestudering en ontwikkeling van de volgende modellen:

- ICARUS (bescherming);
- SANTOS (ergonomie);
- SCOPE Light (thermisch);
- Cobese (prestatie);
- Act-R (cognitie).



Figuur 3 Relevante modellen in samenhang (2016) als voorbeeld van resultaat uit het project Modelomgeving.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2018 R10250, WOERING, A.A., “V1605 SOLAR Model Inventory”.

5.2 Modelleren van fysieke prestatie

Fysieke prestatie vormt een belangrijke randvoorwaarde voor het operationeel presteren van uitgestegen militairen. Om het onderzoek in SOLAR te stroomlijnen werd aan het begin van het programma een aantal onderzoekspijlers vastgesteld. In de loop van 2016 werd op basis van de bestedingsovereenkomst besloten tot de volgende drie inhoudelijke pijlers:

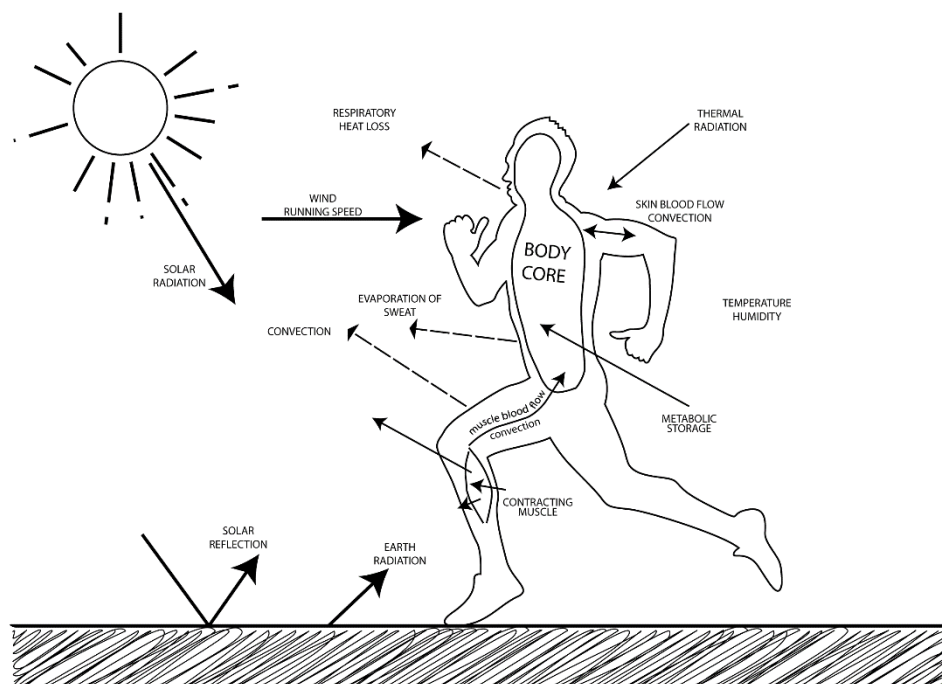
1. Thermofysiologie;
2. Agility, mobility en fysiek presteren;
3. Cognitieve taakanalyse.

Een verdere activiteit is vervolgens de integratie van de bovenstaande pijlers. Integratie is hier niet bedoeld als volledige, diepe integratie, maar het verbinden van de raakvlakken tussen modellen, modelonderdelen etc.

In de volgende paragrafen worden achtereenvolgens modelvorming van thermofysiologie (paragraaf 5.2.1), agility (paragraaf 5.2.2) en cognitie (paragraaf.5.2.3) beschreven.

5.2.1 Modelleren van fysieke prestatie: Thermofysiologie

Gegeven de hoge inspanningsniveaus, de grote hoeveel uitrusting en daarmee de vele lagen isolatie en extreme omstandigheden maakt dat uitgestegen militairen met grote regelmaat worden blootgesteld aan bovenmatige hitte of koude (Figuur 4). Daarmee is het presteren in hitte en koude van blijvend belang voor de fysieke, maar ook cognitieve prestatie van de militair.



Figuur 4 Warmteoverdracht tussen mens en omgeving.

Vergelijking van de modellen Scope Thermal en FPC

Thermische belasting is het resultaat van hoge warmteproductie door intensieve arbeid, door warme en vochtige klimaatomstandigheden en door hoge warmte-weerstand in militaire kleding en uitrusting. In eerdere onderzoeksprojecten en programma's werd de thermische software THDYN/SCOPE thermal ontwikkeld. Om de vaardigheid met deze software op peil te brengen en tegelijkertijd te toetsen hoe SCOPE vergelijkt met een gangbaar thermofysiologisch model (FPC, Fiala thermal physiological and comfort model) werd een inzetbaarheids- en validiteits-onderzoek uitgevoerd van SCOPE.

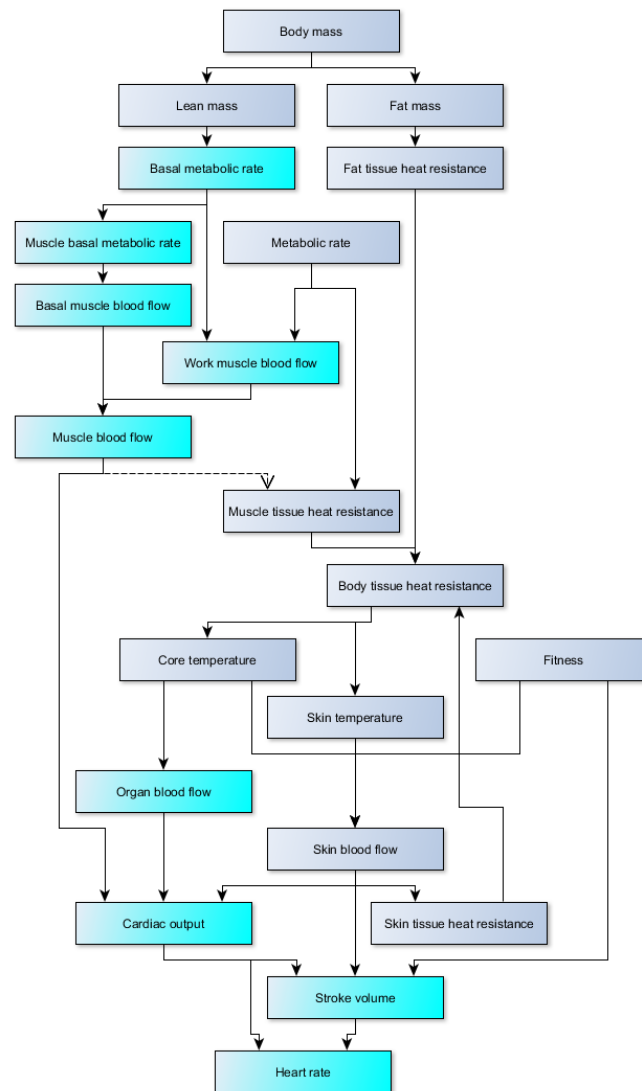
VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- Scope Thermal V3.1 Anorak, 2018.
- TNO 2020 R10529 - Appendix A, KINGMA, B.R.M, "Evaluation of models to estimate thermal load of clothing and equipment".

Cardiovasculair systeemmodel in SCOPE Thermal

Op basis van de vergelijking met FPC werden enkele verbeteringen van het model SCOPE Thermal doorgevoerd en werden enkele bugs opgelost. Om het oplossend vermogen van het model te vergroten werd een model (Figuur 5) toegevoegd van het cardiovasculair systeem en met name de respons van het cardiovasculaire systeem op (hitte-) belasting. Door toevoeging van de belasting op het hart in termen van hartslagfrequentie en slagvolume kan een betere inschatting gemaakt

worden van thermische belasting omdat dat mechanisme veel eerder manifest is dan het stijgen van de kerntemperatuur.



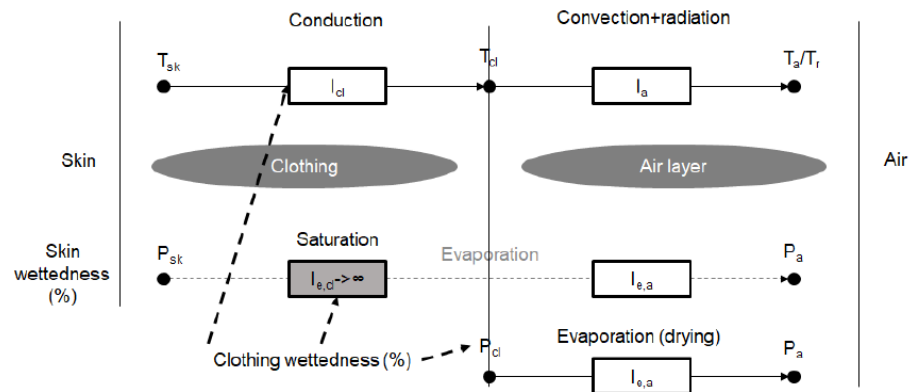
Figuur 5 Hartslagmodel (2017/2018).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- Scope Thermal V3.1 Anorak. 2018.
- TNO 2020 R10529, KINGMA, B.R.M, “Evaluation of models to estimate thermal load of clothing and equipment”.
- TNO 2018 M10104, KINGMA, B.R.M., “The effect of clothing insulation on heartrate”.
- Vesela S., et al., Effect of local skin blood flow during light and medium activities on local skin temperature predictions, 2019, J. Thermal Biol, 84, pp 439-450.

Effecten van neerslag en natte kleding

De bekende thermische modellen voor het voorspellen van warmteoverdracht tussen mens en omgeving gaan standaard uit van droge condities, d.w.z. zonder neerslag. Natte kleding leidt tot sterke verlaging van de isolatie waardoor natte kleding al bij milde koude tot ernstige problemen kan leiden. In SOLAR werd een natte-kleding-model ontwikkeld. Dit natte kleding model is onderworpen aan tests met bestaande databases van kledingisolatie in droge en natte conditie in samenwerking met EMPA (Zwitserland), tevens is met Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) een traject gestart om een hot plate te ontwikkelen waarmee de warmteweerstand van kleding en textiel in verschillende condities gemeten kan worden.



Figuur 6 Uitbreiding van het droge kleding model (2019).

Uitgangspunt van het model is de wet equivalent temperature (WET) vergelijkbaar met de gevoelstemperatuur in de winter die met name het effect van de wind meeneemt en dat omrekent naar een temperatuur in windstille condities. De WET berekent de effectieve temperatuur in natte condities door naar dezelfde omstandigheid in droge omstandigheden (Figuur 6).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2020 R10529, KINGMA, B.R.M, "Evaluation of models to estimate thermal load of clothing and equipment".

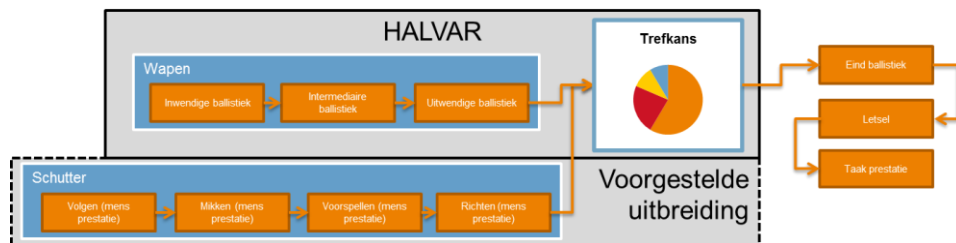
5.2.2 Modelleren fysiek prestatie: agility, mobiliteit en fysieke prestatie

Van uitgestegen militairen wordt regelmatig hoge fysieke inspanning gevraagd waarbij eveneens gevraagd wordt om snel en adequaat te reageren op een externe stimulus. Het vermogen om snel en precies van snelheid, positie, richting of lichaamshouding te veranderen wordt agility genoemd. Wanneer deze agility niet gepland kan worden, maar ad-hoc en reactief van aard wordt spreekt men ook van reactieve agility. Binnen SOLAR wordt deze laatste, reactieve variant met name onderzocht. In de regel worden beide benamingen door elkaar gebruikt. Agility wordt bepaald door de context, de fysieke capaciteiten van de militair, in combinatie met de gedragen kleding en uitrusting. Agility wordt gevormd door een combinatie van balans, coördinatie, snelheid, reactievermogen en uithoudingsvermogen. Het betreft een totale lichaamsbeweging en de vaardigheid is open (dus geen automatisme).

Bescherming & agility

Eén van de redenen om een hoge agility te wensen als uitgestegen soldaat is dat dat zeer waarschijnlijk leidt tot een verlaagde kans om geraakt te worden door een vijandelijke schutter. Om deze verwachting concreet te maken en mogelijk te kwantificeren is er een model nodig waarin een feilbare menselijke schutter in combinatie met een specifiek wapen een wendbaar, versnellend en vertragend menselijk doelwit tracht uit te schakelen. In SOLAR werd onderzocht in welke mate het bestaande ballistische model HALVAR geschikt te maken is voor dit doel.

- HALVAR is een simulatieomgeving welke meerdere wapen/ballistische modellen combineert tot en met inslag op een doel.
- Leidt tot trefkansen en spreiding van een wapen.
- Mogelijkheid is om HALVAR uit te breiden om de keten van schutter tot gevolgen te kunnen modelleren.



Figuur 7 HALVAR modellering (2016).

De eerste uitbreiding is een globaal model van een schutter, met daarin een drietal fases tot aan het uitbrengen van een schot:

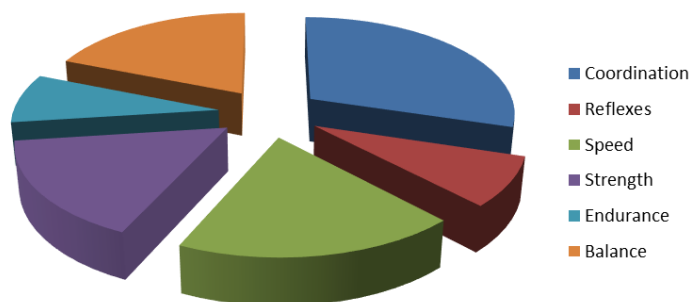
- Met grove motoriek het wapen in de richting van het doel bewegen.
- Met fijnere motoriek het wapen op het trefpunt op het doel richten.
- Afdrukken van het schot.

Modelvorming fysieke taakprestatie

Als agility wordt gevormd door balans, coördinatie, snelheid, reactievermogen en uithoudingsvermogen, dan is het van belang om vast te stellen in welke mate deze variabelen dan bijdragen aan agility en aan de taakprestatie van een militair.

Er is een conceptueel model uitgewerkt uit welke aspecten en grootheden het construct bestaat en hoe deze aspecten/grootheden kunnen worden gemeten.

Dit model ligt aan de basis van de experimentele evaluatie set-up, de agility run en de schietsimulator. Omdat agility meerdimensionaal is, hoeft beïnvloeden niet per se verbeteren over verslechteren zijn, het kan ook verbeteren op één aspect en verslechteren op een ander aspect betekenen



Figuur 8 Inschatting van de verschillende variabelen in de Agility Run (2016).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2017 R11429, KOERHUIS, C.L., CANALIA, C. & GJALTEMA, C. “Agility run: a new protocol to measure and evaluate "reactive" agility in infantry soldiers”.

Model uitrustingskarakteristieken

Aangezien kleding en uitrusting een belangrijke belemmering vormen bij het bewegen werd er in SOLAR een model gebouwd dat effecten van kledingkarakteristieken (massa, volume, stijfheid) op de fysieke prestatie voorspeld. Een eerste model was gebaseerd op expert ratings en wetenschappelijke literatuur. Momenteel kan op basis van expert rating een voorspelling worden gemaakt van de impact van kleding en uitrusting op operationele taken. Parallel aan deze ontwikkeling werd er een uitgebreide wetenschappelijke literatuur review gedaan naar studies waarin de relatie is bekeken tussen kleding/uitrusting en fysieke prestatie. Het model is belangrijke input voor de experimentele set-up en evaluatie in WP3.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2020 R10514, GIJSBERTSE, K., ET AL., “Physical performance modeling: a literature review”.
- TNO 2019 R11756, CATOIRE, M, ET AL., “Ontwikkeling van een pak om de effecten van massa, volume en stijfheid van kleding en uitrusting op de fysieke prestatie te meten”.

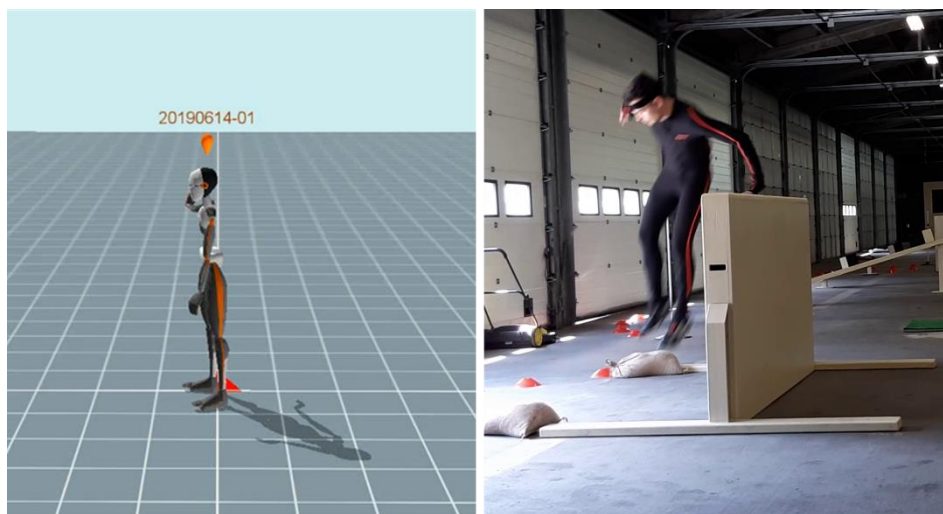
Musculoskeletaal model

Met behulp van het zgn. Xsens-pak² wordt ‘full-body’ bewegingsanalyse opgenomen (Figuur 9). Dit stelt in staat om veranderingen in bewegingen en range-of-motion te meten bij verschillende condities, bijvoorbeeld verschillende kleding- en uitrustingskarakteristieken. Verder wordt deze bewegingsinformatie gebruikt als input voor een spierskeletmodel (Anybody³). Dit spierskeletmodel berekent op basis van de gemeten bewegingen de benodigde spieractivaties, welke omgezet worden naar metabole belasting. Op deze manier kunnen we, in samenwerking met de Universiteit Twente, inzichtelijk maken hoeveel energie een bepaalde activiteit kost en kunnen we de effecten van kleding- en uitrustingsconfiguraties nog completer voorspellen. Het model is nu gericht op één taak (zigzag-run van de LEAP) met variërende massa’s, maar uitbreiding is mogelijk in de toekomst. Bovendien kan het

² Xsens motion tracking, www.xsens.com.

³ www.anybodytech.com.

model ook gebruikt worden om te berekenen of spieren en gewrichten overbelast worden en daarmee een rol spelen in het voorkomen van blessures.



Figuur 9 Pilot bewegingsanalyse met Xsens-systeem (2019).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2020 M10532 – Appendix A, CATOIRE, M., L. LINSSEN, L. & GIJSBERTSE, K., “Measurement of soldier effectiveness”.

5.2.3 Modelleren cognitieve prestatie

Na de inventarisatie van de mogelijke kandidaten voor cognitief modelleren in WP2.1 (paragraaf 5.1) bleek het na nadere beschouwing nodig om een taakanalyse van uitgestegen militairen uit te voeren om op adequate wijze tot een model en de juiste variabelen te komen. De cognitieve taakanalyse biedt een modelmatige basis voor cognitieve of samengesteld fysiek/cognitieve modelvormen.

Cognitieve taak analyse

De cognitieve taakanalyse is een uitbreiding van de klassieke taakanalyse waarbij van moment naar moment wordt gekeken naar de taakuitvoering van een persoon. Bij een cognitieve taakanalyse wordt die beschouwing aangevuld met een analyse van het cognitieve proces:

- Wat gaat er om in het hoofd van de persoon?
- Waar gaat de aandacht van de persoon naar toe?
- Hoe komt de persoon tot beslissingen?

De cognitieve taakanalyse wordt gebruikt in diverse domeinen (defensie, medisch, onderwijs, etc.) voor het begrijpen van cognitieve processen, voor het ondersteunen bij planning en besluitvorming en voor het opzetten en verbeteren van opleidingen en trainingen. Het onderzoek bestond uit literatuuronderzoek, modelvorming, veldobservaties en interviews en werd ondersteund vanuit POTOM opleiding van de Koninklijke Mariniers. Het scenario van de cognitieve taakanalyse was de ‘hasty attack’, een onverwachte pelotonsaanval.



Figuur 10 Observatie hasty attack Sennybridge, UK (2017).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2018 R10496, BEURDEN, M.H.P.H. VAN, ROIJENDIJK, L.M.M. & TRIJP, S.M.A. VAN, “Cognitive workload during a Hasty Attack by the Royal Netherlands Marine Corps”.

5.2.4

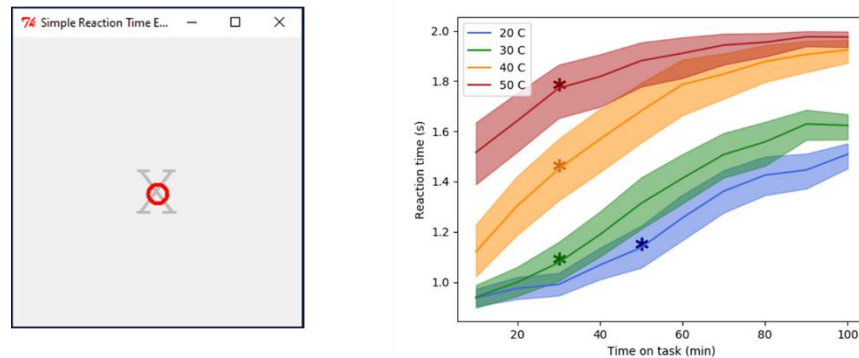
Modelleren van de interactie tussen fysieke en cognitieve belasting

Terwijl voor uitgestegen militairen de hoeveelheid en volwassenheid van cognitieve modellen achterblijven bij fysieke modellering, geldt dat zeker voor modellen over interactie. In welke mate wordt cognitieve prestatie beïnvloed door fysieke belasting en v.v. In dit werkpakket wordt een begin gemaakt met dergelijke interactie.

Model van cognitie in interactie met kerntemperatuur

In de softwarearchitecture ACT-R⁴ is een cognitief model gemaakt waarmee voor twee taken (reactief vermogen en tracking) is onderzocht welke factoren prestatieverlies verklaren door 1) verhoging van (kern) temperatuur en 2) duur van de taak. Dit betreft een samenwerking met Rijksuniversiteit Groningen die toonaangevend zijn op het gebied van cognitief modelleren. In dit model verklaren we prestatieverlies als gevolg van verhoging van (kern)temperaturen en duur van de taak in termen van afleiding. Afleidende gedachten (de gedachte dat het warm is en afleiding omdat de primaire taak niet uitdagend genoeg is) zorgen voor een afname in taakprestatie. De uitkomsten van het model laten zien dat deze onderliggende processen resultaten opleveren die overeenkomen met de trends gevonden in de literatuur.

⁴ Wikipedia: ACT-R (Adaptive Control of Thought – Rational) is software voor het beschrijven en nabootsen van denkprocessen in het kader van psychologische experimenten. <http://act-r.psy.cmu.edu/>.



Figuur 11 Taak en taakprestatie van het ACT-R model van cognitie (2019).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2020 M10337, ROIJENDIJK, L.M.M., BEURDEN, M.H.P.H VAN EN KLEP, D.M.J., “SOLAR: Modelling the effects of heat stress and time-on-task on cognitive performance in cognitive architecture ACT-R”.

5.2.4.1 WP 2.5 Operationele prestatie

Tijdens de MTR in het eerste kwartaal van 2018 werd door het DEC M&U gevraagd of SOLAR in staat was om een NATO RTG SAS-145 SWEAT te ondersteunen. Deze RTG is gericht op het meten van de effectiviteit van klein-kaliber wapeninzet in combinatie met de gebruiker. Daartoe is het belangrijk om een overall systeem-benadering te kiezen, waarin alles van munitie, optiek, training en andere effecten (waaronder human factors) wordt geïntegreerd. Deze RTG richt zich op effect-based standaarden, op integrale effectiviteitsmaten zoals letaliteit in experimentele omstandigheden en in verschillende scenario's. Gegeven de interesse van SOLAR in fysieke fitheid, cognitieve fitheid en het feit dat binnen SOLAR ook een schiet-simulatieopstelling in ontwikkeling is, is besloten om de RTG-bijdrage te financieren vanuit het WP2.4. De rapportage van deze RTG wordt echter pas na de looptijd van het SOLAR-programma verwacht in 2021.

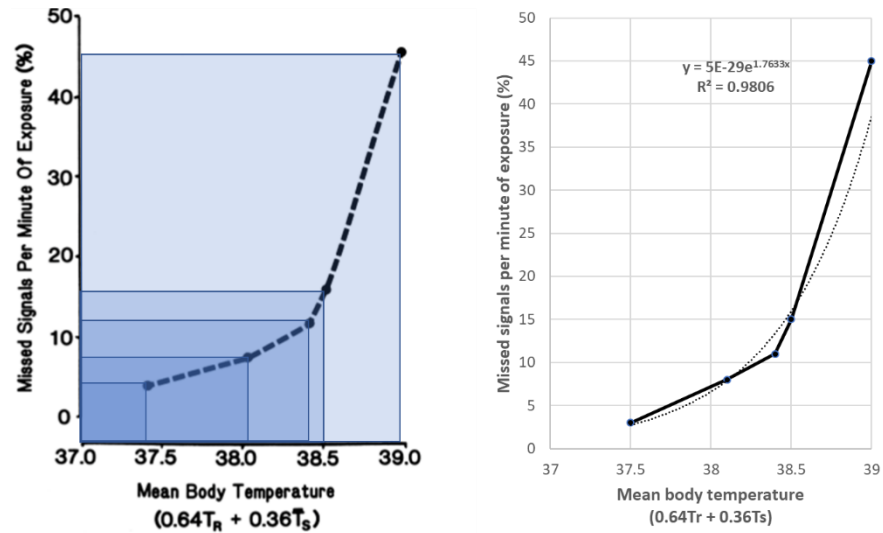
5.2.4.2 Modelintegratie

Naast het ontwikkelen en combineren van modellen en evaluaties is ook gestart met het samenvoegen van verschillende activiteiten met als doel het ontwikkelen van een manier om fysiek/cognitief samengestelde vraagstellingen te kunnen oplossen.

Risicomodel fysieke en cognitieve prestatie

Naast de specifieke aspecten van thermische belasting door middel van het modelleren van kern- en huidtemperaturen, van zweetsecretie en van hartslag, is het ook mogelijk om globalere, meer operationele modellen te gebruiken of te ontwikkelen. Hierbij wordt gestreefd naar een algemeen risicomodel voor fysieke en cognitieve prestatie als functie van de thermische omgeving. Hiervoor zijn de meest gebruikte thermische indices geïmplementeerd nl, de Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) en de Predicted Heat Strain (PHS) voor hitte, en ISO11079 en windchill index voor kou. Deze indices geven een indicatie van veilige werktijd, drinkregime en benodigde kledingisolatie die is gekoppeld aan een activiteit, en een thermische omgeving (luchttemperatuur, straling, luchtvochtigheid en windsnelheid). Tevens is in literatuur ook de koppeling tussen WBGT en de prestatie van een aantal cognitieve-geïntegreerde taken beschreven. Uit de werkzaamheden van dit WP kunnen nu

verschillende prestatie-maten gekoppeld worden aan de meest gebruikte thermische indices. Een gebruiker kan kleding, inspanning en weerstandigheden invoeren. De uitkomstmaten zijn verdeeld in fysiek: kerntemperatuur, en cognitief: percentage verwachte gemiste signalen (auditief+visueel, Figuur 12).



Figuur 12 Gemiste signalen bij verschillende lichaamstemperaturen.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- SCHWEIKER, M. ET AL., Drivers of diversity in human thermal perception, a review for holistic models, 2018, Temperature, 4, pp 308-342.
- TNO 2020 M10625, KINGMA B.R.M. & BEURDEN, M.H.P.H. VAN, "Assessment and Prediction of Soldier Vigilance depending on Environmental conditions, Physical load, Clothing & Equipment and Acclimatisation status".

6 Kwantificering van belasting en belastbaarheid (WP3)

Een belangrijk deel van de effectieve beoordeling van fysieke en cognitieve belasting is de kwantificering met behulp van experimenteel onderzoek, waarin de relaties en de sterkte van relaties worden vastgesteld en gemeten. Achtereenvolgens worden in de volgende paragrafen de werkzaamheden en resultaten besproken van:

- WP 3.1 Inrichting performance laboratorium
- WP 3.2 Performance studies
- WP 3.3 Evaluatie ten behoeve van een geïntegreerd model

6.1.1 Performance laboratorium

De analyse van benodigde en beschikbare meetmethoden en van hiaten in huidige meetmiddelen vormde de start van dit werkpakket, gevolgd door het eventueel ontwikkelen van essentiële nog ontbrekende meetmiddelen, met aandacht voor het inrichten van de koppeling tussen cognitieve en fysieke belasting. Daarnaast vormde het opbouwen van experimentele vaardigheden en het opbouwen van infrastructuur voor laboratorium en ambulante meten ook onderdeel van het werkpakket.



Figuur 13 Beschikbare testen in de literatuur (2016).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2017 R11429, KOERHUIS, C.L., CANALIA, C. & GJALTEMA, C., “Agility run: a new protocol to measure and evaluate "reactive" agility in infantry soldiers”.
- TNO 2019 R11063, BEURDEN, M.H.P.H. VAN & ROIJENDIJK, L.M.M., Development of military relevant ‘cognitive obstacles’ to evaluate clothing and equipment”.

Eerste experimentele evaluatie van agility

Ten aanzien van het meten van fysieke inzetbaarheid bestaan verschillende evaluatiemethoden (Figuur 13), variërend van standaard NATO hindernissen tot Range of Motion testen. Geen van deze testen brengen reactieve agility in kaart. De ontwikkeling van een specifieke reactieve agility test startte met een uitgebreide analyse van verschillende taken, meetwijzen en meetmiddelen.



Figuur 14 Prototype agility test set-up (2016).

Na de pilot (Figuur 14) die werd uitgevoerd met bestaande middelen, werd gestart met de ontwikkeling van een specifieke agility test, de agility run, zoveel mogelijk geïnspireerd op bestaande hindernissen, drills of obstakels in de LEAP. De eerste versie van de agility run kwam in 2017 gereed en bestond uit een vijftal taken: schieten, klimmen door een kozijn, zigzag run, balanstak en reflex taak, Figuur 15.



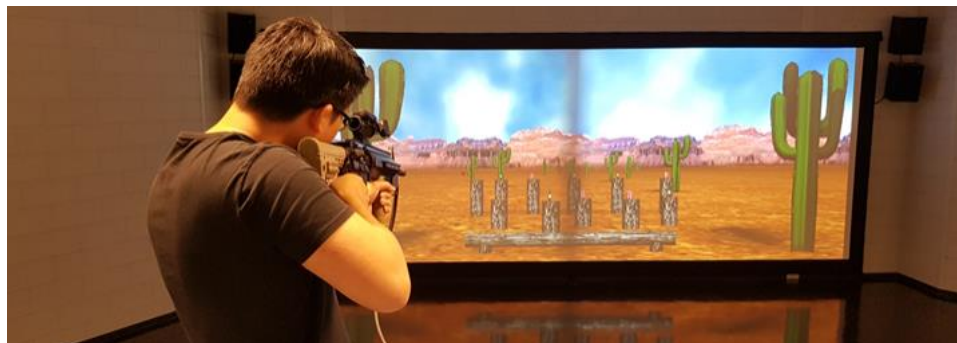
Figuur 15 Agility Run V1 (2017): schieten, klimmen door een kozijn, zigzag run, balanstak en reflex taak.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2017 R11429, KOERHUIS, C.L., CANALIA, C. & GJALTEMA, C., "Agility run: a new protocol to measure and evaluate "reactive" agility in infantry soldiers".
- TNO 2020 R10316, CATOIRE, M., ET AL., "Agility Run 2.0".

Bescherming vs. wendbaarheid

Eén van de redenen om meer wendbaar te willen zijn is de verwachting dat daarmee de kans om in een vuurgevecht geraakt te worden afneemt. Een wendbaarder doel is voor een schutter moeilijker om te raken. Naast de modelvorming met Halvar is gekeken op welke wijze experimentele data verzameld kan worden over de relatie tussen wendbaarheid en kans om geraakt te worden. Hiertoe is een pilot in de Klein Kaliber Wapen Simulator (KKW SIM) uitgevoerd (Figuur 16) en werd een serie specificaties opgesteld welke stimuli in de KKW SIM aangeboden moesten worden en welke variabelen gemeten moesten worden.



Figuur 16 SOLAR KKW Sim pilot (2016).

Hiervoor is een offerte bij de ontwikkelaar van de KKW SIM opgevraagd en werd op basis daarvan besloten om een SOLAR-variant met behulp van airsoft te kiezen en te ontwikkelen.

De airsoftopstelling die hierna ontwikkeld werd staat o.a. gerapporteerd in TNO 2017 R11429.

Preliminaire Cognitive LEAP

Analoog aan de LEAP, waarmee de fysieke belasting en fysieke prestatie t.g.v. kleding en uitrusting wordt vastgesteld was er de behoefte om het vergelijkbare te doen voor cognitieve belasting veroorzaakt door C4I systemen, het wapen, door de omgeving en door de taak.

Parallel aan de uitvoering van de cognitieve taakanalyse (paragraaf 5.2.3) werd een eerste variant van de Cognitive LEAP uitgewerkt op basis van een selectie en combinatie van bestaande cognitieve testen, waarbij het belangrijkste nadeel vrijwel steeds is dat de militaire relevantie beperkt is of ontbreekt. De basis wordt gelegd voor het verhogen van militaire relevantie, de ecologische validiteit onder behoud van construct validiteit. Deze eerste set vormt de basis van latere uitwerking van C-LEAP (Cognitive Load Effects Assessment Program) elementen.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2019 R11063, BEURDEN, M.H.P.H. VAN & ROJENDIJK, L.M.M., “Development of military relevant ‘cognitive obstacles’ to evaluate clothing and equipment”.

6.1.2 *Performance studies*

De prestatiestudies in SOLAR waren bedoeld om verschillende relaties tussen taakprestatievariabelen en belastingsvariabelen zoals kledingconfiguraties, omgevingsvariabelen en taakvariabelen in kaart te brengen. Het doel is om deze gekwantificeerde relaties onderdeel te maken van de evaluatie-omgeving SOLAR. Hetzij door direct gebruik van de onderzochte relatie, hetzij door het opnemen van de resultaten in een breder model.

Prestatiestudie: Agility (2017)

Na de ontwikkeling van de Agility Run hebben verschillende prestatiestudies (Figuur 17) plaatsgevonden met het doel om de Agility Run evaluatieomgeving te valideren en te verbeteren. Zowel de aansturing als de uitvoering van de hindernissen is in de loop van het programma doorontwikkeld. In de tweede versie van de Agility Run werd het raamkozijn verwijderd omdat het onvoldoende reactief werd bevonden. De balanstaak en ook de reflextaak werden significant veranderd.



Figuur 17 Experiment Agility Run (2017).

Het raamkozijnobstakel werd, na een pilotstudie in de LEAP-tunnel, in de uiteindelijke versie V2 vervangen door een tunnel met T-splitsing en verstelbare doorsnede (Figuur 18).



Figuur 18 Confined spaces obstakel, tunnel met T-splitsing en verstelbare doorsnede(2019).

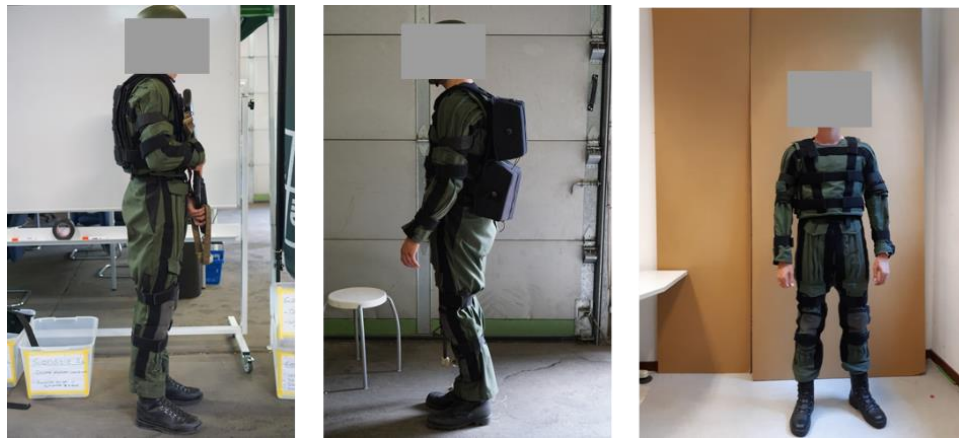
VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2017 R11429, KOERHUIS, C.L., CANALIA, C. & GJALTEMA, C. “Agility run: a new protocol to measure and evaluate "reactive" agility in infantry soldiers”.
- V1605 SOLAR Agility Run. 2017.
- V1605 SOLAR Agility Run 2.0. 2019.
- TNO 2020 R10316, CATOIRE, M., ET AL., “Agility Run 2.0”.

Prestatiestudie Massa, Volume en Stijfheid (2019)

De modelvorming van Massa, Volume en Stijfheid wordt ondersteund door de ontwikkeling van een geschikte test set-up, waarmee vervolgens een uitgebreide prestatie studie uitgevoerd werd. Het uitgangspunt van de test set-up was dat er een harnas van textiel ontwikkeld werd waarin de grootheden massa, volume en stijfheid zoveel mogelijk gescheiden werd. Fysisch gezien is dat begrensd, maar de massa toevoegingen aan het pak waren pakketjes lood, met zoveel mogelijk gewicht bij laag volume, de volume toevoegingen waren van polystyreen en de

stijfheid toevoegingen waren slangen, buisjes of kunststof plaat in verschillende diktes (Figuur 19).

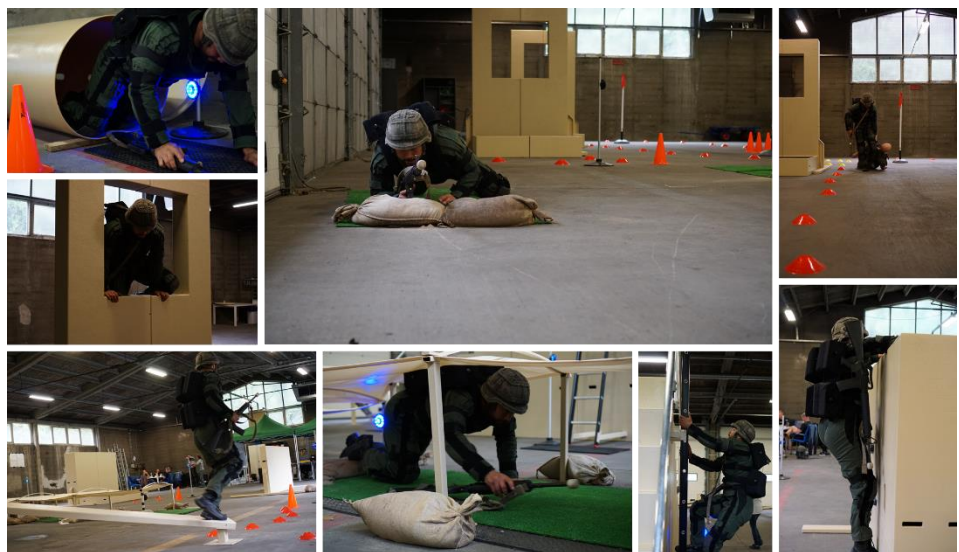


Figuur 19 Massa, volume, stijfheid testharnas (2018).

Na verschillende iteraties van het testharnas werd een uitgebreide prestatiestudie uitgevoerd op de LEAP (Figuur 20). Deze studie werd ingezet om de modelvorming te ondersteunen. Er is voor meerdere niveaus van testen gekozen, zodat de testen aangepast kunnen worden aan de vraag en het type kleding en uitrusting.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2019 R11756, CATOIRE, M, ET AL., “Ontwikkeling van een pak om de effecten van massa, volume en stijfheid van kleding en uitrusting op de fysieke prestatie te meten”.
- Agility suit: massa, volume en stijfheid testpak, 2018.
- TNO 2020 R10514, GIJSBERTSE, K., ET AL., “Physical performance modeling: a literature review”.
- KAJ GIJSBERTSE ET AL., “The isolated effects of mass, bulk and stiffness of personal protective equipment and clothing on physical performance when performing a military mobility obstacle course”, Human Factors, submitted.



Figuur 20 Experiment massa, volume, stijfheid op de SOLIID LEAP (2019).

Prestatiestudie Kwantificeren van thermische belasting

Voor het project Kwantificeren van thermische belasting is een pilotexperiment (Figuur 21) gedaan met twee SOLAR teamleden als proefpersoon om het effect van hittebelasting op de hartslag aan te tonen en hoe het concept fitheid uit SCOPE thermal geschikt is om de juiste resultaten te genereren in verschillende scenario's.



Figuur 21 Pilot hartslag en thermofysiologie (2017).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2018 M10104, KINGMA, B.R.M., “The effect of clothing insulation on heartrate”.

Prestatiestudie: Besluitvorming bij verhoogde kerntemperatuur

Op basis van de resultaten uit de cognitieve taakanalyse werd besloten om een experiment uit te voeren naar het effect van verhoogde kerntemperatuur op de snelheid en kwaliteit van besluitvorming. In deze studie werd het ontwerp, zoals de ontwikkeling van de cognitieve taak en het experimentele protocol uitgevoerd en vond fine-tuning van het experiment plaats d.m.v. twee pilotversies van het experiment “Kerntemperatuur en besluitvorming” met SOLAR leden (Figuur 22). De uitvoering van het grote proefpersoonexperiment vond plaats in de use case (hoofdstuk 7).



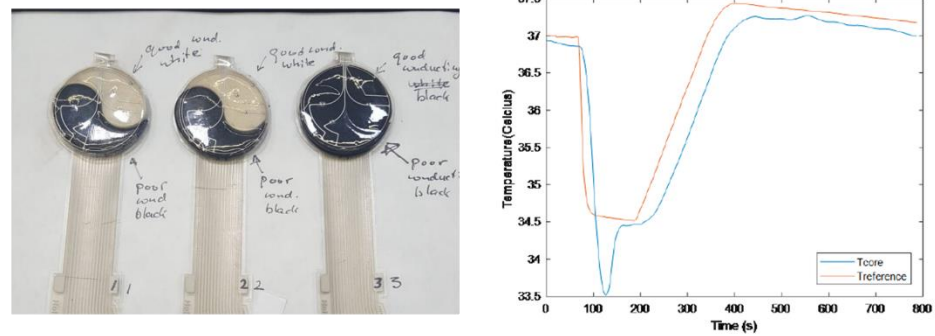
Figuur 22 Pilotstudie Kerntemperatuur en besluitvorming (2017).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2018 M11150, BEURDEN, M.H.P.H. VAN, ROJENDIJK, L.M.M. & BOGERD, C.P.
 "The effect of elevated core temperature on decision making: A pilot study to determine feasibility of increasing core temperature by water immersion".

Prestatiestudie: Non-invasieve meting van kerntemperatuur

In samenwerking met TNO Holst Centrum werd er binnen SOLAR meegewerkt aan de ontwikkeling van een sensor voor non-invasieve meting van de lichaamskerntemperatuur. De huidige methoden daarvoor zijn of invasief (slokdarm en rectaal) en oncomfortabel, of invasief (in te slikken temperatuurpil), kostbaar en onpraktisch. Een eenvoudig extern meetmiddel zou een belangrijke stap betekenen voor het meten van de kerntemperatuur van de mens. In SOLAR is gewerkt aan 1) het onderliggende fysische model, waarbij naast conductief warmtetransport ook de convectieve effecten van doorbloeding op het warmtetransport zijn beschreven. 2) het meten a) op een 'phantom' (waterbak), waar het water met bekende temperatuur van buitenaf gemeten is, en b) op de mens waarbij de referentie voor kerntemperatuur d.m.v. een thermometerpil is verkregen. Uit de metingen blijkt dat de sensor in statische laboratorium condities goed in staat is om het verloop van de temperatuur van een bak met water te meten. Echter, bij metingen aan de mens is gebleken dat 1) de sensor niet bestand is tegen zweet (geeft kortsluiting), 2) de elektrische aansluiting praktisch veel risico met zich meebrengt om geen goed signaal te verkrijgen d.m.v. bewegingsartefacten.



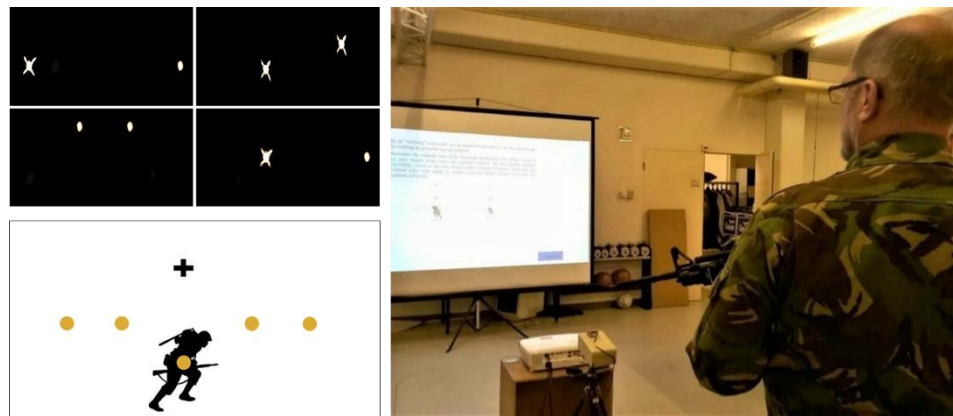
Figuur 23 Non-invasieve meting van kerntemperatuur (2017).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2020 M10507, KINGMA, B.R.M. & BAARDEWIJK, J.U. VAN, “Heat flux sensor”.

Prestatiestudie Ecologische validiteit van cognitieve taken

Een nadeel van de meeste bestaande cognitieve testen en taken is de beperkte militaire relevantie of ecologische validiteit. In deze prestatie studie zijn twee cognitieve taken aangepast/ontwikkeld zodat ze beter passen bij de militaire praktijk. Er zijn twee experimenten (één in use cases, hoofdstuk 7) uitgevoerd om te bepalen of de taken nog steeds hetzelfde meten als de originele taken (construct validiteit). Het resultaat bestaat uit verschillende taken die flexibel kunnen worden ingezet tijdens gecontroleerde experimenten bij fysieke activiteit of kunnen worden toegevoegd aan VR-omgevingen.



Figuur 24 C-LEAP schietprestatie en besluitvorming suppressievuur (2018).

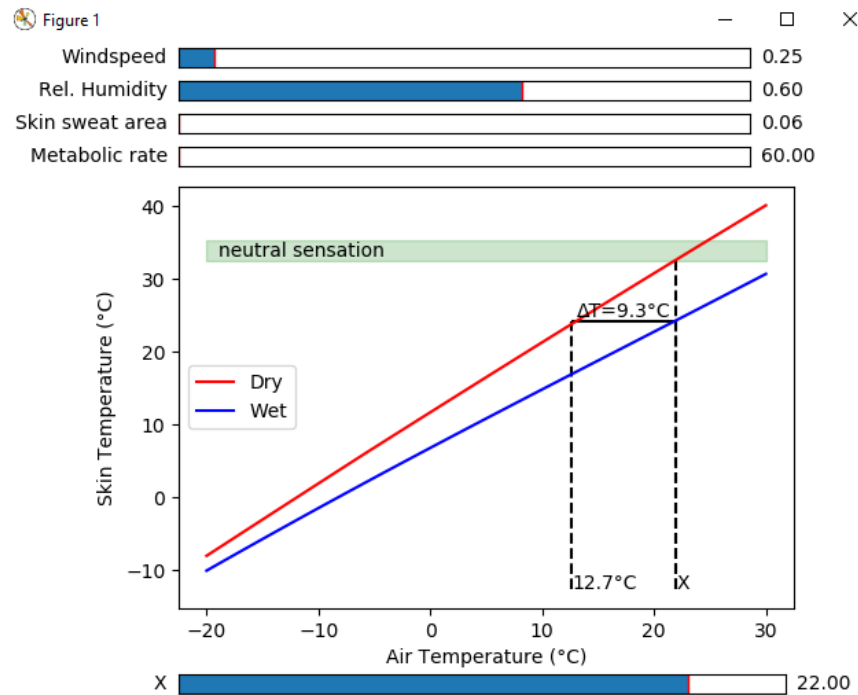
VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2019 R11063, Appendix A/C, BEURDEN, M.H.P.H. VAN & ROIJENDIJK, L.M.M., Development of military relevant ‘cognitive obstacles’ to evaluate clothing and equipment”.

Validatie koudemodel

De ISO-standaard betreft werken in de kou (ISO11079) geeft een bandbreedte van benodigde kledingisolatie gegeven de thermische omstandigheden en de geplande activiteit. Hierbij wordt er uitgegaan van droge kleding. In WP3.4. is er een model ontwikkeld om het effect van natte kleding op de warmtebalans inzichtelijk te maken. Het doel hierbij is om ISO11079 te kunnen corrigeren voor de natte

kledingconditie zodat een nieuwe veilige werktijd, of isolatiebehoefte bepaald kan worden. Het is hierbij niet van belang of het vocht uit de hemel of uit het lichaam komt, enkel dat het kledingstuk volledig doorweekt is.



VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

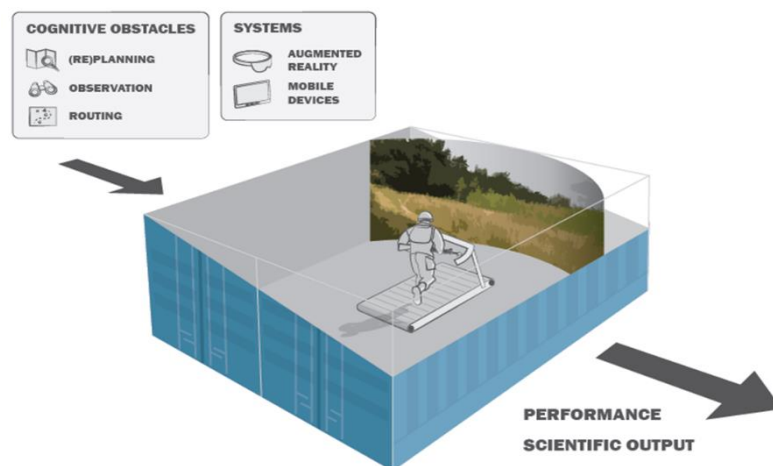
- TNO 2020 R10529, KINGMA, B.R.M, “Evaluation of models to estimate thermal load of clothing and equipment”.

Added heart rate of cognitive function

Inspanning in een warme omgeving resulteert in een hogere hartslag dan eenzelfde inspanning in een koel klimaat. Binnen SOLAR is een mechanistisch hartslag model ontwikkeld (2018 – en 2019 verder ontwikkeld (WP2.1) waarmee mogelijk de verwachte ‘added heart rate’ als gevolg van inspanning in een warme omgeving bepaald kan worden voor (aerobe) lopende inspanning. Verder heeft er ook een experiment plaatsgevonden (SOLAR 2017) waarbij in een warme conditie een cognitieve taak is uitgevoerd (passieve hittebelasting, liggende positie). In dit werkpakket is onderzocht of er tijdens het uitvoeren van een cognitieve taak in een warme omgeving ook een significante verandering in de hartslag gemeten wordt, bovenop de stijging van hartslag als gevolg van de warmte. Hierbij is uitgegaan van de afwijking van metingen t.o.v. model, die indicatief zijn voor het effect van de extra cognitieve belasting. De uitkomst van de analyse is niet bevestigend, noch ontkennend aangezien het hartslag model (gespecialiseerd voor lopende activiteit) niet in staat bleek om de liggende activiteit goed in te schatten. Daarnaast zijn er in het gemiddelde hartslag signaal geen grote (>10 slagen per minuut) abrupte veranderingen te zien bij het uitvoeren van de cognitieve taken. Omdat geen bruikbare resultaten zijn geboekt is geen separate rapportage verschenen. De beschrijving van de werkzaamheden en resultaten staan in bijlage **Error! Reference source not found.**

Mixed reality platform

In 2018 werd een evaluatieplatform (Figuur 25) ontwikkeld om de effecten van nieuwe C4I technologieën op cognitieve prestatie te kunnen onderzoeken. Dit platform bestaat uit 1) virtuele wereld gepresenteerd op een groot scherm, 2) een loopband die is gekoppeld aan de VR omgeving waarmee je fysiek door de omgeving kunt bewegen, 3) technologieën (tactisch display, trilband en augmented reality, radio) die gekoppeld zijn met de VR omgeving. In deze omgeving is een hasty attack scenario geïmplementeerd waarin de pelotonscommandant op de loopband staat en de sectiecommandant achter een computer zit. In deze onderzoekopstelling staat de pelotonscommandant (PC) centraal en zal hij met zijn eigen uitrusting (draagvest, rugzak, helm) samen met de sectiecommandant de aanval uitvoeren. We kunnen de cognitieve belasting en prestatie van de PC meten door middel van vragenlijsten, prestatie op de detectie response taak en het loggen van data uit de gesimuleerde omgeving die inzicht geven in het cognitief presteren van de militair, zoals looproute, loopsnelheid, kijkrichting, gebruik display, hoeveelheid radiocommunicatie. In verschillende korte evaluatiestappen met militaire gebruikers is dit Mixed reality platform verbeterd. In de toekomst kunnen aan dit platform nieuwe technologieën of functionaliteiten toegevoegd worden en kan worden onderzocht wat de effecten van nieuwe technologieën zijn op het cognitief presteren van militairen.



Figuur 25 Mixed Reality opstelling.

In 2019 werd de ecologisch valide cognitieve beslistaak, ontwikkeld in 2018, toegepast binnen het Mixed reality platform om te onderzoeken of besluitvorming verandert wanneer dit gemeten wordt voor en na een hasty attack scenario. Daarnaast is de binnen SOLAR ontwikkelde detectie response taak gebruikt om de kennis en kunde hiervan te vergroten. Hierbij was het belangrijk om inzicht te krijgen hoe deze taak het meest effectief ingezet kan worden tijdens studies naar cognitieve belasting van de militair. Om beter te begrijpen welke modaliteit (visueel/tactiel) het best gebruikt kan worden en hoe frequent we deze stimuli moeten aanbieden wordt nauw samengewerkt binnen de Trilaterale samenwerking (CAN/SWE/NED), waarbij we leren van de ervaringen van CAN met deze taak.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

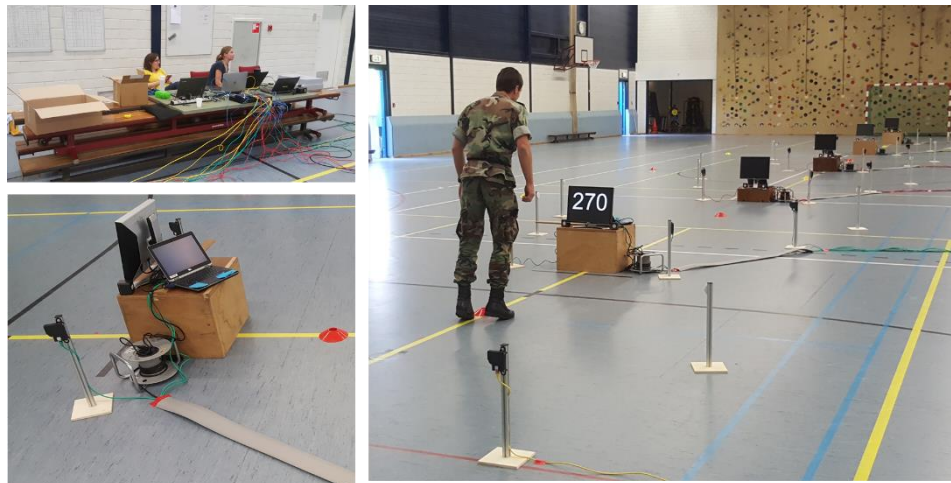
- TNO 2020 R10546, BEURDEN, M.H.P.H. VAN ET AL., “Developing a mixed reality platform for evaluating cognitive performance of dismounted soldiers”.
- BEURDEN, MAURICE VAN EN ROIJENDIJK, LINSEY. Towards a Mixed Reality Platform for Applied Cognitive Load Evaluation. [red.] D. Harris. HCII 2019: Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. 2019. pp. 123-136.

6.1.3 Geïntegreerde model- en evaluatieomgeving(2019)

Het doel van het SOLAR-programma was om de verbinding tussen fysiek en cognitief presteren te maken en modellen en evaluaties met combinaties van fysieke en cognitieve aspecten tot stand te brengen. In onderstaande paragraaf staan voorbeelden van gecombineerd fysiek en cognitief presteren.

Integratie beslistaak in combinatie met de zigzag-run

Voor het toevoegen van een cognitieve taak werd gekozen voor de combinatie van de zigzag fysieke taak en een klassieke task-switching, aangepast tot een meer militair relevante taak in de Agility Run zigzag taak. Op basis van een cue die varieert in complexiteit bepaalt een deelnemer of de linker tak of rechter tak van de zigzag moet worden gekozen. In deze studie is deze taak ontwikkeld, opgebouwd en geïntegreerd in de zigzag run en heeft een uitgebreide pilotstudie plaats gevonden naar de bruikbaarheid en validiteit van de methode.



Figuur 26 Task switching taak geïntegreerd in de Agility Run zigzag-taak.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

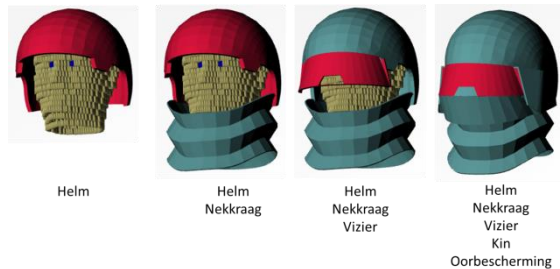
- TNO 2019 R11063, Appendix B, BEURDEN, M.H.P.H. VAN EN ROIJENDIJK, L.M.M., “Development of military relevant ‘cognitive obstacles’ to evaluate clothing and equipment”.

7 SOLAR use cases (WP4)

De use cases dienen verschillende doelen. Ten eerste richten ze de model-ontwikkeling en experimentele kwantificering, ten tweede zijn ze bedoeld om inzicht te geven in de status van de modellen en evaluaties en in hoeverre deze in staat zijn om vragen met betrekking tot fysieke en cognitieve belasting te beantwoorden en ten derde geven ze de mogelijkheid om de modellen en evaluatiemethoden in te zetten en daarmee vaardigheid te ontwikkelen. De use cases ontwikkelden derhalve ook mee met de voortgang in het programma.

Use case fysieke belasting en prestatie: Bescherming versus wendbaarheid (2016)

Hoe draagt verhoogde bescherming van hoofd, gezicht en nek bij aan prestatie en hoe hindert dit dezelfde prestatie. Gezicht, nek en hoofdbescherming is een blijvende wens in bepaalde situaties. Een zwaardere helm leidt waarschijnlijk tot verbeterde bescherming, verminderde wendbaarheid, communicatie en verminderde waarneming.



VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 17 EBP/177, KHOE Y-S, SOULLIE, T. "Vastlegging resultaten SOLAR methodiek".

Use case fysieke belasting en prestatie: Agility run V1.0 (2016/2017)

"Wat is de rol van wendbaarheid/agility voor operationeel optreden. Welke rol spelen beschermingstukken en andere bulk daarbij. Hoe modulair moet bescherming worden om wendbaarheid te vergroten".

Tijdens de use case is het tweede experiment met de Agility Run uitgevoerd om voor twee duidelijk verschillende configuraties: a) Persoonsgebonden Gevechtsuitrusting (PGU) en b) PGU plus vest, verschil in agility te meten op de Agility Run (zie ook paragraaf 6.1.2). Het experiment heeft in Oktober 2017 plaatsgevonden.



Figuur 27 Use case experiment Agility Run.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2017 R11429, KOERHUIS, C.L., CANALIA, C. & GJALTEMA, C. “Agility run: a new protocol to measure and evaluate "reactive" agility in infantry soldiers”.
- TNO 2020 R10316, CATOIRE, M., ET AL., “Agility Run 2.0”.

Use case fysieke belasting en prestatie: Model onderdompeling (2017)

Het “expanded task under thermal load” experiment (verderop in deze paragraaf) werd ingezet als eerste validatie van de toevoeging aan SCOPE Thermal van volledig ondergedompelde personen en van de voorspelling van hartslag o.a. ten gevolge van thermische belasting.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- SCOPE V3.1 Anorak (met onderdompeling als nieuwe feature).

Use case cognitieve belasting en prestatie (2017)

Hoe beïnvloedt hoge fysieke belasting het creatieve proces van het oplossen tijdens een complexe (niet-drillmatige) situatie.

In deze use case werd het experiment “expanded task under thermal load” samen met RUG en UvA uitgevoerd. Dit betrof een omvangrijk experiment met 30 proefpersonen, 3 grote warmwaterbaden, een bezetting van minimaal 4 proefleiders op 3 proefpersonen, maximaal 3 proefpersonen per dagdeel. Het experiment werd begeleid door artsen van het CML. In het experiment werd onderzocht of tijdperceptie verandert bij langdurige (1 uur) immersie in warm water (38,5 °C) en in welke mate besluitvormingstaken in snelheid en kwaliteit veranderden.

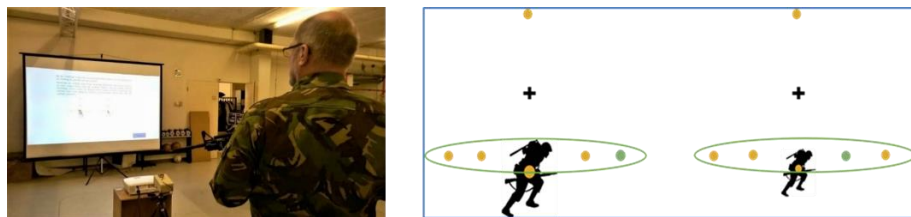


VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- MAANEN, L. VAN, ET AL., Core body temperature speeds up temporal processing and choice behavior under deadlines. 2019, Sci Rep, Vol. 9. 10053.
- KINGMA, B.R.M. ET AL., Time perception and timed decision task performance during passive heat stress”, 2020, Temperature, to be submitted.

Use case cognitieve belasting en prestatie: C-LEAP (2017)

Eén van de gedefinieerde use cases is het ontwikkelen van een cognitieve hindernisbaan, vergelijkbaar aan de LEAP. Deze cognitieve LEAP zou dan gebruikt kunnen worden om de cognitieve belasting van uitrusting/middelen vast te stellen. C-LEAP verbindt zo gevalideerde testen met operationele betekenis. Een tweetal deelonderzoeken zijn uitgevoerd. Deze hebben vervolgens geleid tot verdere ontwikkeling van de cognitieve hindernissen zoals gerapporteerd in WP3, hoofdstuk 6.



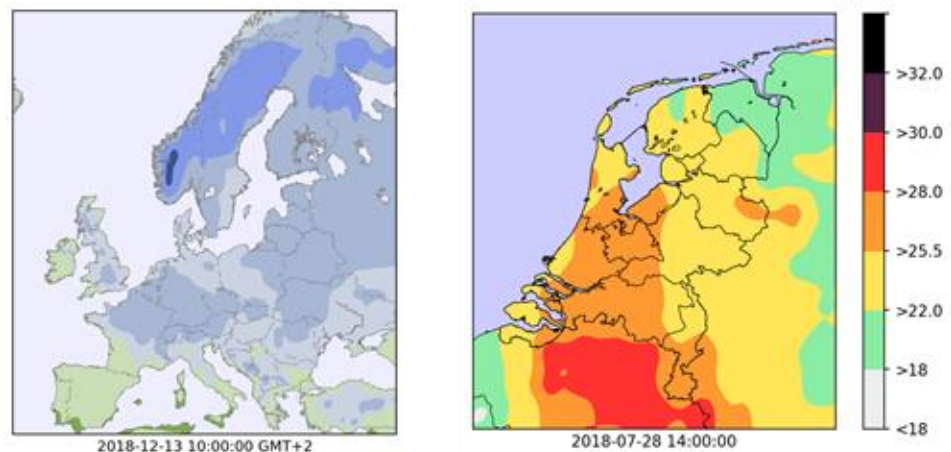
Figuur 28 Experimenteel onderzoek naar cognitieve flexibiliteit. Bouwen van een militaire relevante taak voor het evalueren van het taakwisselvermogen. Ontwikkelen van goed gedefinieerde, goed onderzoekbare, militair relevante beslistaak onder tijdsdruk. Doorontwikkelen van de beslistaak in het jacuzzi-experiment.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO-2019 R11063, BEURDEN, M.H.P.H. VAN & ROIJENDIJK, L.M.M., Development of military relevant ‘cognitive obstacles’ to evaluate clothing and equipment”.
- C-LEAP hindernissen.

Use case fysieke belasting en prestatie: Hittewijzer (2018)

Voor de use case van SOLAR Thermofysiologie is een weergave van thermische risico's voor fysieke prestatie op basis van het weerbericht en geo-mapping gerealiseerd. Deze weergaves zijn te vinden op www.hittewijzer.nl en www.koudewijzer.nl. Op hittewijzer.nl wordt de interpretatie van de WBGT-index getoond volgens de American College of Sports Medicine (ACSM) voor duursport activiteiten zoals hardlopen, als ook de interpretatie volgens NATO-HFM-187 waarbij inspanning en kleding gevarieerd kan worden. Op koudewijzer.nl wordt de interpretatie van de windchill index (JAG/TI) getoond volgens NATO-HFM-187, waarbij deze nog is aangevuld met de interpretatie van het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut).



Figuur 29 Hittewijzer en koudewijzer (2018).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

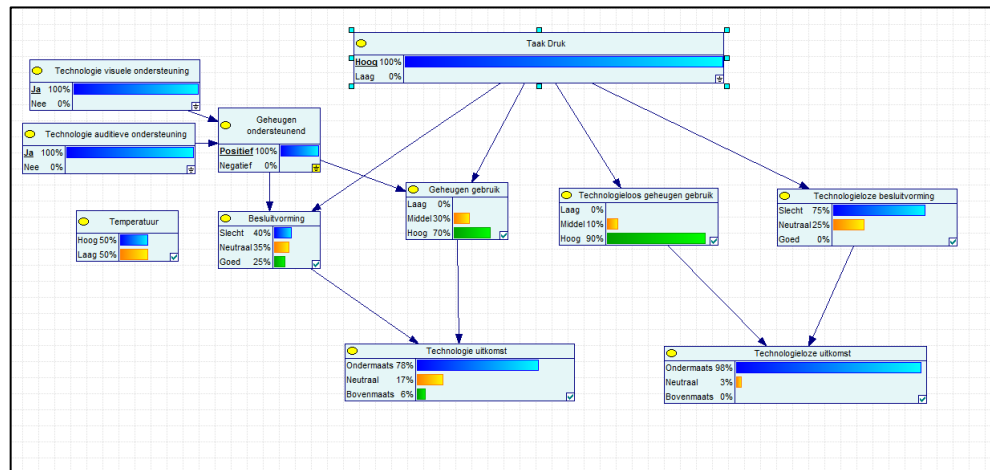
- KINGMA, B.R.M. & WOERING, A.A. "Hittewijzer [Online]", www.hittewijzer.nl
- KINGMA, B.R.M. & BAARDEWIJK, J.U. VAN., "Koudewijzer. [Online]", www.koudewijzer.nl.

Use case cognitieve belasting en prestatie: BBN cognitief presteren (2018)

In SOLAR is cognitieve load één van de hoofdonderwerpen. Een cognitieve taakanalyse werd uitgevoerd in WP2 en een volgende stap is om tot een geïntegreerd prestatie-model te komen. Volgens het principe van een Google Design Sprint is een prototype cognitief model gebouwd gebaseerd op operationele voordelen en operationele nadelen van verschillende (technologische) interventies. De resultaten van de sprint zijn in een memorandum gecommuniceerd en er is een prototype model op basis van Bayesian Belief Networks (BBN, zie Figuur 30).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2018 M10408, WOERING, A.A., "Solar Cognitive Design Sprint".



Figuur 30 Deel van het Bayesian Belief Network uit de Design Sprint (2018).

Use case fysieke belasting en prestatie: Consequenties van Fight Light (2019/2020)

Binnen de militaire wereld komt er steeds meer aandacht voor de 'Fight Light' doctrine, die eigenlijk zegt dat minder bescherming mogelijk meer bescherming is door verhoogde mobiliteit en daardoor een kleinere raakkans. In deze use case werd een analyse uitgevoerd over de modelmatige en experimentele middelen voor een evaluatie van Fight Light concepten. De analyse behandelt de verschillende aspecten van mobiliteit en agility, van bescherming en operationele veiligheid en in welke mate de huidige experimentele en modelmatige middelen geschikt of geschikt te maken zijn voor een goede afweging tussen de voor- en nadelen van Fight Light.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2020 M10532, CATOIRE, M., LINSSEN, L. & GIJSBERTSE, K., "Measurement of soldier effectiveness".

Use case cognitieve belasting en prestatie Mixed Reality (2019)

In de use case Mixed Reality wordt gebruik gemaakt van de mixed reality opstelling zoals ontwikkeld in WP3. Binnen deze use case wordt onderzocht wat het effect is van augmented reality (AR) informatie op het cognitief presteren van de militair terwijl de militair fysiek actief bezig is. Wordt de hasty attack hierdoor cognitief meer belastend of juist minder? Welk effect heeft AR op het gebruik van het tactisch display vergeleken met een conditie zonder AR. Daarnaast richt de use case zich op de ervaring (bijvoorbeeld hoe effectief was het bij de uitvoer van je taak, hoe tevreden ben je met deze technologie) van gebruikers met de functionaliteiten beschikbaar door middel van het tactisch display, AR en trilvest.



Figuur 31 Use case study Mixed Reality (2019).

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

- TNO 2020 R10546, BEURDEN, M.H.P.H. VAN ET AL., “Developing a mixed reality platform for evaluating cognitive performance of dismounted soldiers”.
- Mixed reality test set-up.

8 Programmamanagement

8.1 Programmamanagement en disseminatie

Het programmanagement is uitgevoerd conform het plan met 4 projectleiders-overleggen per jaar en regelmatig overleg met programmabegeleiding.

VERSLAGLEGGING EN RESULTATEN:

1. Programmaflyer V1605 SOLAR
2. Jaarrapportages over 2016 - 2019
3. Mid Term Review
4. Bijdrage Innovation in Defence (Figuur 32)



Figuur 32 V1605 SOLAR stand Innovation in Defence, Fokker Terminal Den Haag, 12 december 2019.

9 Verantwoording

9.1 Realisatie programmadoelstellingen

Een appreciatie van de resultaten in relatie tot de programmadoelstellingen per werkpakket is gegeven in hoofdstukken **Error! Reference source not found.** t/m 8. In zijn algemeenheid is het programma er in geslaagd om de doelstellingen te bereiken. Voor administratieve gegevens van het programma wordt verwezen naar bijlage **Error! Reference source not found.** voor de financiële budget- en realisatiereeksen per jaar en naar bijlage **Error! Reference source not found./Error! Reference source not found.** voor een lijst van conferentiebijdragen, artikelen, rapporten en andere resultaten.

9.2 Organisatie en communicatie

Programma-uitvoering heeft voornamelijk plaatsgevonden binnen de TNO Unit Defensie en Veiligheid in een relatief vast multidisciplinair team aangevuld met experts die voor specifieke onderdelen en onderwerpen tijdelijk aan het team werden toegevoegd.

9.2.1 *Afstemming met de programmabegeleider (PGB)*

Begeleiding van het programma was in handen van LtKol Frans van Weenen en LtKol Swanny Hommersom (DEC M&U). Op regelmatige basis werd door de PGL en PBL de stand van zaken rondom het programma en aanverwante zaken besproken.

9.2.2 *Periodiek programmaoverleg (PPO)*

De projecten binnen het programma werden begeleid door het DEC M&U. Deze betrokkenheid van Defensie is essentieel voor het welslagen van de projecten en uiteindelijk het programma. Afstemming tussen projecten vond wekelijks binnen TNO plaats en eens per kwartaal plaats met Defensie tijdens het periodiek programmaoverleg, waarvoor alle projectleiders en –begeleiders van lopende activiteiten werden uitgenodigd, evenals (vertegenwoordiging van) de referent en de coreferent van het programma.

9.2.3 *Mid-Term Review*

Op 8 mei 2018 heeft de MTR van het programma V1605 SOLAR plaatsgevonden bij TNO op de locatie Soesterberg. Aanwezig waren vertegenwoordigers van de Directie Plannen/Kennis & Innovatie (DPLAN/K&I), programmaleider (PGL), PGB, het TNO Defensie Portal Office en de TNO Roadmap Operations & Human Factors (OHF). Tijdens de MTR werd voorgesteld om via WP2.5 ondersteuning te bieden aan de NATO RTG SWEAT. Dit werd later in het vierkant bevestigd en bekrachtigd. Verder werd besloten om het programma op de ingeslagen weg te vervolgen.

9.2.4 *Innovation in Defence*

Op donderdag 12 december 2019 vond het Innovation in Defence evenement plaats. Het programma SOLAR was daarbij aanwezig met grote stand en veel resultaten. Er werd een eindpresentatie gehouden voor een groot publiek.

9.2.5 Overig

Verskillende projectresultaten werden ingediend als wetenschappelijke publicaties tijdens symposia en conferenties, zie bijlage **Error! Reference source not found.** Het werk binnen het programma werd ook gedeeld in het kader van TTCP (The Technical Cooperation Programme) en NATO RTGs en in NATO/NAAG/LCGDSS (NATO Army Armaments Group/Land Capability Group on Dismounted Soldier Systems).

9.3 Evaluatie en Lessons learned

Het programma kende een wat lastige voorgeschiedenis met de samenvoeging van een drietal toch sterk verschillende contouren. Het compromis daaruit ontstaan is V1605 over fysieke en cognitieve belasting. In de beginfase heeft dat geleid tot extra afstemming en overleg.

In het eerste jaar van het programma (2016) werd de SCRUM methodiek gevolgd om via sprints verschillende activiteiten en onderwerpen verder te brengen en steeds concrete resultaten te boeken. Projectleden werkten 2 volle dagen per week aan SOLAR. Dit gaf echter voortdurend afstemmingsproblemen van de projectleden met ander projectwerk en prioriteitsstelling. Hierdoor werd de methodiek in 2017 verlaten, maar bleef wel het relatief kleine team intact inclusief enkele elementen uit de SCRUM.

Succes is moeilijk te voorspellen. De ontwikkeling van www.hittewijzer.nl was primair bedoeld als kennisopbouw met betrekking tot ondersteuningstools voor hittebelasting. Hoe zorg je ervoor dat militairen de juiste beslissing nemen met betrekking tot kleding, activiteiten in relatie tot het weer. Het doel was om voor de Nijmeegse vierdaagse 2018 een eerste tool gereed te hebben. In juni 2018 was www.hittewijzer.nl gerealiseerd. In 2019 was er door televisie-uitzendingen een enorme aandacht voor hitteproblematiek, waarmee ineens het nut van de tool overduidelijk werd. Een volledige lijst van kennisdisseminatie m.b.t. het onderwerp thermo wordt gegeven in bijlage **Error! Reference source not found.**

Het meten van cognitieve prestatie in operationele context is geen sine cure. Met de Mixed Reality omgeving ontwikkeld in V1605 wordt een mooie stap voorwaarts gemaakt naar een omgeving waarin daadwerkelijk fysieke aanwezigheid en fysieke interactie samengebracht is met een kunstmatige omgeving waarin we heel precies de cognitieve prestatie kunnen meten terwijl volledig grip houden op de operationele context.

Samenwerking tussen Defensie, TNO en een universiteit kan tot unieke resultaten leiden. Het experiment met het passief opwarmen van proefpersonen in warm water om besluitvorming te meten, was zo'n combinatie waarbij TNO de faciliteiten (drie grote warmwaterbaden) en coördinatie verzorgde, de experimentele uitvoering samen werd gedaan en de Universiteit uitgebreide data-analyse en de publicatie van een wetenschappelijk paper heeft verzorgd. Geen van de partijen had dit zelf in deze vorm volledig kunnen uitvoeren.

A Financiële rapportage

A.1 Bestedingen per jaar

	Gepland [k€]	Gerealiseerd [k€]
2015	20	18,8
2016	730	713,7
2017	750	769,9
2018	750	563,6
2019	750	870,0
2020	0	85,9
	3.000	3021,9

Bestedingen zijn excl. Correctie BTW.

A.2 Bestedingen per werkpakket

	Gepland [k€]	Gerealiseerd [k€]
WP1	300	248,1
WP2	850	990,0
WP3	1050	1.149,1
WP4	520	354,2
WP5	280	280,4
	3.000	3.021,8

Bestedingen zijn excl. Correctie BTW.

De afwijkingen in de bestedingen per werkpakket zijn veroorzaakt door de keuze voor use cases in de bestedingsovereenkomst. In deze use cases was telkens input nodig uit de werkpakketten 2 en 3, waardoor enige vermenging van de bestedingen plaatsvond.

B Conferentiebijdragen

Kingma, B.R.M., et al. Simulation of thermal cardiovascular strain using a thermophysiological model. 7th International Conference on the Physiology and Pharmacology of Temperature Regulation (PPTR), October 7-12 Split, Croatia. 2018.

Tobita, K., et al. Prediction of thermal comfort based on the Mekjavic-Morrison neuronal model. 7th International Conference on the Physiology and Pharmacology of Temperature Regulation (PPTR), October 7-12 Split, Croatia. 2018.

Beurden, Maurice van, en Roijendijk, Linsey. Towards a Mixed Reality Platform for Applied Cognitive Load Evaluation. [red.] D. Harris. HCII 2019: Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. 2019. pp. 123-136.

Vesela, S., Kingma, B. en Frijns, A. Application of an adjusted neurophysiological (foot) skin blood flow model to a real life study. Abstract book 18th International Conference on Environmental Ergonomics ICEE 2019, 7-12 July 2019 Amsterdam. 2019.

Kingma, B., Anderson, G. en Jay, O. Using WBGT Heat Risk from Weather Forecasts for Cancelling Sport Events: Focus on False Positives. Abstract book 18th International Conference on Environmental Ergonomics ICEE 2019, 7-12 July 2019 Amsterdam. 2020.

Beurden, M. van, Roijendijk, L. en Kingma, B. Passive Heat Stress Effects on Time Perception and Timed Decision Tasks. Abstract book 18th International Conference on Environmental Ergonomics ICEE 2019, 7-12 July 2019 Amsterdam. 2020.

Kingma, Boris. Wet Equivalent air Temperature: an index for wet clothing duration limit of exposure in cold and wet environments. 2020. 5th International Congress on Soldiers' Physical Performance, Quebec, Canada.

Beurden, Maurice van. Cognitive load under physical demanding circumstances. 2020. 5th International Congress on Soldiers' Physical Performance, Quebec, Canada.

Gijsbertse, Kaj. Isolated and combined effects of mass, bulk and stiffness of clothing and equipment on LEAP performance using a newly developed clothing & equipment characteristics suit. 2020. 5th International Congress on Soldiers' Physical Performance, Quebec, Canada.

Catoire, Milène. The effects of equipment mass, bulk and stiffness on LEAP operational performance. Future Soldier Technology Conference and Exhibition 2020, London, UK. 2020.

C Resultaten en verslaglegging

C.1 Lijst van rapporten en publicaties

De weergave is van de volgorde waarin de publicaties voorkomen in het eindverslag.

- TNO 2016 R10830, GAASBEEK, R. & OERLEMANS, H. “SOLAR Trend analysis and scenarios”.
- NATO HFM RTG-238, “Reducing the Burden on the Dismounted Soldier”, 2019, STO-TR-HFM-238.
- CAN/NLD/SWE, “Project arrangement Integration of physical and cognitive burden”, 2017.
- TNO 2018 R10250, WOERING, A.A. V1605 Model Inventory.
- TNO 2020 R10529, KINGMA, B.R.M., “Evaluation of models to estimate thermal load of clothing and equipment”.
- TNO 2018 M10104, KINGMA, B.R.M., “The effect of clothing insulation on heartrate”.
- Vesela S., et al., Effect of local skin blood flow during light and medium activities on local skin temperature predictions, 2019, J. Thermal Biol, 84, pp 439-450.
- TNO 2017 R11429, KOERHUIS, C.L., CANALIA, C. & GJALTEMA, C. “Agility run: a new protocol to measure and evaluate "reactive" agility in infantry soldiers”.
- TNO 2020 R10514, GIJSBERTSE, K., ET AL., “Physical performance modeling: a literature review”.
- “The isolated effects of mass, bulk and stiffness of personal protective equipment and clothing on physical performance when performing a military mobility obstacle course”, Kaj Gijsbertse et al., Human Factors, submitted.
- TNO 2019 R11756, CATOIRE, M, ET AL., “Ontwikkeling van een pak om de effecten van massa, volume en stijfheid van kleding en uitrusting op de fysieke prestatie te meten”.
- TNO 2020 M10532, CATOIRE, M., L. LINSSEN, L. & GIJSBERTSE, K., “Measurement of soldier effectiveness”.
- TNO 2018 R10496, BEURDEN, M.H.P.H. VAN, ROIJENDIJK, L.M.M. & TRIJP, S.M.A. VAN, “Cognitive workload during a Hasty Attack by the Royal Netherlands Marine Corps”.
- TNO 2020 M10337, ROIJENDIJK, L.M.M., BEURDEN, M.H.P.H VAN EN KLEP, D.M.J., “SOLAR: Modelling the effects of heat stress and time-on-task on cognitive performance in cognitive architecture ACT-R”.
- Schweiker, M. et al., Drivers of diversity in human thermal perception, a review for holistic models, 2018, Temperature, 4, pp 308-342.
- TNO 2020 M10625, KINGMA B.R.M. & BEURDEN, M.H.P.H. VAN, “Assessment and Prediction of Soldier Vigilance depending on Environmental conditions, Physical load, Clothing & Equipment and Acclimatisation status”.
- TNO 2019 R11063, BEURDEN, M.H.P.H. VAN & ROIJENDIJK, L.M.M., Development of military relevant ‘cognitive obstacles’ to evaluate clothing and equipment”.

- BEURDEN, MAURICE VAN EN ROIJENDIJK, LINSEY. Towards a Mixed Reality Platform for Applied Cognitive Load Evaluation. [red.] D. Harris. HCII 2019: Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. 2019. pp. 123-136.
- TNO 2020 R10316, CATOIRE, M., ET AL., “Agility Run 2.0”.
- TNO 2018 M11150, BEURDEN, M.H.P.H. VAN, ROIJENDIJK, L.M.M. & BOGERD, C.P. “The effect of elevated core temperature on decision making: A pilot study to determine feasibility of increasing core temperature by water immersion”.
- TNO 2020 M10507, KINGMA, B.R.M. & BAARDEWIJK, J.U. VAN, “Heat flux sensor”.
- Military relevant ‘cognitive obstacles’ to evaluate clothing and equipment”.
- TNO 2020 R10546, BEURDEN, M.H.P.H. VAN ET AL., “Developing a mixed reality platform for evaluating cognitive performance of dismounted soldiers”.
- TNO 17 EBP/177, KHOE Y-S, SOULLIE, T. “Vastlegging resultaten SOLAR methodiek”.
- MAANEN, L. VAN, ET AL., Core body temperature speeds up temporal processing and choice behavior under deadlines. 2019, Sci Rep, Vol. 9. 10053.
- KINGMA, B.R.M. ET AL. Time perception and timed decision task performance during passive heat stress”, 2020, Temperature, *to be submitted*.
- KINGMA, B.R.M. & WOERING, A.A. “Hittewijzer [Online]”, www.hittewijzer.nl.
- KINGMA, B.R.M. & BAARDEWIJK, J.U. VAN, “Koudewijzer. [Online]”, www.koudewijzer.nl.
- TNO 2018 M10408, WOERING, A.A., “Solar Cognitive Design Sprint”.

C.2 Lijst van andere resultaten

Alle onderstaande meetopstellingen en modellen staan beschreven in één of meer van bovenstaande rapporten, maar vormen ook zelfstandig een resultaat uit het programma:

- V1605 SOLAR Agility Run(2017), evaluatie-opstelling;
- Airsoft schietsimulator;
- V1605 SOLAR Agility Run 2.0 (2019), evaluatie-opstelling;
- Agility suit: massa, volume en stijfheid testpak (2018/2019);
- C-LEAP hindernissen (2016/2019), evaluatie-opstelling;
- Mixed reality omgeving (2018/2019), evaluatie-opstelling;
- Scope Thermal V3.1 Anorak (2018), thermische modellersoftware;
- Musculo-skeletal model in Anybody;
- www.hittewijzer.nl;
- www.hittewijzer.nl/nato;
- www.hittewijzer.nl/atletiekunie;
- www.hittewijzer.nl/Factsheet Hittestress.pdf;
- www.koudewijzer.nl.

D Disseminatie van thermofysiologie in SOLAR

Het onderzoeksthema 'thermische belasting' richt zich op de impact van hitte, kou en natte kou op fysiek en cognitief presteren. Kennisborging vindt plaats door middel van literatuuronderzoek, het ontwikkelen van fysiologische en natuurkundige numerieke modellen en het toetsen van de modellen met experimenten. Binnen SOLAR is er toegespitst op ondersteuning en ontwikkeling van:

D.1 Fysiologische modellen

- Thermische belasting in de hitte wordt experimenteel uitgedrukt in verandering in kerntemperatuur, vochtverlies door zweten, en de mate van verhoogde hartslag. Deze informatie wordt gebruikt om kaf van koren te scheiden betreft operationele effecten van kleding en uitrusting op de fysieke gesteldheid. Echter, uit literatuuronderzoek blijkt dat in thermofysiologische modellen enkel het effect op kerntemperatuur en vochtverlies door zweten gekwantificeerd wordt. Binnen SOLAR is er een handvat gemaakt voor thermofysiologische modellen om ook de stijging in hartslag te kunnen simuleren op basis van lichaamskarakteristieken, weer, kleding en activiteit.

D.2 Technologieontwikkelingen

- De fysica van het warmte- en vochtransport is een belangrijk onderwerp bij het formuleren van adequate maatregelen. Natte kleding is grotendeels onderbelicht in huidige richtlijnen betreft opereren in koude omstandigheden. Binnen SOLAR wordt een toegankelijke index ontwikkelt om het effect van natte kou op operationele inzet in te schatten.
- Ambulant monitoren van de lichamelijke gesteldheid van personeel is een tweede technologische maatregel die onder de loep wordt genomen. Hierbij is samen met het TNO-Holst wearable technology en de TU/e een stap gezet in de ontwikkeling van een sensor om niet-invasief de lichaamstemperatuur te kunnen volgen.

D.3 Gedragsaanpassingen

- Wanneer technische maatregelen niet afdoende zijn onder omstandigheden, moeten er gedragsmatige aanpassingen plaatsvinden. Binnen SOLAR is een ontwikkelingsstap gemaakt om richtlijnen omtrent opereren in hitte en kou intuïtief inzichtelijk te maken. Hieruit volgen procedures die ervoor zorgen dat inzetbaarheid op voldoende niveau blijft, door kledinglagen toe te voegen of af te nemen, door fysieke activiteit te plannen etc. De eerdergenoemde numerieke modellen liggen aan de basis van het kunnen vertalen van gegevens omtrent weer, kleding & uitrusting en activiteit naar operationele risico's en daarbij passende mitigerende gedragsaanpassingen.

Het werk binnen SOLAR heeft geresulteerd in:

- diverse media optredens en disseminatie van onderzoek;
- kennisvragen uit binnen- en buitenland;
- externe verwijzingen naar research output.

D.4 Media disseminatie

2018

- Januari
 - NPO radio 1 kou en gezondheid (<https://www.nporadio1.nl/homepage/7892-feit-of-fictie-een-koud-huis-is-gezond-voor-je>);
 - AD temperatuur gevoeligheid op kantoor (<https://www.ad.nl/ad-werkt/waarom-heeft-de-een-het-te-warm-op-kantoor-en-de-ander-te-koud~af3214ed/?referrer=https://www.google.com/>);
 - AD temperatuur en gezondheid (<https://www.ad.nl/wonen/bij-ons-thuis-is-het-soms-maar-9-graden~a9b881b3/>).
- Februari
 - AT5 gevoelstemperatuur (<https://www.at5.nl/artikelen/179039/het-vriest-een-paar-graden-maar-het-voelt-een-stuk-kouder-wat-is-gevoelstemperatuur-precies-en-waarom-is-dit-belangrijk>).
- Maart
 - NH nieuwsblad gevoelstemperatuur (<https://www.nhnieuws.nl/nieuws/221340/wat-is-gevoelstemperatuur-precies-en-waarom-is-het-belangrijk>).
- Juli
 - NOS omgaan met hitte (<https://nos.nl/artikel/2243485-met-een-glas-schaafijs-ga-je-de-hitte-echt-goed-te-lijf.html>);
 - Margriet omgaan met hitte (<https://www.margriet.nl/actueel/afkoelen-kies-voor-schaafijs/>).
- Augustus
 - Thomsom Reuters Foundation Man Vrouw verschil thermofysiologie (<https://www.reuters.com/article/us-usa-women-politics/chilly-working-environments-are-sexist-says-us-candidate-cynthia-nixon-idUSKCN1LF1Y9>);
 - BNR interview (<https://www.bnr.nl/nieuws/binnenland/10350141/menselijk-lichaam-kan-zich-niet-aanpassen-aan-kou>).
- December
 - Nu.nl factchecker koude handen vrouwen (<https://www.nu.nl/gezondheid/5634914/nucheckt-vrouwen-hebben-echt-eerder-koude-handen-en-voeten-.html>);
 - AD ideale temperatuur (<https://www.ad.nl/ad-werkt/met-persoonlijk-klimaatsysteem-hoef-je-het-niet-meer-koud-te-hebben-op-kantoor~a0b45ca4/>).

2019

- Januari
 - RTL nieuws kou en kinderdagverblijf (<https://www.rtlnieuws.nl/lifestyle/gezin/artikel/4586076/kinderopvang-laat-peuters-op-blote-voeten-de-sneeuw-lopen-daar>).

- Maart
 - Klokhuis gevoelstemperatuur (<https://www.youtube.com/watch?v=XZiSH3wall4>).
- Juli
 - Ministerie sociale zaken en werkgelegenheid – werken in hitte (<https://magazines.arboportaal.nl/arbomagazine/2019/06/index>);
 - RTL nieuws interview Beijing Bikini (<https://www.rtlnieuws.nl/nieuws/nederland/artikel/4769761/beijing-bikini-naakt-bloot-buik-rug-lichaamswarmte-verliezen>);
 - NOS interview omtrent fysieke en cognitieve prestatie dames voetbal elftal (<https://nos.nl/op3/artikel/2291189-wat-doet-die-hitte-met-de-oranjevrouwen-en-met-ons.html>);
 - RTL-nieuws TV interview omtrent onwel worden kinderen.
- Augustus
 - Nieuws&Co Radio 1 interview belang kennis omtrent risico's hitte (<https://www.nporadio1.nl/nieuws-en-co/onderwerpen/511614-ook-niet-sporters-lopen-gevaar-op-oververhitting>).

D.5 Links naar hittewijzer.nl door derden

- Ministerie van Defensie
 - <https://www.facebook.com/MinvanDefensie/posts/het-wordt-warm-heel-warm-dat-betekent-dat-we-tijdens-ons-werk-of-op-verlof-goed-/2906651146076703/>.
- Ministerie van Sociale zaken en Werkgelegenheid
 - <https://www.arboportaal.nl/externe-bronnen/instrumenten/tno-hittewijzer>;
 - <https://magazines.arboportaal.nl/arbomagazine/2019/06/index>;
 - <https://www.arboportaal.nl/externe-bronnen/instrumenten/tno-koudewijzer>.
- BNR
 - <https://www.bnr.nl/nieuws/binnenland/10350141/menselijk-lichaam-kan-zich-niet-aanpassen-aan-kou>.
- RTL nieuws
 - <https://www.rtlnieuws.nl/nieuws/nederland/artikel/4808566/400-extra-doden-een-week-tijd-dat-niet-heel-veel>.
- Volkskrant
 - <https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/36-kinderen-onwel-tijdens-jeugdkamp-in-leusden-wat-ging-er-mis~b658bc12/>.
- Zembla
 - <https://zembla.bnnvara.nl/nieuws/militairen-met-hitteletsel-na-twee-dagen-ontslagen-uit-ziekenhuis>;
 - <https://zembla.bnnvara.nl/nieuws/rode-kruis-sporters-onderschatten-oververhitting>.
- TNO
 - <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2019/1/koudewijzer-geeft-overzicht-van-de-gevoelstemperatuur/>.

- Overig
 - <https://www.arboinspectie.nl/verplicht-aan-de-slag-met-gladheid-voor-de-deur/>;
 - <https://hardlopenhyperthermie.org/wegwijzer/>;
 - <https://soliid.nl/2019/01/>;
 - <https://deveiligheidskundige.nl/actueel?start=84>;
 - <https://www.avmtraining.nl/nieuws/winters-werk-en-gezondheidsrisico-s>;
 - <https://www.totalsafety.nl/aggregator/sources/2>.

D.6 Kennisvragen op basis van research output

- Meetmethoden thermisch comfort
 - US House of commons.
- Voorbereiding op hitte
 - Universiteit Twente solar race team (Australie) vragen omtrent voorbereiding hitte.
- Kennisbenutting omtrent inschatten economische effecten klimaatverandering
 - EU project Heatshield.
- Kennisbenutting implementatie thermische modellen
 - EU Project ClimAPP;
 - FNV Werkklimaat app.

E Quantifying mental effort in heart rate during a thermal challenge

E.1 Introduction

Military personnel faces both physical and cognitive challenges. Methods exist that can quantify physical effort based on physiological measurements (Brage et al., 2007), but for cognitive load this is more difficult. Nevertheless, it would be useful to have a similar quantification of the mental effort, because it could be used to measure and monitor the load on a military person and give indications of stress and (mental) overload. In this memo, we explore a new method to quantify mental effort using heart rate measurement.

E.2 Heart rate components

By measuring the heart rate, we can give an estimation of the physical effort that is done. A body at rest has a heart rate that is necessary for the basal functioning of the human body. If heart rate rises, it is an indication that the body performs an increased physical effort and is no longer at rest. However, physical effort is not the only factor that can increase heart rate, but the mental effort that is done during most cognitive tasks seems to increase heart rate as well (see Figure 1) (Kennedy and Scholey, 2000). Consequently, an increase in heart rate could also give an indication of mental effort.

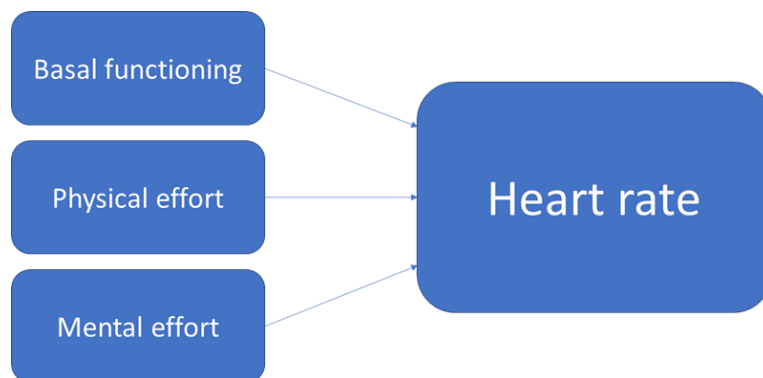


Figure 1 Heart rate can be seen as coming from three different sources.

E.3 Distinction of heart rate components

Measuring the increase in heart rate due to mental effort becomes a bigger challenge when physical and mental tasks are combined and the heart rate increases due to both types of tasks. If a distinction can be made between these two different sources of heart rate increase, we could use heart rate as a measure for mental effort, even during physical effort.

Therefore, we need to know the increase in heart rate that is caused by the physical task. If we know this fraction of heart rate, we can subtract that from the

real/measured heart rate in order to obtain the heart rate increase that is caused by the mental effort and other factors. We will call this added heart rate, e.g.

$$HR_{added} = HR_{measured} - HR_{physical},$$

where HR_{added} = the added heart rate
 $HR_{measured}$ = the real or measured heart rate
 $HR_{physical}$ = the heart rate caused by physical factors only

This can be used as indication for mental effort.

One method to estimate $HR_{physical}$, the heart rate caused by physical factors is to use a model that calculates the heart rate based on information about the physical task only. For an accurate model, a further distinction of different sources that increase the heart rate due to the physical effort is needed.

As can be seen in Figure 2, a distinction is made between thermal load and activity. Thermal load is defined here as the physical load on the human body that is caused by the internal and external thermal conditions and activity as the physical activity that is performed.

A thermophysiological model is needed that could model the heart rate based on measurable parameters about the basal functioning, the thermal load and the activity that is performed.

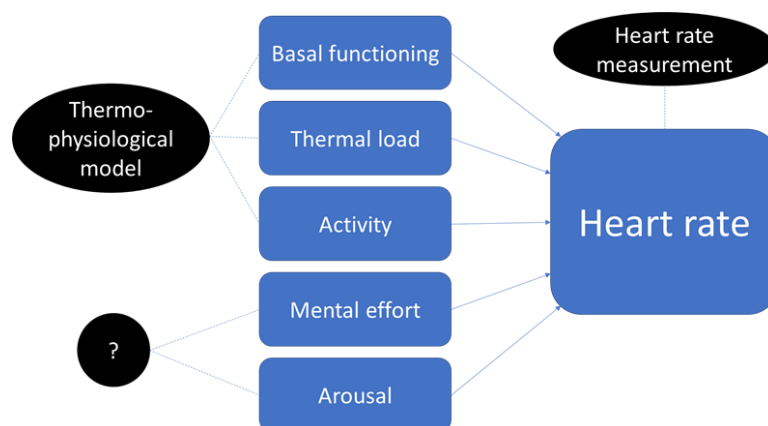


Figure 2 A further distinction of sources for heart rate and possible methods to quantify the different sources. No apparent method exists for quantifying mental effort and arousal.

Scope as thermophysiological model

For this study, we used a model called Scope, which is an individualized model of human thermoregulation developed by TNO (Havenith, 2001). The original model is recently extended with a model for heart rate (Klous et al. submitted 2020).

Hypothesis

The hypothesis is that the heart rate is significantly higher than the model value during the cognitive tasks compared to the parts without cognitive tasks. However, in order to quantify this difference in heart rate, we will look into the residual of the measured values.

The residual is the difference between the measured value and the predicted or model value. If the residual values are normally distributed around the model value during the parts without cognitive tasks, we would expect them to be normally distributed around a higher value than the model value during the parts with cognitive tasks. The higher value would indicate an added heart rate due to mental effort. This hypothetical situation is shown in Figure 3.

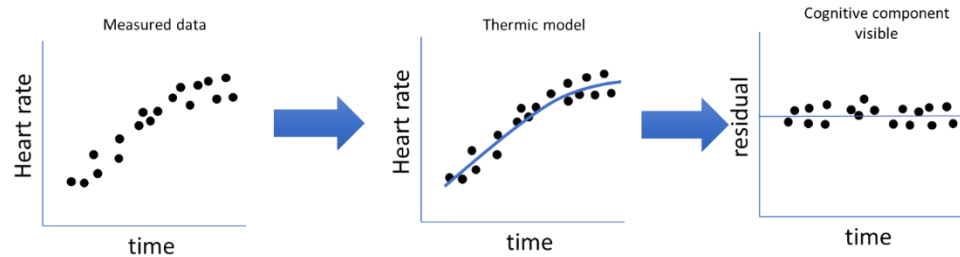


Figure 3 Hypothetical result: the residual is normally distributed around a higher value than the model value, only during the cognitive task (the center part in this example).

E.4 Experimental data

For our analysis, we needed a dataset of the heart rate of people undergoing cognitive challenges. We took the dataset from an experiment where participants performed cognitive tasks under various environmental conditions (van Maanen et al, 2019). Two conditions were in a water-filled bath, one with a water temperature of 36°C, the other 38°C. Prior to each condition in the bath, participants performed the same cognitive tasks as in the bath but without the thermal challenges. Our dataset contained several parts where a cognitive task was carried out (before entering the bath, 20 minutes after entering the bath and right before leaving the bath after 60 minutes). The other parts of the dataset were used as the baseline, where we tried to fit the model on.

Fitting of the model was done by trying different input parameters in scope. Particularly, the physical fitness ($\dot{V}O_2\text{max}$) of the participants was iterated, as this was an unknown parameter. Evaluation of the fit was done by doing a residual analysis: the measured values were compared with the model values. After the residuals were determined, we compared the spread of the residuals from the baseline parts (the parts where no cognitive task was carried out) with the residuals from the cognitive task parts.

Our first analysis was on the average values of the measurements from all participants. We expected the strongest effect on these average measurements.

Scope settings

All the phases of the experiment were modeled in Scope. The final setup of input parameters that was used is as follows:

Activities

1. 14 minutes of RestSitting (150W, work 0)
2. 2 minutes of Stand-up (200 W, work 0)
3. 69 minutes of Bathing (105 W, work 0)

Weather

1. T=25.0C; V=0.1m/s; RH=80.0%; R=0.0W/m²; for 15 minutes.
2. T=33.0C; V=0.1m/s; RH=100.0%; R=0.0W/m²; for 70 minutes; submerged: body only; water temperature: 36°C/38°C (two different conditions)

Clothing

Body Segment	Circumference	Nr. of Air Layers	Total Air Thickness	Fabric Thickness	NL garm...
Head	597	0	0	0	<input type="checkbox"/>
Face	597	0	0	0	<input type="checkbox"/>
Neck	408	1	0,5	0,4	<input checked="" type="checkbox"/>
Shoulders	754	1	0,5	0,4	<input checked="" type="checkbox"/>
Upper trunk	1.005	1	0,5	0,4	<input checked="" type="checkbox"/>
Lower trunk	1.005	1	0,5	0,4	<input checked="" type="checkbox"/>
Upper ar...	283	1	0,5	0,4	<input checked="" type="checkbox"/>
Lower ar...	251	1	0,5	0,4	<input checked="" type="checkbox"/>
Hands	220	0	0	0	<input type="checkbox"/>
Thighs	565	1	0,5	0,4	<input checked="" type="checkbox"/>
Upper cal...	408	1	0,5	0,4	<input checked="" type="checkbox"/>
Lower cal...	408	1	0,5	0,4	<input checked="" type="checkbox"/>
Feet	283	0	0	0	<input type="checkbox"/>

Person

Gender: male
 Body weight: 76 kg
 Body height: 1.83 m
 Fat: 15%
 Fitness: 0.8
 Acclimatization: 30 days

Determination of residual

We determined the residual by subtracting the predicted (model) value from the measured value.

E.5 Results

Our first analysis was about comparing the average measurement values with the model values and calculating the residual. The results for the 38°C condition are shown in Figure 4. The residual is highest around time 0, when the subject is entering the bath and the lowest at the end.

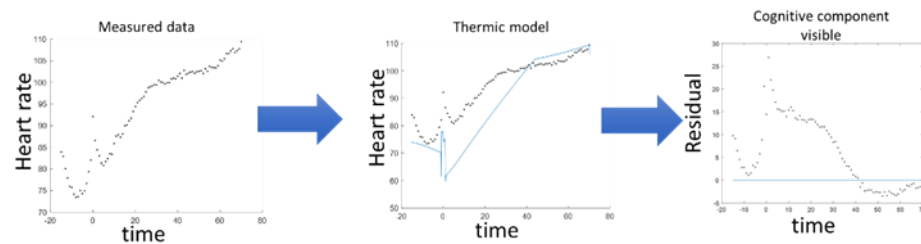


Figure 4 Results on average values from warm condition (38°C). The model fit could not be improved further. The result was not good enough to make a cognitive component visible.

E.6 Discussion

From our first results it became clear that continuing our method would not give any useful results. It was not possible with our current model to fit the measured values exactly on the non-cognitive parts, which the results shown above made very clear. A possible reason is that the heart rate model is developed for upright position, and the heart rate model is not valid in supine position (such as during bathing). Because no other dataset could be obtained no further analysis could be performed. Nevertheless, the principle of the analysis still holds, and with a different dataset – in upright position, and possibly without specific thermal challenge, heart rate can be simulated correctly over the non-cognitive task periods. Therefore, the suggestion for future work is to revisit the analysis with a more appropriate dataset.

E.7 Bibliography

Brage, S., Ekelund, U., Brage, N., Hennings, M.A., Froberg, K., Franks, P.W., and Wareham, N.J. (2007). Hierarchy of individual calibration levels for heart rate and accelerometry to measure physical activity. *Journal of Applied Physiology* 103, 682–692.

Havenith, G. Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *J. Appl. Physiol.* (2001). doi:10.1152/jappl.2001.90.5.1943.

Kennedy, D.O., and Scholey, A.B. (2000). Glucose administration, heart rate and cognitive performance: effects of increasing mental effort. *Psychopharmacology* 149, 63–71.

Klous, L., Folkerts, M., Catoire, M., Schaik van, M., Baardewijk van J.U., Kingma, B. (2020), in prep., Modeling heart rate using input from a thermoregulation model. *J. Thermal Biology*.

van Maanen, L., van der Mij, R., van Beurden, M. H., Roijendijk, L. M., Kingma, B. R., Miletić, S., & van Rijn, H. (2019). Core body temperature speeds up temporal processing and choice behavior under deadlines. *Scientific reports*, 9(1), 1-12.

TNO PUBLIEK
REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL)	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO
-	-	TNO 2020 R10774
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO	5. CONTRACT NO	6. REPORT DATE
060.39768	-	May 2020
7. NUMBER OF PAGES	8. NUMBER OF REFERENCES	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED
59 (incl 5 appendices, excl RDP & distribution list)	-	Final
10. TITLE AND SUBTITLE		
Eindrapportage V1605 Soldier Optimal Load Assessment Research (SOLAR)		
11. AUTHOR(S)		
A.A. Woering		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)		
TNO, P.O. Box 23, 3769 ZG Soesterberg, The Netherlands Kampweg 55, Soesterberg, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)		
DEC M&U, Defence Centre of Expertise for Soldier Modernisation, Bernardkazerne / Barchman Wuytierslaan 198 / 3818 LN / Amersfoort / Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES		
The classification designation Ongerubricenseerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE))		
Final report pertaining to the V1605 Soldier Optimal Load Assessment Research program.		
16. DESCRIPTORS	IDENTIFIERS	
Soldier technology, performance, physical load, cognitive load, heat and cold		
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
TNO Publiek	TNO Publiek	TNO Publiek
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)	
Unlimited Distribution	TNO Publiek	

TNO PUBLIEK

Distributielijst (Rapport TNO 2020 R10774)

Ten behoeve van de distributie binnen Defensie

<i>Dynamisch Informatie Beheer, DMO MPC 55A (Kromhoutkazerne)</i>	<i>cd</i>
DEFENSIE	
DefensieStaf/DPlan Gen. Maj. A. Steur MPC 58B (Ministerie van Defensie)	alleen aanbiedingsbrief
DefensieStaf/DPlan/Afd Kennis & Innovatie KTZ C.M. van den Berg MPC 58B (Ministerie van Defensie)	pdf
NLDA/Projectbureau K&I Defensie Programma procesbegeleider L.H.M. van Bijsterveld MPC 71C (Kasteel)	hardcopy
NLDA/Projectbureau K&I Ir. W.C. Borawitz MPC 71C (Kasteel)	hardcopy
Defensie Programmabegeleider LtKol Z. Hommersom MPC 52A (Bernhardkazerne)	hardcopy
DMO/Joint IV Commando/C4I&I/ Informatie-Beheer/PDB MPC 55A (Kromhoutkazerne)	pdf
TNO	
Referent, Roadmap Directeur R. Le Fèvre	email-alert
Programmaleider (PGL) A.A. Woering	email-alert
Research manager PGL E.W. Boot	email-alert
Portal Office, secretariaat T. van der Vat	hardcopy
TNO Archief locatie Soesterberg TNO Archief locatie Soesterberg	hardcopy cd