

TNO Defensie en Veiligheid

Kampweg 5  
Postbus 23  
3769 ZG Soesterberg

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

T +31 346 35 62 11  
F +31 346 35 39 77  
Info-DenV@tno.nl

TNO-rapport

TNO-DV 2007 A329

ATHENA: de combinatie van een helderheidsversterker en thermische kijker met kleurweergave

Datum augustus 2007

Auteur(s) dr. A. Toet  
dr. M.A. Hogervorst  
ir. H.A. Lensen  
drs. K.W. Benoist  
ing. R. de Rooy

Rubricering rapport Ongerubriceerd  
Vastgesteld door kol W.C.M. Tielemans  
Vastgesteld d.d. 25 juli 2007

Titel	Ongerubriceerd
Managementuittreksel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlage	Ongerubriceerd

Exemplaarnummer	
Oplage	15
Aantal pagina's	100 (incl. bijlage, excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	1

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

Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwijzen 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.



# ATHENA: de combinatie van een helderheidsversterker en thermische kijker met kleurweergave

In het ATHENA NTP project werd een gecombineerde helderheidversterker en thermische kijker ontwikkeld voor observatie, doelopsporing en navigatie onder omstandigheden met verminderd zicht. Dit rapport beschrijft het ATHENA systeem, het beeldmateriaal dat er mee werd verzameld in de loop van het project, en enkele situaties waarin de meerwaarde van het systeem duidelijk is gebleken.



## Probleemstelling

Het NTP-project ATHENA, dat medio 2005 van start ging, had als doel te demonstreren dat een camera systeem, bestaande uit een gecombineerde HV- en WB-camera, onder uiteenlopende omstandigheden met verminderd zicht een beeld kan produceren met een natuurlijke kleurenweergave.

Een studie naar de inzetmogelijkheden van een camera gebaseerd op het ATHENA-concept ofwel ATHENA-systeem maakte deel uit van het project. Met name werd

daarbij gekeken naar de inzetmogelijkheden waarin meerwaarde wordt verwacht van het concept ten opzichte van een enkele HV of WB-systeem.

## Beschrijving van de werkzaamheden

Er werd een overzicht opgesteld van operationele en waarnemings-taken die uitgevoerd zouden kunnen worden met een ATHENA-systeem. Vervolgens werden aan de hand van kenmerken van HV- en WB-

camera's de voordelen en beperkingen van een ATHENA-systeem onderzocht, in het bijzonder tijdens omstandigheden met verminderd zicht. Voor WB-camera's werd een nadere verkenning uitgevoerd voor systemen die opereren in het 'midwave infrared' (MWIR) en het 'longwave infrared' (LWIR) gebied.

## Resultaten en conclusies

In condities met schaduwen, rook en camouflagemaatregelen is duidelijk gebleken dat het ATHENA concept in praktijk een meerwaarde heeft. Maar ook bij de inspectie van terreinen waarin natuurlijke en artificiële details naast elkaar voorkomen blijkt een beeld dat is opgebouwd volgens het ATHENA concept een meer volledige representatie te geven dan de combinatie van de afzonderlijke beelden, hetgeen van belang kan zijn voor het opbouwen van een situationeel bewustzijn.

## Toepasbaarheid

Door het beschikbaar komen van steeds meer verschillende multiband sensor-systemen (systemen die gevoelig zijn in meerdere spectrale banden), in combinatie

**ATHENA: de combinatie van een helderheidsversterker  
en thermische kijker met kleurweergave**

met de steeds verder gaande digitalisering en miniaturisering, de toenemende rekenkracht van processor chips, en de

verder gaande prijsdaling van dergelijke systemen, is de marktverwachting voor het ATHENA concept gunstig.

PROGRAMMA	PROJECT
Programmabegeleider -	Projectbegeleider kol-vliegerarts W.C.M. Tielemans, Center for Man in Aviation
Programmaleider -	Projectleider dr. A. Toet, TNO Defensie en Veiligheid
Programmatitel -	Projecttitel ATHENA
Programmanummer -	Projectnummer 013.45405/01.01
Programmaplanning -	Projectplanning Start 1 februari 2005 Gereed 1 juli 2007
Frequentie van overleg Met de projectbegeleider werd 3 maal gesproken over de invulling en de voortgang van het onderzoek.	Projectteam dr. A. Toet dr. M.A. Hogervorst ir. H.A. Lensen dr. ir. J. Dijk drs. K.W. Benoist ing. R. de Rooy J. Koole

**Contact en rapportinformatie**

Kampweg 5  
Postbus 23  
3769 ZG Soesterberg

T +31 346 35 62 11  
F +31 346 35 39 77

Info-DenV@tno.nl

**TNO-rapportnummer**  
TNO-DV 2007 A329

**Opdrachtnummer**

-

**Datum**  
augustus 2007

**Auteur(s)**  
dr. A. Toet  
dr. M.A. Hogervorst  
ir. H.A. Lensen  
drs. K.W. Benoist  
ing. R. de Rooy

**Rubricering rapport**  
Ongerubriceerd



## Samenvatting

De Krijgsmacht heeft behoefte aan adequate zichtmiddelen waarmee waarnemings- en identificatietaak 24 uur per dag en onder omstandigheden met verminderd zicht kunnen worden uitgevoerd. In het ATHENA Nationaal Technologie Progamma (NTP) van het Ministerie van Defensie werd een gecombineerde helderheidversterker en thermische kijker ontwikkeld voor observatie, doelopsporing en navigatie onder omstandigheden met verminderd zicht. Tevens werd er een studie gedaan naar de inzetmogelijkheden van een dergelijk systeem.

Het ATHENA systeem genereert een kleurenbeeld waarvan de kleurenweergave kan worden aangepast aan de omgeving en de taak. Zo kan voor navigatie en observatie doeleinden gekozen worden voor een natuurlijke kleurenweergave, terwijl voor de detectie van gecamoufleerde doelen een niet-realistische kleurenweergave beter geschikt is.

Bij het maken van veldopnamen is duidelijk gebleken dat het ATHENA concept in condities met schaduwen, rook en camouflagemaatregelen een meerwaarde heeft. Maar ook bij de inspectie van terreinen waarin natuurlijke en artificiële details naast elkaar voorkomen blijkt een beeld dat is opgebouwd volgens het ATHENA concept meer informatie te geven dan de combinatie van de afzonderlijke beelden.

Door het beschikbaar komen van steeds meer verschillende multibandsensorsystemen (systemen die gevoelig zijn in meerdere spectrale banden), in combinatie met de steeds verder gaande digitalisering en miniaturisering, de toenemende rekenkracht van processor chips, en de verder gaande prijsdaling van dergelijke systemen, is de marktverwachting voor het ATHENA concept gunstig.



## Summary

For defense purposes there is a need for all-day, all-night, all-weather vision systems to enable the performance of observation and identification tasks. In the ATHENA National Technology Project of the Dutch Ministry of Defense we developed a combined intensified and thermal imaging device for observation, target detection and navigation in conditions with low visibility. We also investigated the operational deployability of this system.

The ATHENA system produces an image of which the colour representation can be adapted to the conditions and the task. A natural colour setting can be used for navigation and surveillance purposes, whereas a false colour setting is more appropriate for the detection of camouflaged targets.

Image registrations made during field trials clearly show the operational benefits of the ATHENA system in conditions with shadows, smoke and camouflage. For terrain containing both natural and man-made details, the system produces an image representation that is more informative than the combination of the individual input images.

The combination of increasing availability of multispectral imaging systems, progressive digitalization and miniaturization, increasing processing power, and steadily decreasing system costs indicates favorable marketing prospects.



## Inhoudsopgave

<b>Managementuittreksel.....</b>	<b>3</b>
<b>Samenvatting.....</b>	<b>5</b>
<b>Summary .....</b>	<b>7</b>
<b>Afkortingen .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Inleiding.....</b>	<b>13</b>
1.1 Het NTP-project ATHENA .....	13
1.2 Achtergrond .....	13
1.3 ATHENA deliverables.....	15
<b>2 Optimalisatie van de kleuren fusie algoritmen.....</b>	<b>17</b>
2.1 Inleiding.....	17
2.2 Statistische gelijkstelling van beelden .....	17
2.3 Gebruik van kleurentabellen.....	18
2.4 Inkleuring van twee-kanaals sensorbeelden aan de hand van samples .....	20
2.5 Natuurlijke inkleuring met accentuering van potentiële doelen .....	24
2.6 Kleurentransformatie voor optimale discriminatie .....	26
<b>3 Het ATHENA systeem.....</b>	<b>27</b>
3.1 De ATHENA hardware .....	28
3.2 De ATHENA software.....	30
3.3 Systeem integratie.....	32
<b>4 De meerwaarde van het ATHENA-concept.....</b>	<b>37</b>
4.1 Terreinwaarneming.....	37
4.2 Detectie en lokalisatie van personen.....	37
4.3 Waarneming in schaduwpartijen.....	37
4.4 Waarneming bij rook .....	37
4.5 Doorbreken van camouflage maatregelen.....	38
<b>5 Conclusies en aanbevelingen.....</b>	<b>39</b>
5.1 Meerwaarde .....	39
5.2 Marktverwachting.....	39
5.3 Mogelijke verbeteringen .....	39
5.4 Waarnemingsexperimenten .....	41
<b>6 Referenties.....</b>	<b>43</b>
<b>7 Ondertekening.....</b>	<b>45</b>
<b>Bijlage(n)</b>	
A ATHENA Beeldmateriaal	



## Afkortingen

ATHENA	Advanced THERmal and Night vision target Acquisition sight
CCD	charge coupled device
CCIR	video signaal standaard vastgelegd door de Comité Consultatif International des Radiocommunication
EMCCD	electron multiplying CCD
FOV	field of view
GPS	global positioning system
HV	helderheidsversterker
ICCD	intensified CCD
IR	infrared
LUT	lookup table
LWIR	longwave infrared
MWIR	midwave infrared
NIR	near infrared
NTP	Nationaal Technologie Progamma van het Ministerie van Defensie
TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
WB	warmtebeeld



# 1 Inleiding

## 1.1 Het NTP-project ATHENA

Dit rapport is het eindverslag van het ATHENA project dat medio 2005 van start ging en dat plaats vond in het kader van het Nationaal Technologie Progammma (NTP) van het Ministerie van Defensie. Dit project had als doel te demonstreren dat een camera systeem, bestaande uit een helderheidsversterker (HV) en een warmtebeeld (WB) camera, in combinatie met een gecombineerde en gekleurde weergave van de beelden van deze camera's, onder uiteenlopende omstandigheden met verminderd zicht een beeld kan produceren met een natuurlijke kleurenweergave. In het vervolg zullen we dit principe aanduiden als het ATHENA concept, en het systeem waarmee dit principe wordt gedemonstreerd als het ATHENA systeem.

Het project richtte zich op het construeren van een demonstratiecamera (het ATHENA-systeem) en het demonstreren van het ATHENA concept voor in eerste instantie grondgebonden observatie-, doelopsporings- en navigatietaken.

Onderdeel van het NTP-project was een studie naar de inzetmogelijkheden van een ATHENA systeem. Met name ging het daarbij om de inzetmogelijkheden waarin meerwaarde wordt verwacht van het concept ten opzichte van een enkele HV of WB-camera.

## 1.2 Achtergrond

### 1.2.1 Probleemstelling

De veranderende taakstelling van de Nederlandse krijgsmacht in het kader van crisisbeheersings-operaties leidt ertoe dat de Nederlandse eenheden steeds vaker worden ingezet in relatief uitgestrekte en onbekende gebieden waar men wordt omringd door eenheden die geweld kunnen uitoefenen. Bij een dergelijk optreden is intensieve waarneming en verkenning van uitzonderlijk belang. Er is daarom een sterk toegenomen behoefte aan adequate zichtmiddelen waarmee waarnemings- en identificatietaken 24 uur per dag en onder omstandigheden met verminderd zicht kunnen worden uitgevoerd. In de Defensienota 2000 wordt het optreden rondom de klok dan ook aangemerkt als een van de prioriteiten bij nieuwe aanschaffingen.

### 1.2.2 Probleemcontext

Het gebruik van nachtzichtapparatuur (helderheidversterkers en warmtebeeldcamera's) waarmee waarnemers ook 's nachts en onder omstandigheden met verminderd zicht in staat zijn om hun omgeving visueel te verkennen, neemt gestaag toe. De momenteel gangbare typen nachtzichtcamera's produceren doorgaans een monochroom (grijs- of groenkleurig) beeld. Een dergelijke weergave maakt het vaak moeilijk om een goede indruk van de omgeving te krijgen, en kan aanleiding geven tot het optreden van visuele illusies en een verlies van situationeel bewustzijn. Er komen echter steeds meer nachtzichtcamera's beschikbaar die afbeeldingen maken in meerdere spectrale banden. Deze camera's kunnen een 'false-colour' afbeelding van de buitenwereld maken door de afzonderlijke spectrale banden in de verschillende kanalen van een kleurendisplay af te beelden. Met dergelijke systemen wordt echter geen realistische kleurweergave

bereikt (vandaar de aanduiding ‘false-colour’). In voorgaande studies is gebleken dat de prestaties van waarnemers met ‘false-colour’ beelden afhangt van de natuurgetrouwheid van de kleurenweergave (de mate waarin deze weergave overeenstemt met de werkelijkheid, Toet et al., 1997; Toet, 2006; Toet & Franken, 2003). Waarnemers die visuele zoek- en detectietaken uitvoeren presteren slechter met beelden die er ‘onnatuurlijk’ gekleurd uitzien, en ze presteren beter wanneer de beelden er intuïtief vertrouwd uitzien. Door de vaak sterk uiteenlopende aard van de verschillende spectrale banden (de signalen geven ofwel alleen de reflectie- ofwel een combinatie van reflectie- en emissie-eigenschappen van het materiaal in de scène weer) is het principeel onmogelijk een afbeelding te construeren die in alle gevallen overeenkomt met de ons bekende daglichtkleurenfoto. Men heeft daarom de keuze (1) een kleurenafbeelding te ontwerpen die in de meeste gevallen goed overeenkomt met het vertrouwde kleurenbeeld, of (2) de kleurenafbeelding voortdurend aan te passen aan de wisselende omstandigheden.

De verschillende nachtzichttechnologieën vullen elkaar aan, omdat ze verschillende informatie over de scène afbeelden. Zo kan een gecombineerd warmtebeeld (WB) en helderheidsversterker (HV)-beeld een vollediger beeld geven van de scène dan elk der afzonderlijke beelden. Het combineren van verschillende technologieën biedt nog meer belangrijke voordelen, zoals:

- een verbetering van de (intuïtieve) ‘situationeel bewustzijn’ en de detectieprestatie;
- een verbetering van de waarneming tijdens verminderd zicht als gevolg van gevechtsveldeffecten (rookgordijnen die een scène visueel aan het gezicht onttrekken zijn vaak doorzichtig met WB);
- een verbetering van de waarneming tijdens verminderd zicht (als de ene sensor in bepaalde omstandigheden minder goed werkt neemt de andere het automatisch over);
- een vermindering van de ambiguïteit (‘clutter’ in het warmtebeeld wordt minder storend als men visuele verificatie mogelijkheden heeft);
- een verbetering van de robuustheid van het systeem in operationele situaties (als één sensor uitvalt, blijft de andere nog beschikbaar).

Verder hoeft de gebruiker geen keuze meer te maken tussen het gebruik van de verschillende technologieën (ergonomisch voordeel).

Recentelijk heeft TNO Defensie en Veiligheid (TNO D&V) een methode ontwikkeld die het mogelijk maakt een combinatie van WB en HV-beeld weer te geven in natuurlijke daglichtkleuren. Het is waarschijnlijk dat het gebruik van een gecombineerd beeld waarin (1) alle relevante informatie van de afzonderlijke WB- en HV-camera’s goed herkenbaar is samengevoegd en (2) dat bovendien lijkt op een normaal dagzichtbeeld, zal leiden tot een verbeterd ‘situationeel bewustzijn’ van de waarnemer, en het afnemen van misinterpretaties en illusies. Ook in situaties waarin momenteel geen gebruik wordt gemaakt van nachtzichtapparatuur kan het ATHENA-concept voordelen bieden.

Hierbij kan men bijvoorbeeld denken aan ‘urban warfare’ condities, waarin de waarnemer zich buiten bevindt en de vijand zich schuil houdt in gebouwen.

De ATHENA-kijker maakt het mogelijk individuen in donkere gangen of kamers te detecteren en identificeren door gebruik te maken van het thermische contrast van dergelijke doelen en/of het contrastrijke beeld van de HV-camera.

### 1.3 ATHENA deliverables

De deliverables behorende bij het ATHENA project, zoals die zijn vastgelegd in NTP overeenkomst N04/47 d.d. 17 mei 2005, zijn de volgende 7 items.

- 1 Verslag met een beschrijving van de dataset met gesynchroniseerde WB- en HV-beelden en van de geoptimaliseerde kleurenfusiealgoritmen.
- 2 Camera-unit met uitgelijnde en gesynchroniseerde WB- en HV-camera.  
Verslag met een beschrijving van het systeem.
- 3 Verslag met de beschrijving van scenario's, de optimale sensorcombinatie, en dataset met gesynchroniseerde WB- en HV-beelden opgenomen volgens de scenario's
- 4 Verslag met een beschrijving van de beeldregistratie.
- 5 Verslag met een beschrijving van de integratie.
- 6 Demonstratie aan de opdrachtgever. Verslag waarin de meerwaarde van het ATHENA-concept wordt aangetoond.
- 7 Geïntegreerd eindrapport.

De camera-unit met uitgelijnde en gesynchroniseerde WB- en HV-camera is geleverd door Thales Optronics B.V. en is in beheer bij TNO. De scenario's zijn beschreven in een apart rapport (Lensen et al., 2007). Het huidige rapport omvat alle overige deliverables, op de demonstratie na. Tabel 1 geeft de relatie tussen de verschillende secties van dit rapport en deze deliverables.

Tabel 1 Relatie tussen de deliverables en de hoofdstukken van dit rapport.

Deliverable	Inhoud	Sectie rapport
1	- beschrijving geoptimaliseerde kleurenfusie algoritmen - beschrijving dataset	2 Bijlage A
2	- ATHENA hardware - Systeem beschrijving	Beschikbaar 3.1
3	- Scenario studie  - Beschrijving dataset opgenomen volgens scenario's	Zie rapport Lensen e.a. 2007. Bijlage A
4	- Beschrijving beeldregistratie	3.2.1
5	- Beschrijving integratie	3.3
6	- Demonstratie - Verslag meerwaarde ATHENA concept	2 <sup>de</sup> helft 2007 4
7	- Geïntegreerd eindrapport	Dit rapport



## 2 Optimalisatie van de kleuren fusie algoritmen

### 2.1 Inleiding

Recentelijk heeft TNO D&V een methode ontwikkeld die het mogelijk maakt een combinatie van HV- en WB-beeld weer te geven in natuurlijke daglichtkleuren (Toet, 2003). De methode gaat uit van de kleurstelling van een referentiebeeld (van bijvoorbeeld een bepaald deel van het operatiegebied) dat qua inhoud representatief is voor de gehele set beelden waarop de kleurentransformatie moet worden toegepast. Hoewel de methode realistisch gekleurde nachtzichtbeelden oplevert, is deze niet direct geschikt voor praktisch gebruik. Zo is de methode bijvoorbeeld vrij rekenintensief, waardoor realtime implementatie moeilijk wordt. Verder is de kleur van objecten mede afhankelijk van de overige beeldinhoud, waardoor objecten van kleur kunnen veranderen wanneer het camerasyntesist door een scène heen beweegt. Verder kan het bij inkleuring met daglichtkleuren voorkomen dat doelen niet goed zichtbaar afgebeeld worden omdat ze (bijna) dezelfde kleur krijgen als hun omgeving (camouflage).

In de huidige studie is daarom onderzocht:

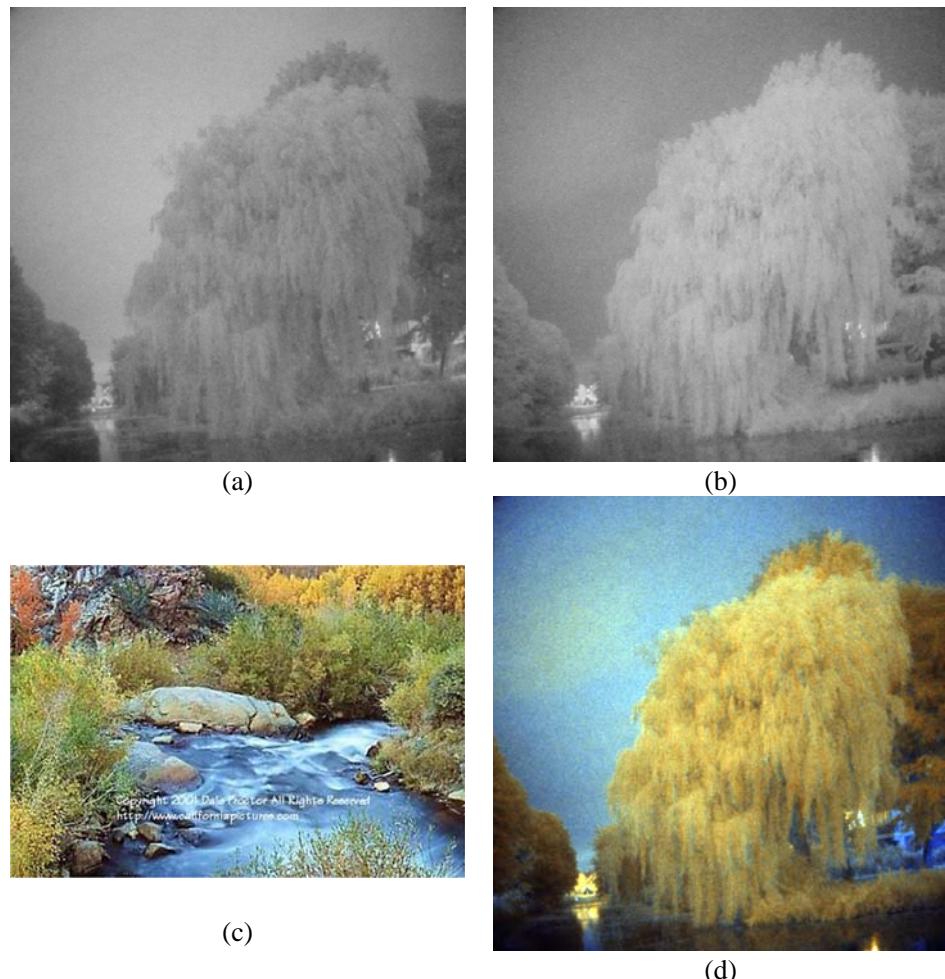
- Op welke manier de inkleuring van een gecombineerd HV en WB beeld in realtime kan worden geïmplementeerd.
- Of en hoe de overeenstemming met daglichtkleuring verbeterd kan worden.
- Hoe informatie van de verschillende sensoren (HV,WB) het beste kan worden gecombineerd zodat dat doelen goed onderscheidbaar zijn.

In dit hoofdstuk bespreken we eerst de reeds eerder gepubliceerde kleuren transformatiemethode. Daarna wordt uitgelegd hoe deze methode kan worden vervangen door een lookup table operatie, die niet alleen veel eenvoudiger (en daarom in real-time te implementeren) is, maar die als bijkomend voordeel heeft dat de kleur van objecten onafhankelijk is van de overige beeldinhoud van een scène. Vervolgens wordt uitgelegd hoe de benodigde lookup-tabellen eenvoudig kunnen worden afgeleid uit een aantal samples afkomstig uit correspondente beelden van verschillende sensoren en een daglichtkleurenfoto van dezelfde scène. Tenslotte wordt een kleurentransformatie gepresenteerd die de verschillende details in een scène optimaal onderscheidbaar maakt.

### 2.2 Statistische gelijkstelling van beelden

In Toet (2003) wordt een methode beschreven waarmee false-colour beelden op een natuurlijke manier kunnen worden ingekleurd. Dit gebeurt door verschillende statistische eigenschappen van het false-colour beeld gelijk te maken aan die van natuurlijke beelden. De RGB-waarden van het false-colour beeld worden hierbij eerst getransformeerd naar een perceptuele gedecorrelateerde kleurenruimte, waarna de eerste orde statistieken (gemiddelen en standaard deviaties) worden gelijkgesteld aan die van een natuurlijk (kleuren) referentiebeeld. Vervolgens wordt het beeld teruggetransformeerd naar RGB-waarden, waarna het weer op een kleuren display kan worden afgebeeld. Figuur 1 geeft een voorbeeld waarbij uitgegaan wordt van beelden van een HV-sensor (helderheidsversterker). Het false-colour beeld wordt hier verkregen door het signaal van de sensor met behulp van twee optische filters te splitsen in twee delen:

een deel represeneert het visuele deel van het electromagnetische spectrum (golflengten kleiner dan 700 nm; verkregen door gebruik te maken van een laagdoorlaat filter; zie figuur 1) en het andere deel represeneert het nabije infrarood deel van het spectrum (golflengten groter dan 700 nm; verkregen met een hoogdoorlaat filter; zie figuur 1b).



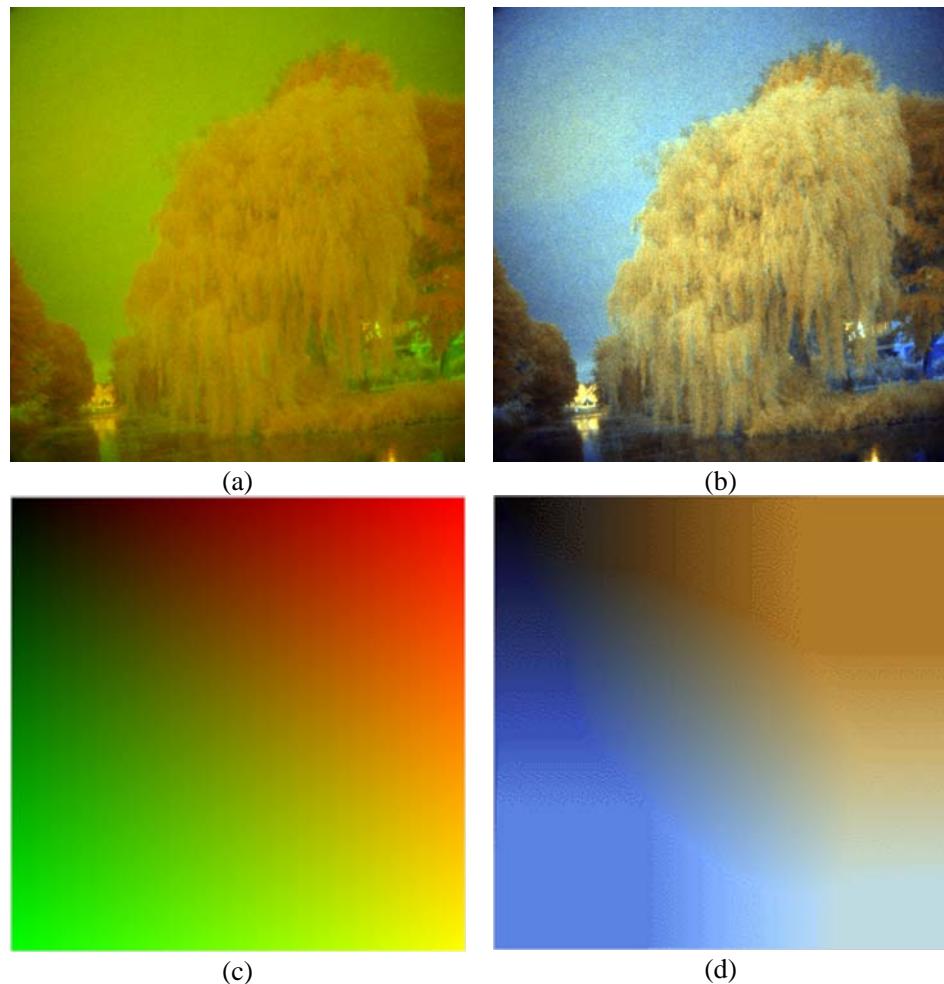
Figuur 1 Voorbeeld van inkleuring van twee met de methode beschreven in Toet (2003).  
 (a) Het deel van het HV sensor signaal dat het zichtbare licht in de scène represeneert (golflengten beneden 700 nm). (b) Het deel van het HV sensor signaal dat het nabije infrarode licht in de scène represeneert (golflengten boven 700 nm). (c) Het referentie kleurenbeeld.  
 (d) Het gekleurde resultaat, verkregen door de statistiek van de RG false-colour combinatie van respectievelijk (a) en (b) gelijk te maken aan de statistiek van het referentie kleurenbeeld (c).

Een natuurlijke inkleuring kan worden verkregen door een referentie kleurenbeeld te kiezen dat qua structuur en inhoud zo goed mogelijk aansluit bij het in te kleuren false-colour beeld. Het gebruikte referentiebeeld hoeft dus niet per se dezelfde scène te tonen als het false-colour beeld, maar moet bij voorkeur wel dezelfde typen objecten bevatten, en in ongeveer dezelfde mate.

## 2.3 Gebruik van kleurentabellen

De bovengenoemde kleuren transformatie methode kan ook worden gebruikt om dynamische false-colour beelden in te kleuren. De methode moet dan achtereenvolgens

worden toegepast op de afzonderlijke beelden van de tijdreeks. Een eigenschap van de kleurtransformatie is het feit dat objecten die een groot deel van het beeld beslaan (dominante objecten) ook een grote invloed hebben op de inkleuring. Bij het inkleuren van dynamische beelden is deze eigenschap vervelend, omdat de kleurstelling van het beeld dan verandert met de mate waarin een dominant object in beeld is. Dit betekent dat bewegingen van de camera over de scène of de aanwezigheid van bewegende objecten in de scène resulteren in kleurveranderingen van het beeld. Dit effect kan echter worden voorkomen door gebruik te maken van een vaste kleurentransformatie (die dus niet in de tijd verandert).



Figuur 2 (a) Een rood-groen beeld dat de sensorbeelden van respectievelijk figuur 1a (in rood) en figuur 1b (in groen) representeert. (b) Het ingekleurde resultaat na toepassing van het algoritme van Toet (2003; zelfde als in figuur 1d). (c) Representatie van alle mogelijke combinaties van signaalwaarden afkomstig van de twee afzonderlijke sensoren. De linkerbovenhoek in deze figuur representeert de situatie waarbij beide sensoren geen output geven (beide een 0 signaal afgeven), de rechteronderhoek komt overeen met de situatie waarin beide sensoren een maximaal signaal afgeven. (d) Resultaat van de transformatie van (c) met het algoritme van Toet (2003). Deze figuur toont alle mogelijke kleuren die na transformatie in het getransformeerde sensorbeeld (b) kunnen voorkomen. Het beeldpaar (c) en (d) vormt een lookup tabel die de kleurtransformatie volledig vastlegt.

Figuur 2 geeft inzicht in de werking van de kleurentransformatie volgens het algoritme van Toet (Toet, 2003). Het input false-colour beeld (figuur 2a) is verkregen door de twee afzonderlijke kanalen van een HV beeld die het zichtbare (figuur 1a) en het nabije

infrarood (figuur 1b) deel van het spectrum weergeven respectievelijk af te beelden via de R (rode) en G (groene) kanalen van een RGB-beeld. Het RG-beeld in figuur 2c representeert alle mogelijke combinaties van intensiteiten in de twee sensorbeelden. Figuur 2d representeert figuur 2c na toepassing van de kleurtransformatie die figuur 2a in figuur 2b omzet, gebruik makend van het referentiebeeld weergegeven in figuur 1c. Figuur 2d geeft dus voor elke mogelijke combinatie van sensorwaarden (RG waarden) de voor inkleuring gebruikte kleur (RGB-waarde). De combinatie van de figuur 2c en figuur 2d legt de kleurtransformatie volledig vast. Elk pixel correspondeert met een bepaalde set sensorwaarden, gerepresenteerd door een RG-waarde (in figuur 2a). Deze RG combinatie kan worden opgezocht in figuur 2c. Vervolgens kan in figuur 2d de corresponderende pixel (dat wil zeggen: de pixel met dezelfde beeldcoordinaten) worden opgezocht en de bijbehorende RGB-waarde worden afgelezen. Door dit voor alle pixels in het RG beeld te doen krijgt men de ingekleurde (RGB) versie van het RG beeld (bijvoorbeeld figuur 2b). Bij sensorbeelden bestaande uit 8 bits kunnen alle mogelijke combinaties van RG-waarden worden gerepresenteerd door  $256 \times 256 = 65536$  waarden (16 bits).

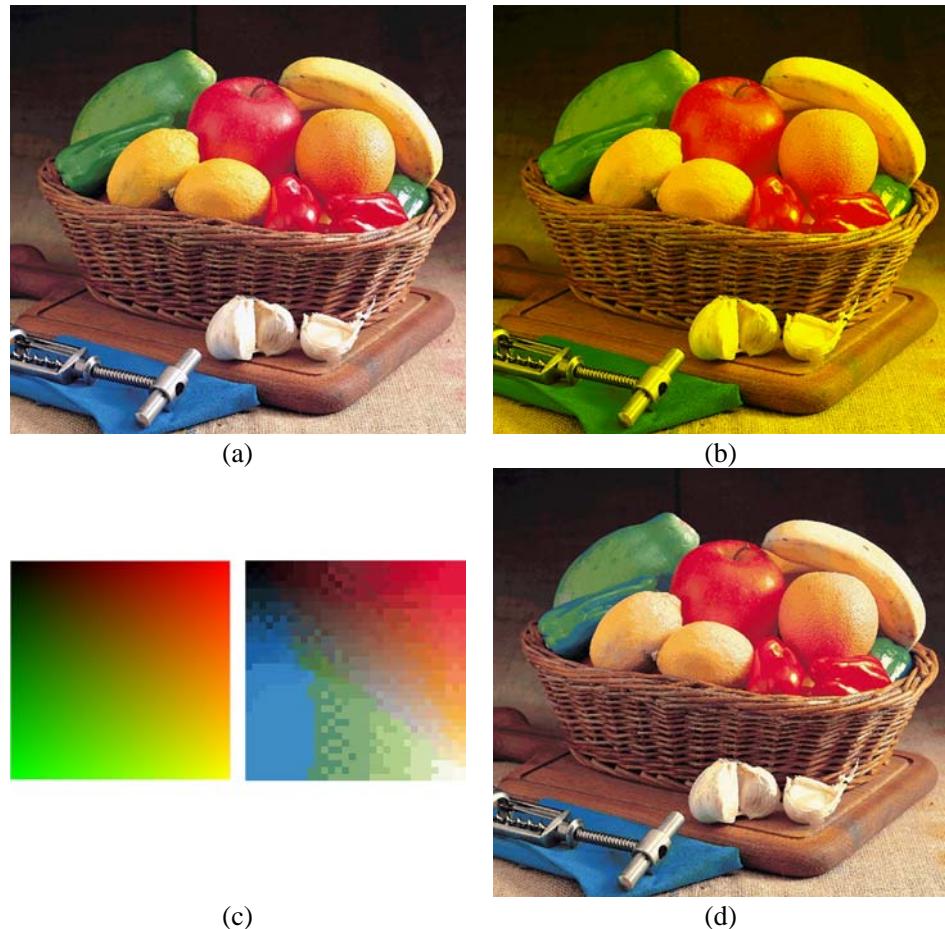
De kleurstelling van een false-colour beeld kan dus worden getransformeerd door voor elke pixel te bepalen om welke RG-combinatie het gaat (bijvoorbeeld met een index in een kleurentabel van 65536 waarden) en vervolgens de bijbehorende getransformeerde kleurwaarde op te zoeken in de getransformeerde kleurentabel (eveneens bestaande uit 65536 waarden). Men kan er ook voor kiezen om kleurentabellen te gebruiken met minder waarden, bijvoorbeeld een kleurentabel met slechts 256 waarden. In dat geval moet voor elke pixel in het RG-beeld de best overeenkomende RG waarde in de kleurtabel worden bepaald. Vervolgens kan in de tabel worden opgezocht naar welke RGB-waarde deze -best overeenkomende- RG-combinatie wordt getransformeerd.

Door met kleurentabellen te werken wordt iedere combinatie van inputwaarden (van de twee sensoren) op een unieke RGB-combinatie afgebeeld (onafhankelijk van de grootte van objecten in het beeld). Daardoor blijft in dynamische situaties (scenes met sterk wisselende beeldinhoud) de inkleuring stabiel (dat wil zeggen: de kleuren veranderen niet wanneer de beeldinhoud varieert, en de kleurstelling van het beeld blijft dus constant). Een bijkomend voordeel van deze aanpak is het feit dat een kleurentabel-transformatie met een computer erg snel is uit te voeren, zodat de inkleuring zelfs voor hoge beeldfrequenties en grote beelden in realtime gerealiseerd kan worden.

## 2.4

### Inkleuring van twee-kanaals sensorbeelden aan de hand van samples

In plaats van gebruik te maken van de statistische eigenschappen van natuurlijke beelden kan een kleurtransformatie ook worden afgeleid wanneer voor een aantal combinaties van sensorwaarden in verschillende spectrale banden de corresponderende natuurlijke kleurwaarden (RGB waarden) bekend zijn. Een dergelijke aanpak werkt het best wanneer men beschikt over een groot aantal samples. We gaan hier uit van een afleiding op grond van sensorbeelden waarbij voor elke pixel de daglicht (RGB) kleurenwaarde bekend is. Figuur 3 geeft een voorbeeld van deze methode. In dit voorbeeld gaan we uit van een RGB-beeld (figuur 3a) en beschouwen we de R en G kanalen als de individuele sensorsignalen (figuur 3b).



**Figuur 3** Afleiding van de optimale kleurentransformatie op grond van een groot aantal samples.  
 (a) Het RGB-referentie kleuren beeld. (b) Een sensorbeeld bestaande uit twee banden (in dit voorbeeld zijn hiervoor de R en G signalen genomen). (c) De (uit alle samples) afgeleide kleurentransformatie van alle mogelijke RG-combinaties. (d) Het ingekleurde resultaat verkregen door de kleurtransformatie uit (c) toe te passen op (b). De sensorinput (b) is vergelijkbaar met die van een tritanoop kleurenblinde, die de blauwgevoelige kegeltjes in de retina mist.

Eerst wordt het rood-groen-beeld omgezet in een geïndexeerd (index) beeld waarbij de kleuren (RG-waarden) indirect zijn vastgelegd in een kleurentabel. Elke pixel krijgt hierbij een index waarvan de kleurentabel-waarde (zo goed mogelijk) overeenkomt met de RGB-waarde. Er wordt vervolgens een nieuwe kleurentabel opgebouwd door bij elke pixel de index af te lezen en aan die index (bij de nieuwe kleurentabel) de RGB-waarde toe te kennen van het corresponderende pixel in het referentie beeld (figuur 3a).

Als meerdere pixels dezelfde index hebben wordt eerst het gemiddelde genomen van de CIE L\*a\*b\*-waarden over alle pixels met dezelfde index, en wordt dit gemiddelde vervolgens omgezet naar RGB waarden (deze operatie minimaliseert het perceptuele verschil volgens de CIE L\*a\*b\* standaard kleuren ruimte specificatie: CIE, 1994).

Als uiteindelijk bij het geïndexeerde RG-beeld de nieuwe kleurentabel wordt gekozen zal het beeld veranderen in een ingekleurd beeld met kleuren die zo goed mogelijk aansluiten bij de kleuren in het referentiebeeld (figuur 3d). Het ingekleurde beeld is in dit geval nauwelijks te onderscheiden van het origineel (de gemiddelde afstand in de perceptuele CIE L\*a\*b\*-kleurenruimte (CIE, 1995) is 7.0). De kleurentransformatie gaat vervolgens uit van de twee kleurentabellen: de RG-kleurentabel en de nieuwe

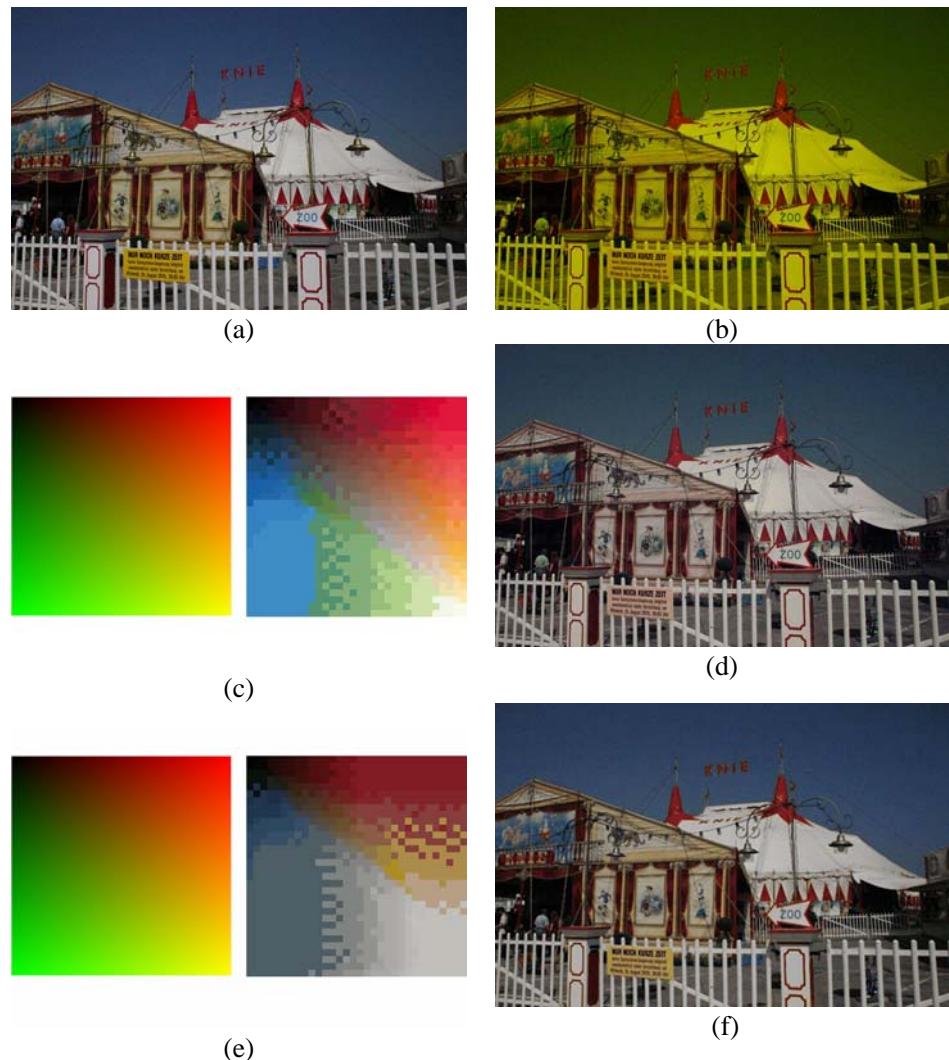
kleurentabel (zie figuur 3c). Bij de realtime implementatie wordt het sensorbeeld in de RG-kanalen gevoerd en omgezet naar een geïndexeerd beeld met kleuren overeenkomend met de RG-kleurentabel. Deze tabel wordt verwisseld met de nieuwe kleurentabel waarna een natuurlijk ingekleurde beeld ontstaat.

Het idee is om voor verschillende omgevingen de bijbehorende kleurentransformatie beschikbaar te hebben en vervolgens in de praktijk een inkleuring te kiezen die het beste aansluit bij de omgeving waarin de sensor wordt gebruikt. De afleiding van de optimale kleurentransformatie hoeft in de praktijksituatie dus niet meer te worden gedaan. Deze is vastgelegd met de twee kleurentabellen die voor diverse omgevingen met het product worden meegeleverd (of in een eerder stadium, voorafgaand aan het gebruik worden afgeleid). Bij deze methode wordt de statistiek van het beeld gebruikt (als verschillende pixels met dezelfde rood-groen waarden in het referentiebeeld vaker blauw dan rood zijn zullen zij er in het ingekleurde beeld ook blauwig uit komen te zien). Door dergelijke voorkennis te gebruiken is het toch mogelijk een redelijke inschatting te maken van de daglicht kleuren (ook voor iemand met een kleurzienstoornis, zie figuur 3).

Het is aan te bevelen voor elke index van de kleurentabel naast een gemiddelde  $L^*a^*b^*$ -waarde tevens de gemiddelde standaarddeviatie te bepalen. Een hoge waarde van de standaarddeviatie betekent namelijk dat de RGB-waarde voor verschillende samples met vergelijkbare sensorwaarden sterk verschilt.

De overeenkomst tussen een ingekleurde sensorbeeld en een kleurendaglichtopname van dezelfde scène zal afhangen van de correlatie tussen de natuurlijke kleuren en de sensorwaarden (dat wil zeggen de corresponderende pixelwaarden van de afzonderlijke camerabeelden). Naarmate deze correlatie hoger is zal het ingekleurde eindresultaat het overeenkomstige daglichtbeeld beter benaderen. De natuurlijke RGB-waarden kunnen niet worden voorspeld op basis van de sensorwaarden wanneer de correlatie tussen de sensorwaarden en de natuurlijke kleuren laag is. Zo is er op basis van sensoren die hun gevoeligheid hebben in het verre infrarode deel van het spectrum geen natuurlijke inkleuring mogelijk (dergelijke beelden representeren het temperatuurcontrast van objecten en hun directe omgeving, en bevatten geen informatie over de kleur van de objecten). Beelden die zijn opgenomen met een combinatie van sensoren met gevoeligheden in of rond het zichtbare deel van het electromagnetische spectrum kunnen waarschijnlijk het meest succesvol worden ingekleurd (zie figuur 4).

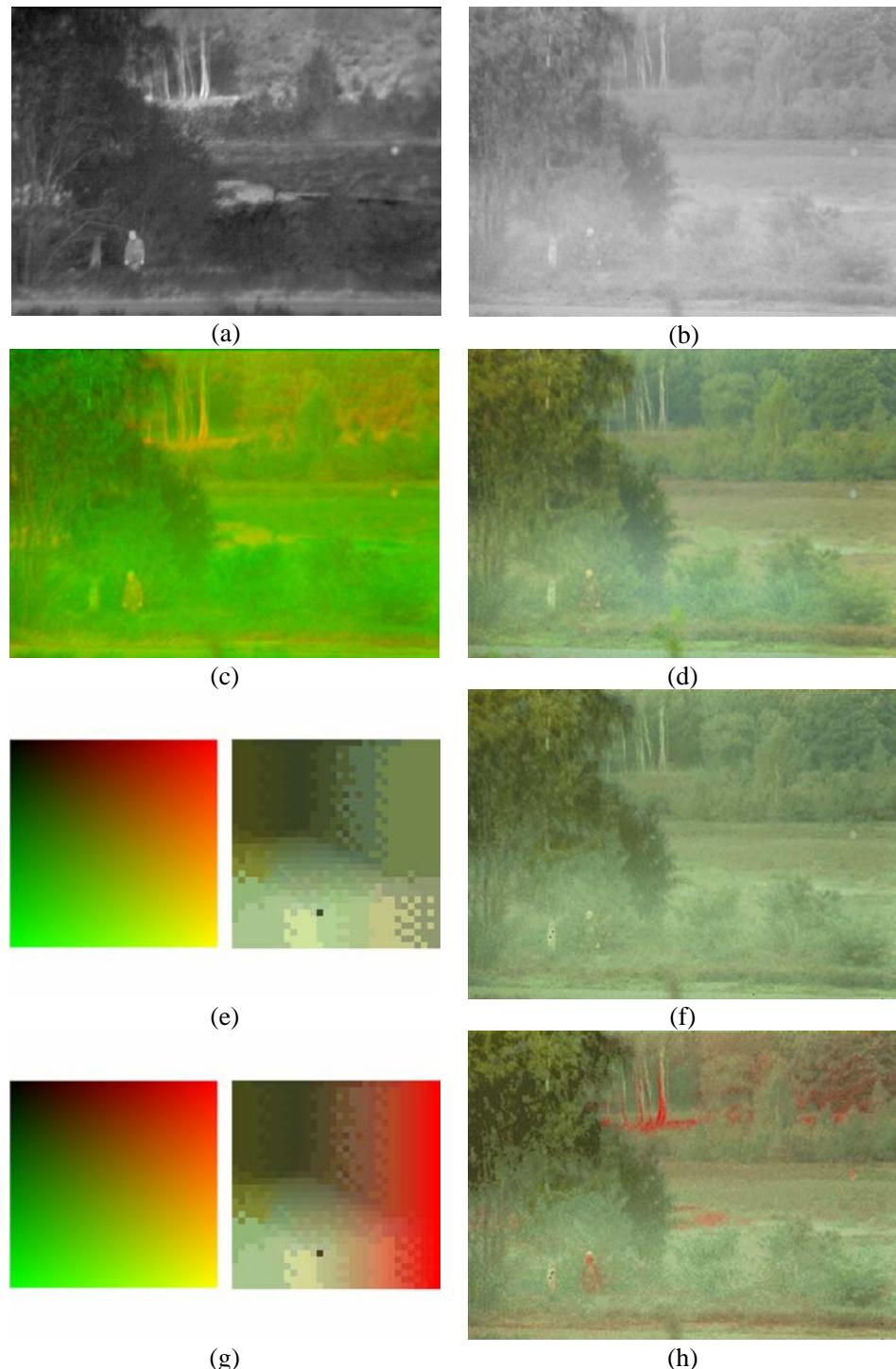
Uit de praktijk blijkt dat de verhouding tussen de sensorwaarden karakteristiek is voor de eigenschappen van de afgebeelde materialen in de scene. Dit komt onder andere tot uiting in de figuren die de kleurentransformatie weergeven (zie figuren 2d, 3c, 4c). In deze plaatjes is de kleurtint (hue) langs rechte lijnen die door de linkerbovenhoek gaan vrijwel constant. Dit gegeven kan worden gebruikt om met een relatief klein aantal monsters (pixels) een natuurlijke kleurentransformatie af te leiden. In dat geval is theoretisch het minimaal benodigde aantal samples gelijk aan het aantal verschillende materialen dat in de scène voorkomt.



Figuur 4 Effect van verschillende kleureentransformaties. (a) Het originele RGB kleurenbeeld (het referentiebeeld). (b) De RG representatie van (a). (c) De kleureentransformatie uit figuur 3c. (d) Resultaat van de inkleuring van (b) met de transformatie (c). (e) Het kleuren-schema dat is afgeleid uit alle samples van (a). (f) Resultaat van de inkleuring van (b) met de transformatie (e). Merk op dat (f) beter met (a) overeenkomt dan (d). Dit komt ook tot uiting in het gemiddelde verschil in de CIE  $L^*a^*b^*$  waarde (zie CIE, 1995) met het origineel: dit verschil bedraagt respectievelijk 7.5 voor figuur 4d en 4.8 voor figuur 4f.

## 2.5 Natuurlijke inkleuring met accentuering van potentiële doelen

Figuur 5 geeft een voorbeeld van natuurlijke inkleuring van een sensorbeeld bestaande uit een warmtebeeld (figuur 5a) en een beeld van een helderheidsversterker (figuur 5b), op basis van het daglichtbeeld weergegeven in figuur 5d. De kleureentransformatie die optimaal aansluit bij de natuurlijke daglichtkleuren staat weergegeven in figuur 5e. Het resultaat van de inkleuring (figuur 5f) komt goed overeen met het referentie daglicht kleurenbeeld (figuur 5d: de gemiddelde afstand in de CIE L\*a\*b\* ruimte tussen figuur 5f en figuur 5d is 4.4). Echter, in dit ingekleurde beeld is de gecamoufleerde soldaat (links onder in beeld) nauwelijks van de achtergrond te onderscheiden, terwijl hij in het thermische beeld duidelijk tegen de achtergrond afsteekt. Een natuurlijke inkleuring is daarom minder geschikt om potentiële doelen op te sporen.



**Figuur 5** Natuurlijke inkleuring van de combinatie van twee monochrome nachtzicht opnamen van dezelfde scène. (a) Warmtebeeld (8-12  $\mu\text{m}$ ). (b) Beeld van een helderheidsversterker. (c) De gecombineerde weergave van (a) en (b) in respectievelijk de R en G kanalen van een RGB kleurenbeeld. (d) Een daglicht kleurenopname van dezelfde scène. (e) Paren corresponderende pixels in deze twee beelden definieren de optimale transformatie van sensorwaarden naar RGB kleurwaarden (zie tekst). (f) Het resultaat van de inkleuring van (c) volgens de kleurentransformatie uit (e). (g) Kleurentransformatie die potentiële doelen (warm objecten) rood kleurt. (h) Het resultaat van de inkleuring van (c) volgens de kleurentransformatie uit (g).

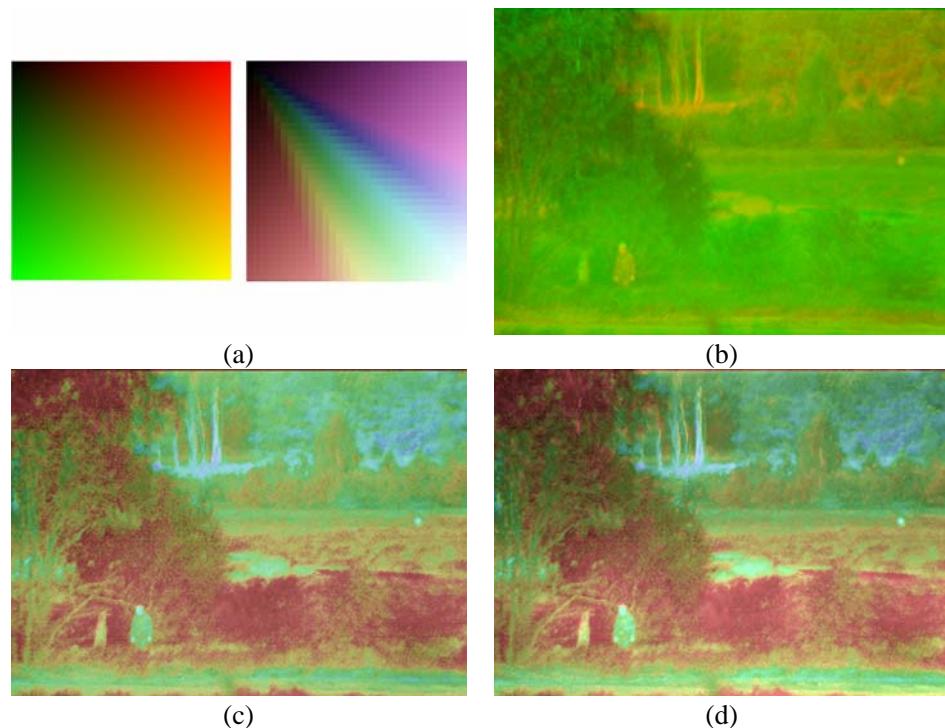
Als alternatief kan men gebruik maken van een kleurenschema dat goed overeenkomt met de daglichtkleuren voor de achtergrond terwijl potentiële doelen goed afsteken tegen de achtergrond (figuur 5g). Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in figuur 5h waarin

warme objecten rood worden afgebeeld. De kleurentransformatie (zie figuur 5g) is afgeleid van de natuurlijke kleurentransformatie (figuur 5e) door de kleur voor objecten met toenemende sensorwaarde (dus de warmere objecten) richting rood te verschuiven.

Een andere manier om camouflage van warme doelen te voorkomen is het toepassen van een beeldfusietechniek die een grijswaarde beeld oplevert waarbij ook delen die slechts in één van de beelden zichtbaar zijn naar voren komen (Toet et al., 1989; Toet, 1990). In het uiteindelijke beeld kan men kiezen voor inkleuring volgens de beschreven inkleuringsmethode en de luminantiewaarden gelijk maken aan het gefuseerde beeld (in het CIE model:  $a^*b^*$ -waarden uit het ingekleurde beeld,  $L^*$ -waarden uit het gefuseerde beeld).

## 2.6 Kleurentransformatie voor optimale discriminatie

Zoals blijkt uit het voorbeeld in figuur 5 kan het inkleuren van sensorbeelden met daglichtkleuren leiden tot de camouflage van objecten. In bepaalde gevallen zal men daarom kiezen voor een kleurenschema dat de verschillende objecten in een scène juist optimaal onderscheidbaar maakt, en daarbij het feit dat het resultaat onnatuurlijk gekleurd is op de koop toe nemen. Voor dergelijke toepassingen hebben wij een kleurenschema afgeleid dat wordt gepresenteerd in figuur 6a.



Figuur 6 (a) Een kleurtransformatie die de verschillende beeldelementen in een tweedimensionaal sensor beeld optimaal onderscheidbaar maakt. (b) Het sensorbeeld uit Figuur 5c. (c) Resultaat van de kleurentransformatie uit (a) toegepast op het sensorbeeld in Figuur 5c. (d) Het resultaat uit (c) kan nog verder worden verbeterd door de luminantie component van dit beeld te vervangen door het beeld dat kan worden verkregen door de twee afzonderlijke sensorsignalen te fuseren volgens het algoritme Toet (1992).

Dit kleurenschema is gebaseerd op het idee dat de verhouding tussen de sensorwaarden karakteristiek is voor de objecteigenschappen (zie sectie 2.3). In dit kleurenschema wordt de verhouding tussen de sensorwaarden door verschillende kleurtinten (hues) gerepresenteerd, terwijl de gemiddelde sensorwaarde de helderheid weergeeft.

### 3 Het ATHENA systeem

Het ATHENA systeem als geheel bestaat uit de combinatie van een warmtebeeld camera en een digitale helderheidsversterker, waarvan de afzonderlijke signalen door een framegrabber worden gedigitaliseerd en door middel van een computer worden samengesteld tot een enkel beeld dat vervolgens via een lookup kleurentabel wordt weergegeven op een standaard RGB display. De stappen die daarbij doorlopen worden zijn:

- Het grabben van de beelden (in zwart/wit) afkomstig van de twee camerasystemen.
- Het aanpassen van één van beide beelden zodat die precies over het andere beeld valt (het ‘matchen’).
- Het samenstellen van beide beelden tot een enkel false-colour beeld door ze respectievelijk toe te kennen aan het rode en groene kanaal van een kleuren videosignaal.
- Het opnieuw inkleuren van het aldus verkregen false-colour beeld met behulp van een eerder bepaalde look-up kleurentabel.
- Het in real-time weergeven van het resulterende gekleurde beeld.

In de volgende paragrafen wordt de hardware en software besproken die in ATHENA systeem wordt gebruikt.

### 3.1 De ATHENA hardware



Figuur 7 Het ATHENA camerasysteeem. De Lion Advance WB camera is zodanig bovenop de HV camera gemonteerd dat de optische assen van beide camera's parallel lopen. Naast het camerasysteem is er ook een digitale fotocamera geplaatst.

### 3.1.1 *Camera's*

Het ATHENA camerasysteem bestaat uit een Lion Advance infrarood (warmtebeeld of WB) camera (Thales Optronics B.V.) en een digitale helderheidsversterker (HVCCD, zie figuur 7).

De Lion Advance camera is een ongekoelde warmtebeeld (WB) camera die gevoelig is in het langgolvige deel van het spectrum (8-12  $\mu\text{m}$ ). De field-of-view (FOV) van deze camera is 7,8 x 5,9 graden. De brandpuntsafstand van de meegeleverde lens bedraagt 81,72 mm. De detector pitch is 35  $\mu$ ; en de NETD < 80 mK.

De HVCCD camera is gevoelig in het visuele en nabij infrarode deel van het spectrum en heeft een FOV van 8,1 x 6,1 graden.

Beide camera's werden geleverd door Thales Optronics B.V. Helaas werd er geen specificatie van beide systemen meegeleverd.

In de ATHENA configuratie wordt de Lion Advance WB camera bovenop of naast de HV camera gemonteerd, op een gemeenschappelijk frame, en wel zodanig dat de optische assen van beide camera's parallel lopen (zie figuur 7).

Naast het camerasysteem is er een digitale fotocamera geplaatst waarmee bij daglicht kleurenopnamen gemaakt kunnen worden. Uit dergelijke kleurenfoto's kan een lookup tabel worden afgeleid waarmee de beelden van het ATHENA systeem in kleur kunnen worden weergegeven.

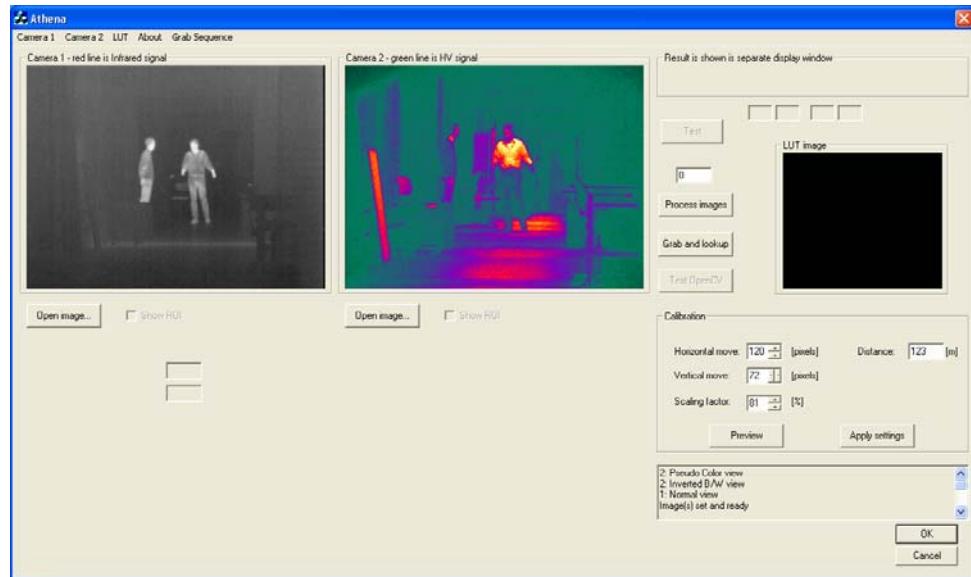
### 3.1.2 *Framegrabber*

Een Matrox MIL Lite framegrabber wordt gebruikt om de twee analoge (CCIR) signalen van respectievelijk de Lion Advance en de digitale HV-camera sequentieel te grabben en vervolgens als 10 bit data (2 bytes per pixel) in het computergeheugen op te slaan en naar de harddisk te schrijven.

De beelden van de individuele camera's kunnen door de gebruiker real-time worden bekijken als een grijswaarde beeld (wit is 'heet' bij infrarood), als een geïnverteerd grijswaarde beeld (zwart is 'heet' bij infrarood), of als een false colour beeld.

Een voorbeeld hiervan wordt getoond in figuur 8, waarin het thermische beeld in grijswaarde is afgebeeld (wit is heet), en het HV-beeld is weergeven in false colour.

De gekozen beeldweergave heeft geen effect op het eindresultaat, zoals dat door ATHENA wordt geproduceerd met behulp van de gekozen LUT.



Figuur 8 Real-time weergave van het thermische beeld van de Lion Advance (links) in grijswaarde en van het HV-beeld (rechts) in false-colour. Deze weergave dient alleen ter inspectie van de afzonderlijke camerasignalen en heeft geen invloed op de uiteindelijke representatie van het ATHENA beeld.

Het oorspronkelijke ATHENA concept voorzag alleen in de combinatie van een enkel langolvig infraroodcamerasysteem (Lion) en een helderheidsversterker (HV). Bij de dataregistratie in het huidige systeem is echter ook voorzien in de uitbreiding van het systeem met een derde camera, bijvoorbeeld met een warmtebeeldcamera die gevoelig is in het middelste gebied (MW) van het spectrum (3-5  $\mu\text{m}$ ).

### 3.2 De ATHENA software

Dit hoofdstuk beschrijft de stappen die doorlopen moeten worden om de beelden van de beide camera's in het ATHENA systeem (het digitale HV beeld en het Lion Advance warmtebeeld) als een enkel samengesteld kleurenbeeld in real-time weer te kunnen geven. Het gaat hier om een beschrijving van de software zoals die nu beschikbaar is, en die in het kader van het ATHENA project werd ontwikkeld. De ATHENA software bestaat momenteel uit twee applicaties:

- 1 beeldregistratie;
- 2 kalibratie en real-time demonstratie.

Alle code is geschreven met behulp van Microsoft Visual C++ versie 6.0, Matrox MIL Lite en OpenCV.

#### 3.2.1 Beeldregistratie

Voordat de beelden van de verschillende camera's gefuseerd kunnen worden moeten ze eerst geometrisch aan elkaar gelijk gemaakt worden, zodat ze precies over elkaar kunnen worden gelegd (dat wil zeggen dat overeenkomstige beeldpunten in de verschillende beelden corresponderen met dezelfde punten in de buitenwereld). Daarvoor moeten de beelden worden geschaald (en eventueel vloeidend gemaakt), verschoven, geroteerd, en moet tenslotte het deel dat beide beelden gemeen hebben worden uitgeknipt. Om de hoogste resolutie te kunnen verkrijgen wordt het beeld met het grootste FOV zodanig opgeschaald dat het gemeenschappelijke deel van beide beelden uitgedrukt in

beeldpunten gelijke afmetingen krijgt in de beide beelden. Daarvoor is het dus nodig om het beeld van de camera met de grootste FOV te vergroten (zie paragraaf 3.2.1.1).

### 3.2.1.1 *Vergroten*

Een beeld vergroten betekent kortweg dat er informatie moet worden ‘bijgemaakt’. Dit wordt bereikt door nieuwe beeldpunten te berekenen op basis van de bestaande beeldpunten. Er zijn een aantal methoden om deze berekening uit te voeren, zoals bijvoorbeeld nearest neighbour interpolatie, bilineaire en bicubic interpolatie. De hier gebruikte methode is de nearest-neighbour methode. Deze methode werd gekozen omdat deze erg snel (in real-time) kan worden geïmplementeerd. Een beschrijving van de werking van de genoemde methodes valt buiten het bestek van dit stuk.

Na vergroting bestaat een beeld dus altijd uit meer pixels dan het originele input beeld, dat in dit geval bestaat uit 768 x 576 beeldpunten.

### 3.2.1.2 *Verschuiven*

Het uitvergrootte beeld wordt vervolgens getransleerd om de gemeenschappelijke delen van beide beelden te laten overlappen. De translatie komt neer op het aanpassen van de offset van de beeld coördinaten en er hoeven dus voor deze operatie geen berekeningen te worden uitgevoerd.

### 3.2.1.3 *Roteren*

In principe is het ook mogelijk een rotatie op het uitvergrootte beeld toe te passen als dat nodig is (als de sensoren van de beide camera’s niet precies dezelfde oriëntatie hebben in het frontoparallele vlak van de camera’s). Bij het huidige ATHENA systeem bleek deze correctie echter niet nodig te zijn.

### 3.2.1.4 *Region of interest*

Het overeenkomstige deel van de beide camerabeelden wordt ‘uitgeknippt’. Deze Region Of Interest (ROI) is wederom 768 x 576 groot.

### 3.2.1.5 *Smoothing*

Om het uitvergrootte beeld een wat ‘gladder’ aanzien te geven en de waardes van de (bijgemaakte) pixels iets te nivelleren, wordt een smoothing operatie toegepast. Ook hiervoor zijn in principe verschillende methodes beschikbaar. Om de verwerkings-snelheid hoog te houden is gekozen voor een algemeen gebruikte variant: Gaussian smoothing. Andere smoothing operaties die zouden kunnen worden toegepast zijn bijvoorbeeld blurring door het toepassen van een ongewogen gemiddelde of het gebruik van mediaan- of bilaterale filters. Een beschrijving van de werking van de filters valt buiten bestek van dit stuk.

Wanneer het gemeenschappelijke deel van de beide camerabeelden netjes over elkaar ligt is de weg vrij voor de volgende fase: het inkleuren van het gecombineerde nachtzichtbeeld.

### 3.3 Systeem integratie

Het geïntegreerde ATHENA systeem bestaat uit

- 1 de gecombineerde HV en WB camera-unit;
- 2 een framegrabber;
- 3 de implementatie van de beeldregistratie- en fusiealgoritmen op een PC-gebaseerd systeem;
- 4 een of meerdere beeldschermen waarop zowel het in kleur gefuseerde eindresultaat als ook de individuele input beelden door de gebruiker kunnen worden bekeken.

Selectie van de fusiealgoritmen gebeurt via een gebruikersinterface op de PC.

De camera's worden geregeld via bedieningsknoppen op de sensor unit.

#### 3.3.1 Dataregistratie

De applicatie waarmee data kan worden opgenomen is geschreven in Visual C++ 6.0, in combinatie met Matrox MIL Lite. Matrox MIL Lite is nodig om de gebruikte framegrabberkaart te kunnen aanspreken.

De applicatie kan data van twee of drie aangesloten systemen grabben en real-time naar harddisk schrijven. De opname capaciteit wordt hierdoor feitelijk begrensd door de grootte van de harde schijf.

#### 3.3.2 Kalibratie en real-time ATHENA demonstratie

De tweede applicatie is eveneens geschreven in Visual C++ 6.0, in combinatie met Matrox MIL Lite. Ook hier wordt Matrox MIL Lite gebruikt om de framegrabber te kunnen bedienen. Voor de ver- en bewerking van de data wordt gebruik gemaakt van OpenCV. OpenCV is zogenaamde OpenSource code; er vinden steeds verbeteringen en uitbreidingen plaats aan de code door een grote gebruikersgemeenschap. Daardoor is er een groot draagvlak voor de code en is een brede uitwisseling en standaardisering van procedures feitelijk gegarandeerd.

#### 3.3.3 Kalibratie

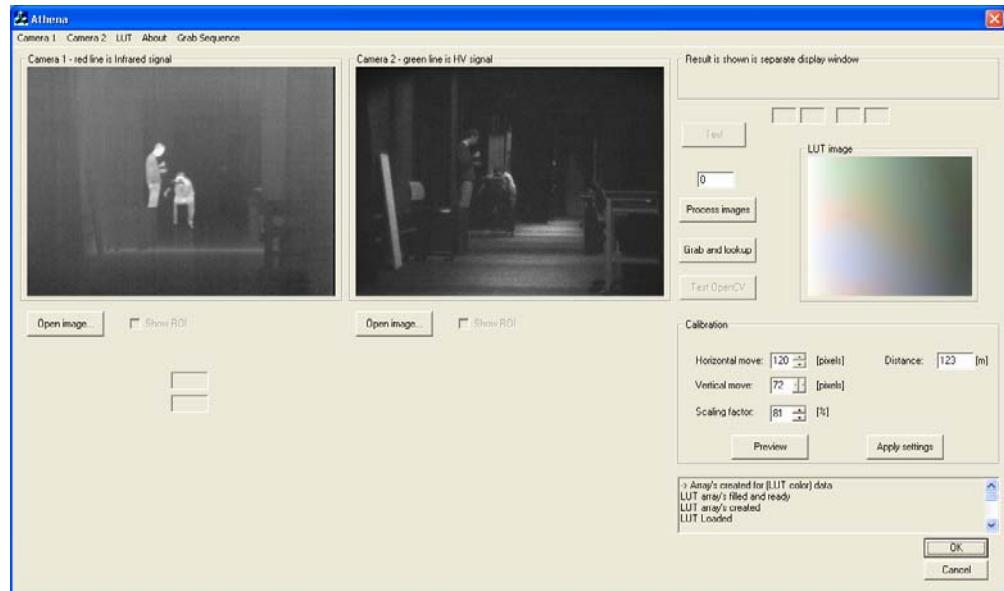
De camerasystemen zijn verticaal boven elkaar geplaatst, waardoor er een parallaxfout ontstaat tussen de verschillende input beelden. Deze parallax fout hangt af van de afstand tussen de camera's en de opgenomen details in de scène: hoe kleiner de afstand hoe groter de afwijking.

De beeldcorrectie voor de verschillende field of view van de twee verschillende camerasystemen kan automatisch of met de hand worden uitgevoerd. In het ATHENA systeem is momenteel een handmatige methode geïmplementeerd.

De gebruiker kan de afmeting van het infrarode beeld aanpassen, alsmede de offset in X en Y richting. Omdat gebleken is dat de pixels van de camerasystemen vrijwel vierkant zijn en de camerasystemen horizontaal goed zijn uitgelijnd, is de beeldcorrectie relatief eenvoudig.

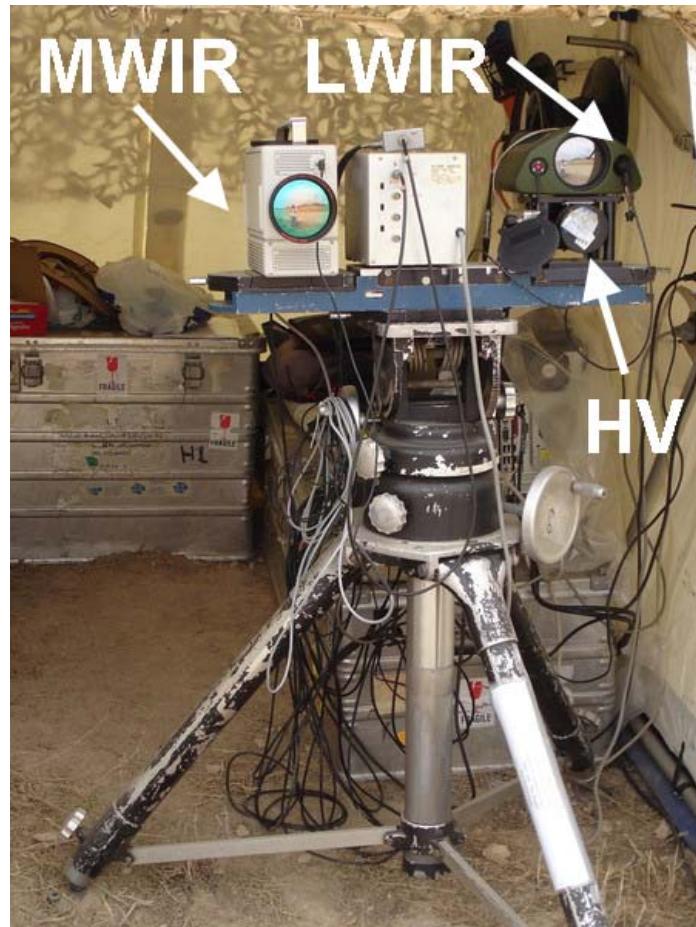
Als de gebruiker de relatieve positie van de beelden heeft aangepast, worden de instellingen en daarbij behorende opnameafstand (dat wil zeggen de afstand tussen de camera en het doel in de scène) opgeslagen in een file, zodat de gegevens later nog eens kunnen worden bekeken, of opnieuw gebruikt kunnen worden.

Voor elke opnameafstand moet er een nieuwe kalibratie plaatsvinden. Op voorhand zou, mits voldoende weglengte voor handen, een aantal kalibratiegetallen kunnen worden bepaald. Metingen zouden kunnen worden gedaan voor bijvoorbeeld 100, 150, 200 en 500 meter (hetgeen overeenkomt met oneindig). Gezien de grootte van de lens en openingshoeken is zijn metingen voor afstanden kleiner dan 100 meter niet zinvol.



Figuur 9 Grafische User Interface van het ATHENA programma. Links het infrarode beeld (IR), midden het beeld van de helderheidsversterker (HV). Verder rechts een afbeelding van de gebruikte lookup table (LUT).

Het ATHENA systeem kan in principe met elke willekeurige camera worden uitgerust, mits die kan worden uitgelijnd met de reeds aanwezige camera's en een analog grijswaarde beeld (CCIR) produceert. Zo zijn er bijvoorbeeld al bij enkele gelegenheden opnamen gemaakt met een additionele infraroodcamera die gevoelig is in het spectrale gebied van 3-5  $\mu\text{m}$  (zie figuur 10).



Figuur 10 Het basis ATHENA systeem (de digitale HV en de Lion Advance LWIR cameras) in combinatie met een 3-5  $\mu\text{m}$  MWIR camera.

### 3.3.4 Matchen

Het infrarode beeld wordt bewerkt en wel zodanig, dat deze één-op-eén ‘past’ op het HV-beeld. Het HV-beeld is een 8-bits beeld van 768 x 576 pixels. Met behulp van OpenCV worden de volgende berekeningen uitgevoerd op het infrarode beeld om dat vervolgens op het HV beeld af te kunnen beelden.

- 1 Vergroten van het beeld met een (door de gebruiker) ingestelde factor.
- 2 Verschuiven van het beeld in X en Y richting, ofwel toepassing van een offset in X en Y richting.
- 3 Eventueel roteren van het beeld.
- 4 Selecteren en uitknippen van de region of interest (ROI) van het infrarode beeld, zodat deze qua afmetingen identiek is aan het HV-beeld (768 x 576).
- 5 Smoothing van de ROI.

### 3.3.5 Lookup-table

De LUT wordt ingelezen als een beeld (een grote tweedimensionale array).

Paren corresponderende grijswaarden in het infrarode en HV-beeld (dat wil zeggen de grijswaarden van corresponderende pixel paren in beide beelden) worden gebruikt als coördinaatpunten voor deze LUT. Stel dat bijvoorbeeld het punt (50,100) van beeld 1 een grijswaarde 25 heeft en het punt (50,100) van beeld 2 een grijswaarde 125 heeft, dan vormt deze combinatie een nieuw coördinaatpunt: (25,125). Hierbij is de x-coördinaat dus de grijswaarde van beeld 1 en is de y-coördinaat de grijswaarde van

beeld 2. Het matrixelement (pixel) met coördinaten (25,125) in de LUT representeert dan de RGB (Red, Green, Blue) waarden die horen bij de grijswaarde combinatie (25,125). Stel dat de LUT op punt (25,125) de waarden (33,66,99) heeft. Dan krijgt het nieuw op te bouwen beeld op positie (50,100) de kleurenwaarde (33,66,99). Dit opzoeken van kleurwaarden wordt voor alle 768 x 576 beeldpunten gedaan. Zo ontstaat er dan een nieuw ‘false colour’ beeld op basis van de twee input grijswaarde plaatjes en de LUT. Voor een uitgebreide uitleg van deze procedure wordt verwezen naar de patentaanvraag (Hogervorst et al., 2006).

Het bepalen van de kleuren in de LUT en het gebruik van de juiste LUT onder bepaalde omstandigheden is dus essentieel voor de juiste weergave van het resultaatbeeld. Voor verschillende omgevingen kunnen verschillende LUT’s worden afgeleid. Zo zal de correcte (dat wil zeggen: zo natuurlijk mogelijke) weergave van een bosrijke omgeving een andere LUT vereisen dan de weergave van een heidelandschap, een woestijn, of een stedelijke omgeving.

De huidige LUT’s zijn 256 x 256 groot (met 8 bit waarden), en 3 lagen diep (R,G,B).

Voor de implementatie van bovenstaande operaties is OpenCV gebruikt, met Visual C++ code voor de implementatie.

### 3.3.6 Weergave

Met behulp van OpenCV wordt het ATHENA beeld in een apart window getoond. Dit window kan desgewenst op een tweede (computer-) monitor worden weergegeven (zie figuur 11).



Figuur 11 De ‘result image’ window toont de via een kleuren lookup tabel weergegeven combinatie van de twee grijswaarde camerasignalen plaatjes. De scène is de optische gang bij TNO in Den Haag: een donkere zwarte gang voor optische experimenten. Bij deze opname was er weinig licht, waardoor de HV ook goed kon worden gebruikt.



## 4 De meerwaarde van het ATHENA-concept

Bij het maken van opnamen in het veld is onder een aantal verschillende condities reeds gebleken dat het ATHENA concept in praktijk een meerwaarde kan hebben. In deze sectie wordt een overzicht gegeven van enkele situaties waarin de meerwaarde van het systeem zonder meer duidelijk was.

### 4.1 Terreinwaarneming

Artificiële objecten in een terrein (bijvoorbeeld de paaltjes in figuur A.7b , de bunker en de muur in figuur A.7c, de bankjes in figuur A.7f) zijn vaak goed zichtbaar in het warmtebeeld terwijl ze in het corresponderende HV beeld slecht (of zelfs in het geheel niet) zijn te zien. Daarentegen zijn natuurlijke terreindetails zoals vegetatie (bijvoorbeeld de bomen en struiken in figuur A.7a,c,e) vaak beter zichtbaar in het HV beeld. De combinatie van WB en HV volgens het ATHENA concept (bijvoorbeeld figuur A.10 – figuur A.12) levert in dat geval een beeld waarin alle details zichtbaar zijn. Dit kan voor navigatie en surveillance van belang zijn. Daardoor wordt het namelijk eenvoudiger om de structuur van de scène te begrijpen, hetgeen een voorwaarde is voor situationeel bewustzijn (weten hoe het terrein eruit ziet en welke plekken begaanbaar zijn).

### 4.2 Detectie en lokalisatie van personen

Personen zijn bij duisternis in een HV beeld vaak slecht zichtbaar, zeker als ze gehuld zijn in gevechtskleding met camouflagepatronen (zie bijvoorbeeld figuur A.8 en figuur A.9). In het warmtebeeld worden ze daarentegen met een hoog contrast afgebeeld omdat ze warmer zijn dan hun directe omgeving. In de combinatie van WB en HV volgens het ATHENA concept (bijvoorbeeld figuur A.13 en figuur A.14) zijn personen daardoor meestal goed zichtbaar in de context van hun directe omgeving, hetgeen van belang kan zijn voor bewakingstaken. Bovendien is het door een slimme keuze van de gebruikte kleurweergavetabel mogelijk onderscheid te maken tussen personen die gekleed zijn in normale lichtgekleurde kleding en in camouflerende kleding (zie figuur A.13).

### 4.3 Waarneming in schaduwpartijen

Personen die zich in de schaduw bevinden zijn in een HV beeld vaak slecht of in het geheel niet zichtbaar (zie bijvoorbeeld figuur A.25a, c, i). In het corresponderende warmtebeeld zijn ze daarentegen doorgaans wel goed zichtbaar (zie bijvoorbeeld figuur A.25b, d, j). In de combinatie van WB en HV volgens het ATHENA concept (bijvoorbeeld figuur A.28, figuur A.31 – figuur A.33) kunnen zowel de personen als ook hun directe omgeving duidelijk zichtbaar worden weergegeven.

### 4.4 Waarneming bij rook

Rook in een scène kan het contrast van een HV beeld sterk verminderen, en kan grote delen van de scène aan het gezicht onttrekken (zie bijvoorbeeld figuur A.25e en g). Bij een geschikte keuze van de kleurentabel die wordt gebruikt voor de combinatie van WB en HV volgens het ATHENA concept (bijvoorbeeld figuur A.29 en figuur A.30) is het echter mogelijk om de impressie van de rook te behouden en tegelijk alle details achter de rookwolk goed zichtbaar af te beelden. Zo is bijvoorbeeld in figuur A.29 en

figuur A.30 de man achter de rookwolk goed zichtbaar, waardoor zijn positie in de scène goed bekend is. In de oorspronkelijke HV beelden is de man in het geheel niet zichtbaar, terwijl in de corresponderende warmtebeelden de rook niet wordt afgebeeld. Door de representatie volgens het ATHENA concept ziet de waarnemer precies waar de man zich ten opzichte van de rookwolk bevindt. Dit beeld levert dus meer informatie dan de som van de afzonderlijke beelden, en verhoogt het situationeel bewustzijn.

#### 4.5 Doortrekken van camouflagemaatregelen

Camouflagemaatregelen zoals kleding en netten kunnen personen (figuur A.38a en figuur A.39a,c) en voertuigen (figuur A.42, figuur A.44 en figuur A.45) visueel aan het gezicht onttrekken of hun opvallendheid sterk verminderen. Sommige van die maatregelen zijn tegenwoordig ook zo ontworpen dat ze ook geacht worden in het thermische deel van het spectrum een verhullende werking te hebben (figuur A.38b, figuur A.44 en figuur A.45). In de praktijk blijkt het echter vaak erg moeilijk om het thermisch profiel van een persoon of voertuig zodanig te reduceren dat hij in een warmtebeeld niet langer detecteerbaar of herkenbaar is. In de combinatie van WB en HV volgens het ATHENA concept (bijvoorbeeld figuur A.49 – figuur A.55) kunnen zowel de personen en voertuigen als ook hun directe omgeving duidelijk zichtbaar worden weergegeven.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Meerwaarde

In condities met schaduwen, rook en camouflage maatregelen is duidelijk gebleken dat het ATHENA concept in praktijk een meerwaarde heeft. Zo zijn bijvoorbeeld personen die in dergelijke omstandigheden visueel aan het zicht worden onttrokken thermisch wel detecteerbaar. Het ATHENA systeem beeld zowel de personen als de details in hun directe omgeving af, met een kleurcontrast dat wordt bepaald door de gekozen kleurweergavetabel. De gebruiker krijgt dus meer inzicht in de samenstelling van de scène, en kan dus een beter beeld opbouwen van de waargenomen omgeving (vergrotning van het situationeel bewustzijn).

Dit geldt ook voor de inspectie van terreinen waarin natuurlijke en artificiële details naast elkaar voorkomen. Natuurlijke terreinelementen worden vaak duidelijker weergegeven in het HV beeld dan in het warmtebeeld. Daarentegen zijn artificiële objecten vaak beter zichtbaar in het warmtebeeld. In zo'n geval geeft een gecombineerd beeld dat is opgebouwd volgens het ATHENA concept een vollediger representatie dan elk der afzonderlijke beelden, hetgeen wederom van belang is voor het opbouwen van een mentaal beeld van de waargenomen scene (situationeel bewustzijn).

### 5.2 Marktverwachting

Door het beschikbaar komen van steeds meer verschillende multiband sensorsystemen (systemen die meerdere spectrale banden kunnen afbeelden), in combinatie met de steeds verder gaande digitalisering en miniaturisering, de toenemende rekenkracht van processor chips, en de verder gaande prijsdaling van dergelijke systemen, is de marktverwachting voor het ATHENA concept gunstig.

### 5.3 Mogelijke verbeteringen

Er zijn verschillende mogelijkheden om de huidige versie van het ATHENA systeem, zoals die in dit rapport is beschreven, te verbeteren.

Een voor de hand liggende verbetering is de toepassing van camera's met een hogere resolutie waardoor details beter herkenbaar afgebeeld kunnen worden.

Om het systeem geschikt te maken voor gebruik onder dynamische omstandigheden (waarnemen vanuit snel bewegende platformen, of observatie van dynamische scènes) zal het systeem compacter uitgevoerd moeten worden, en moeten de opnamemomenten van de beelden van beide camera's exact samenvallen (synchronisatie). Door synchronisatie kunnen bewegingsartefacten worden gereduceerd.

Omdat de optische assen van de HV en de WB camera's niet samenvallen is er een parallax tussen de beide beelden. De correctie die daarvoor moet worden uitgevoerd is afhankelijk van de opnameafstand. Als de opnameafstand verandert moet er dus een andere correctie worden toegepast. De correcties kunnen bepaald worden door een eenmalige ijkprocedure te volgen. Momenteel gebeurt dit handmatig door de operator in de beelden van beide camera's overeenkomstige details te laten aanwijzen.

Deze procedure kan in principe worden vervangen door een automatische routine die de beide beelden aan elkaar aanpast op basis van de beeldinhoud.

De ijkprocedure en/of selectie van de gewenste parallax-correctie vereist momenteel dus nogal wat handelingen door de systeemoperator. Door gebruik te maken van een spiegelsysteem (bijvoorbeeld een hot mirror die thermische straling reflecteert en zichtbaar licht doorlaat) is het mogelijk om de optische assen van de beide camera's te laten samenvallen, waardoor de parallax-correctie kan komen te vervallen. Een andere optie is om het systeem uit te rusten met een laserafstandsometer, of gebruik te maken van een uitlezing van de focussering van een van beide camera's. Wanneer op een van deze beide manieren de afstand tot de relevante details in een scène is bepaald kan de correctie automatisch worden uitgevoerd, mits er een set voorgedefinieerde (uit eerdere ijkingen bepaalde) correcties bekend is. Een dergelijke verbetering zal het systeem flexibeler maken in gebruik.

Door meer informatie uit het WB te gebruiken (bijvoorbeeldteksturen) zou het in principe mogelijk moeten zijn om betere inkleuring van het ATHENA beeld te verkrijgen.

Het is mogelijk om een meer natuurlijke kleurenweergave van een scène te krijgen door het HV signaal op te splitsen in twee spectrale banden: namelijk het visuele deel tot 700 nm en het nabij infrarode deel (NIR) boven de 700 nm. De reden dat dit principe goed werkt is het feit dat het nabij infrarode deel van het spectrum grenst aan het visuele deel, waardoor er een correlatie bestaat tussen de pixelwaarden in een nabij infrarood beeld en de werkelijke kleuren van objecten. Deze correlatie neemt af naarmate een beeld is opgenomen met een sensor die gevoelig is in een spectrale band die verder van het visuele deel van het spectrum afligt. Het WB kan aan een ingekleurd HV beeld worden toegevoegd voor detectiedoeleinden.

Momenteel heeft de gebruiker de keuze uit een aantal voorgedefinieerde kleuren weergavetabellen (LUT's). Het is ook denkbaar het ATHENA systeem de LUT automatisch te laten aanmaken. Dit kan bijvoorbeeld door gebruik te maken van het HV deel van het ATHENA systeem, en achtereenvolgens de te inspecteren scène af te beelden door een rood, groen en blauw filter. Om een kwalitatief goed beeld te krijgen is dan wel een lange integratietijd vereist. Uit de combinatie van het aldus verkregen RGB beeld en de (automatisch goed passende) HV en WB beelden kan dan eenvoudig een kleurenweergavetabel worden afgeleid die perfect aansluit bij de te observeren scène. Een andere mogelijkheid is om gebruik te maken van een nieuwe ontwikkeling , namelijk het beschikbaar komen van kleuren EMCCD (Electron Multiplying CCD) camera's (Coates, 2006; Jerram et al., 2007), die ook bij lage lichtniveaus nog een kleurenbeeld kunnen produceren (Heim et al., 2006). Hoewel de gevoeligheid van dergelijke systemen enkele ordes van grootte minder is dan die van helderheidsversterkers of ICCD's (Intensified CCD's; zie bijvoorbeeld Dussault & Hoess, 2000), biedt het feit dat ze kleur kunnen weergeven een mogelijkheid om ze in een ATHENA concept te integreren. Zo zou een EMCCD bijvoorbeeld kunnen dienen om ter plekke de juiste kleurentabel af te leiden voor een willekeurige scène, door deze bijvoorbeeld gedurende korte tijd op te nemen en de beelden te integreren om zo eventueel de ruis te reduceren. Als er een EMCCD camera aan het ATHENA systeem wordt toegevoegd is er echter wel weer een extra uitlijningsprocedure nodig.

Er zijn momenteel aparte programma's voor de real time demonstratie van het ATHENA concept en voor het acquireren van beeldmateriaal. De beide programma's kunnen

eenvoudig in een enkel programma worden samengevoegd. Hierdoor krijgt de gebruiker de mogelijkheid om interessante gebeurtenissen die optreden tijdens een inspectie meteen op harde schijf vast te leggen.

Er zijn enkele mogelijkheden om de verwerkingsnelheid van het systeem te verhogen door het optimaliseren van de software. De bestaande ATHENA code kan gesplitst worden in threads (processen die simultaan worden uitgevoerd), bijvoorbeeld een grabthread, een processing thread, een display thread en eventueel een save thread. De bestaande code is wel geschreven met dit idee, maar de daadwerkelijke implementatie moet nog plaatsvinden. Het is echter moeilijk aan te geven wat de snelheidswinst zal zijn die met een dergelijke implementatie kan worden behaald. Het is ook mogelijk de code over te zetten naar een grafische kaart. Momenteel wordt OpenCV gebruikt, hetgeen is geoptimaliseerd voor een Intel processor.

Er dient te worden onderzocht of het mogelijk is om de kleurweergave onafhankelijk van de gain te maken. Bij de huidige implementatie verandert de kleurstelling van het ATHENA beeld als je de gain van een van beide camera's verandert, omdat de ratio HV/WB dan verandert.

Momenteel dient de gebruiker zelf een bepaalde kleurenweergavetabel te kiezen voor een bepaalde taak en een gegeven omgeving. Door gebruik te maken van een sensor management procedure in combinatie met een GPS systeem is het mogelijk om het systeem zelf de optimale setting kiezen voor een bepaalde taakprestatie in een bepaalde omgeving.

## 5.4

### Waarnemingsexperimenten

Er werd in het kader van het ATHENA project een grote hoeveelheid gevarieerd beeldmateriaal verzameld dat bij uitstek geschikt is voor waarnemingsexperimenten (zie Bijlage A.3). Er was echter binnen het bestek van dit project niet voldoende tijd om de meerwaarde van het ATHENA concept aan de hand van dergelijke proeven te kwantificeren. In het kader van het programma ‘Opereren bij Nacht’ bestaat de gelegenheid om alsnog waarnemingsexperimenten te doen met dit materiaal.

Ondanks het feit dat er geen waarnemingsexperimenten gedaan zijn is het echter in een aantal condities wel mogelijk vast te stellen dat het ATHENA concept een duidelijke meerwaarde heeft. Zo biedt (nog afgezien van de kleurweergave) de combinatie van het HV en WB beeld in een enkel beeld een duidelijk ergonomisch voordeel: men hoeft immers geen twee afzonderlijke beelden te inspecteren en aan elkaar te relateren. Dit is bijvoorbeeld van belang in situaties als getoond in figuur A.8 en figuur A.9. Hierin is de persoon alleen te zien in het thermische beeld, en de achtergrond is alleen zichtbaar in het HV beeld. Door beide beelden te combineren in een enkel beeld wordt het in een oogopslag duidelijk waar de persoon zich in de scène bevindt (namelijk naast het bankje). Figuur A.25e - h toont een vergelijkbare situatie. In het HV beeld (figuur A.25e en g) wordt de soldaat door een rookwolk aan het zicht onttrokken. De rookwolk zelf is wel goed zichtbaar. In de corresponderende warmtebeelden (figuur A.25f en h) is de soldaat wel goed zichtbaar, terwijl de rookwolk juist niet wordt afgebeeld. De combinatie van de beide beelden geeft een beeld met een groter informatieinhoud: men ziet in een oogopslag dat er een rookwolk hangt waarachter zich een soldaat bevindt. Figuur A. 25a - d en i, j laten situaties zien waarin personen door schaduw aan het zicht wordt onttrokken in het HV beeld, maar wel zichtbaar is in het warmtebeeld. In figuur A.25a is de persoon in de deuropening niet zichtbaar, in figuur A.25c zijn de twee personen op de voorgrond niet

zichtbaar, en in figuur A.25i is de persoon in de loopgraaf niet zichtbaar, telkens omdat ze zich in schaduwen bevinden. In de corresponderende warmtebeelden zijn de personen in alle gevallen wel goed zichtbaar. Vaak is de detaillering van de voorgrond echter beter zichtbaar in het HV beeld. Wederom geeft de combinatie van HV en WB dan meer informatie dan elk der afzonderlijke beelden.

## 6 Referenties

- CIE. (1995),  
*Industrial colour-difference evaluation.* (Report CIE 116:1995),  
Vienna, Austria: International Commission on Illumination CIE.
- Coates, C. (2006),  
*EMCCD cameras take imaging to a new level,*  
Optics & Laser Europe, Januari, 29-31.
- Dussault, D. & Hoess, P. (2000),  
*Noise performance comparison of ICCD with CCD and EMCCD cameras,*  
In E.L. Dereniak; R.E. Sampson & C.B. Johnson (Eds.),  
Infrared Systems and Photoelectronic Technology, SPIE-5563 (pp. 195-204),  
Bellingham, WA, The International Society for Optical Engineering.
- Endsley, M.R. (1988),  
*Design and evaluation for situation awareness enhancement,*  
Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting, (pp. 97-101),  
Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- Endsley, M.R. (2000),  
*Direct measurement of situation awareness: Validity and use of SAGAT,*  
In M.R. Endsley & D.J. Garland (Eds.),  
Situation awareness analysis and measurement,  
Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Heim, G.B.; Burkepile, J. & Frame, W.W. (2006),  
*Low-light-level EMCCD colour camera,*  
In D.J. Henry (Eds.),  
Airborne Intelligence, Surveillance, Reconnaissance (ISR) Systems and Applications  
III, SPIE-6209 (pp. 62090F-1-62090F-14).  
Bellingham, WA.; USA: The International Society for Optical Engineering.
- Hogervorst, M.A.; Toet, A.; & Kooi, F.L. (2006),  
*Method and system for converting at least one first-spectrum image into a second-spectrum image,* Patent Application Number 06076532 8-2202,  
TNO Defence Security and Safety.
- Jerram, P.A.; Pool, P.J.; Burt, D.J.; Bell, R.T. & Robbins, M.S. (2007),  
*Electron Multiplying CCDs,*  
Proceedings of the SNIC Symposium, (pp. 1-6).
- Lensen, H.A.; Koole, J.; Benoist, K.W. & Toet, A. (2007),  
*Scenario's voor een ATHENA-camera* (Report TNO-DV 2007 A260),  
Soesterberg, Nederland: TNO Defensie en Veiligheid.
- Toet, A. (1990),  
*Hierarchical image fusion,*  
Machine Vision and Applications, 3(1), 1-11.

- Toet, A. (2003),  
*Natural colour mapping for multiband nightvision imagery*,  
Information Fusion, 4(3), 155-166.
- Toet, A.; van Ruyven, J.J. & Valeton, J.M. (1989),  
*Merging thermal and visual images by a contrast pyramid*,  
Optical Engineering, 28(7), 789-792.

## 7 Ondertekening

Soesterberg, augustus 2007

TNO Defensie en Veiligheid



prof. dr. A.W. Bronkhorst  
Afdelingshoofd

dr. A. Toet  
Auteur



## A ATHENA Beeldmateriaal

In een aantal veldexperimenten op verschillende locaties werd een grote verscheidenheid aan beeldmateriaal verzameld met het ATHENA systeem. In een eerdere fase van het ATHENA project werden aan de hand van scenario-studies een aantal belangrijke dynamische en statische militaire taken geïdentificeerd die ook onder omstandigheden met verminderd zicht uitgevoerd moeten kunnen worden, en waarbij de meerwaarde van ATHENA mogelijk kan worden aangetoond (Lensen et al., 2007). Het huidige prototype van ATHENA bestaat uit een Lion Advance warmtebeeld camera met daaraan bevestigd een digitale HV camera, die beide zijn verbonden met externe voedingsbronnen en met een PC voorzien van een framegrabber om de beelden te kunnen registreren. Het camerasysteem wordt op een zwaar statief gemonteerd, en het gehele systeem moet worden gevoed met 220V netspanning. Het is daarom praktisch niet mogelijk om met dit systeem dynamische taken (bijvoorbeeld verkenning vanuit een rijdend voertuig) volledig uit te kunnen voeren. Binnen de eerder opgestelde scenario's (Lensen et al., 2007) onderscheiden we echter enkele activiteiten die zich (met enige aanpassingen) wel goed lenen voor het creëren van een veldbeproeing van ATHENA, te weten:

- Oriënteren: het bepalen waar men zich bevindt.
- Navigeren: het doelgericht kunnen bewegen / verplaatsen.
- Doelen opsporen:
  - Detecteren: het onderkennen van een doel dat relevant is voor de opdracht.
  - Herkennen: het indelen van een doel naar categorie  
(bijvoorbeeld: het is een tank, een boerenkar, een ziekenauto).
  - Identificeren: het vaststellen van een type binnen een categorie  
(bijvoorbeeld: de persoon is een man/vrouw, soldaat/burger).

In het volgende deel beschrijven we de scenario's (bijlage A.1) en de locaties (bijlage A.2) behorende bij de veldexperimenten die werden uitgevoerd, alsmede het beeldmateriaal (bijlage A.3) dat daarbij werd verzameld. Er werd gekozen voor grondgebonden observatie- en doelopsporingstaken als goed geconditioneerde testsituaties, zodat latere evaluaties (bijvoorbeeld door middel van proefpersoon-experimenten) kwantificeerbare resultaten kunnen opleveren, waarmee mogelijk de meerwaarde van het ATHENA systeem onder reële operationele omstandigheden kwantitatief kan worden aangetoond.

### A.1 Scenario's

#### A.1.1

##### *Scenario I: Doelopsporing*

De individuele beelden van de HV en WB camera's, en het geïntegreerde beeld van het ATHENA systeem, kunnen alle drie worden gebruikt om doelen op te sporen.

Met opgenomen beeldmateriaal kunnen we in het lab het vermogen van waarnemers om doelen te detecteren als volgt bepalen. We hebben met elk der camerasystemen een aantal foto's gemaakt scènes waarin zich een persoon op verschillende plaatsen kan bevinden. In een lab test laten we proefpersonen vervolgens onder gecontroleerde condities in de opgenomen beelden zoeken naar de doelpersoon in de foto's.

*Scenario Ia: Doelopsporing in stedelijke omgeving**Kleding*

De visuele detecteerbaarheid (zichtbaarheid) van een persoon in een scène kan eenvoudig worden gevarieerd door gebruik te maken van verschillende typen kleding (camouflagepak, gewoon T-shirt et cetera), en door de persoon op verschillende plekken te zetten, zodat hij soms wel en soms niet in de schaduw staat. Thermisch blijft de detecteerbaarheid van de persoon ongeveer gelijk, mits de thermische eigenschappen van de kleding niet al te sterk variëren, en zolang hij niet door obstakels aan het oog wordt ontrokken (bomen, struiken, ramen et cetera).

De thermische detecteerbaarheid van de doelpersoon kan worden gevarieerd door gebruik te maken van isolerende kleding, of door hem nat te maken. In dit geval kan de visuele detecteerbaarheid van de persoon ongeveer gelijk blijven, mits de gebruikte kleding ongeveer dezelfde reflectie-eigenschappen heeft.

*Schaduwen*

De visuele detecteerbaarheid van de doelpersoon kan ook worden gevarieerd door de persoon op verschillende plekken in de scène te zetten zodat hij soms meer en soms minder belicht wordt (figuur a.1).

Een persoon die in de schaduw staat (bijvoorbeeld achter in een kamer of in een gang, of onder bomen) kan visueel (met het blote oog of met HV) soms moeilijk of in het geheel niet gedetecteerd worden. Zolang er zich geen objecten tussen de waarnemer en de doelpersoon bevinden blijft de thermische detecteerbaarheid van de doelpersoon wel gelijk.

Een persoon die in de buurt van een lantaarnpaal staat, maar daardoor niet direct verlicht wordt, is met een HV kijker moeilijk of geheel niet detecteerbaar. In een thermisch beeld kan de persoon echter goed zichtbaar zijn.

*Rook*

De visuele detecteerbaarheid van een doelpersoon kan ook worden verminderd door gebruik te maken van een rookgordijn (rookgranaten of tonnen met brandende olie). Mits de rook niet al te dicht is (of veel hete deeltjes bevat, of van een speciale samenstelling is), kan men met een warmtebeeld de persoon achter het rookgordijn blijven waarnemen.

*Glas*

Glas (ramen) kunnen worden gebruikt om een persoon thermisch niet detecteerbaar te maken terwijl hij visueel wel kan worden waargenomen (als tenminste de ramen de omgeving niet teveel reflecteren).

*Clutter*

Thermische clutter kan worden geproduceerd door veel warme objecten in de scène aan te brengen, die de vorm en afmeting van het doelobject moeten hebben. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door met warm water gevulde objecten (jerrycans, tonnen, zakken et cetera) in de scène te plaatsen. Ook kan men delen van de scène opwarmen door het uitstrooien van heet water.

Visuele clutter kan worden geproduceerd door objecten in de scène te zetten die de vorm en afmeting van het doelobject hebben. Als men naar een persoon zoekt kan men bijvoorbeeld een aantal etalagepoppen in de scène plaatsen.

*Scenario Ib: Doelopsporing in landelijke omgeving*

*Schaduwen*

De visuele detecteerbaarheid van een doelpersoon kan worden gevarieerd door de persoon op verschillende plekken in de scène te zetten zodat hij soms meer en soms minder belicht wordt.

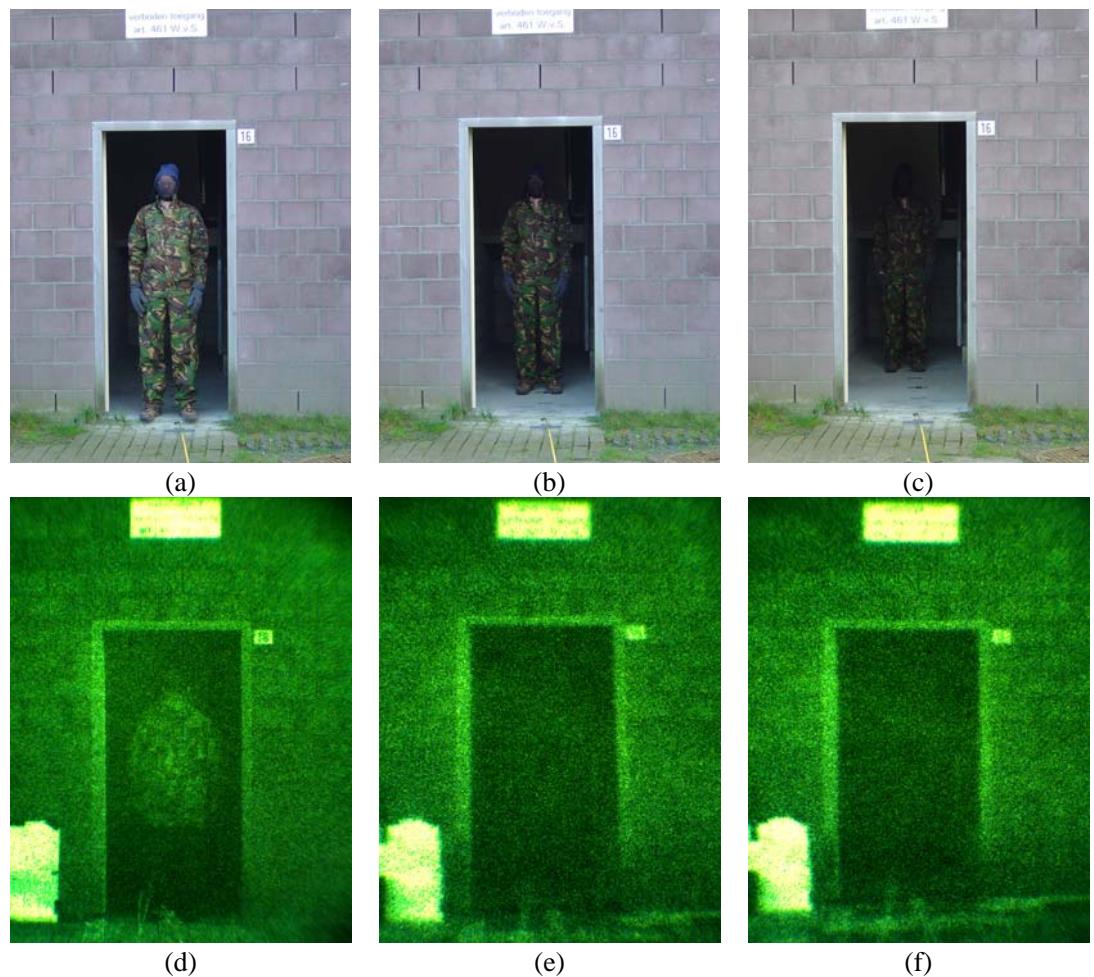
Een persoon die in de schaduw staat van bomen in een bosrand kan visueel (met het blote oog of met HV) soms moeilijk of in het geheel niet gedetecteerd worden.

Zolang er zich geen objecten tussen de waarnemer en de doelpersoon bevinden zal de thermische detecteerbaarheid van de doelpersoon gelijk blijven.

*Camouflage*

Camouflage (bijvoorbeeldcamouflagenetten) kan worden toegepast om personen visueel onzichtbaar te maken. Thermisch kunnen ze dan toch worden gedetecteerd.

Een thermische camera kan worden gebruikt om onderscheid te zien tussen dood en levend materiaal. Dit maakt het bijvoorbeeld mogelijk om afgerukte takken te onderscheiden van levende takken, en een etalagepop te onderscheiden van een levende persoon. Zo wordt het ook mogelijk om objecten die met takken en bladeren zijn gecamoufleerd als zodanig te herkennen en te onderscheiden van een bosje of struik.



Figuur A.1 Voorbeeld van afname van visuele waarneembaarheid door schaduwen. Daglicht (a-c) en helderheidsversterkte (d-f) beelden van een man in een gang, op respectievelijk 0 m (a,d), 1 m (b,e) en 2 m (c,f) afstand van de deuropening.

#### A.1.2 Scenario II: Oriëntatie

De individuele beelden van de HV en WB camera's, en het geïntegreerde beeld van het ATHENA systeem, kunnen alle worden gebruikt om te bepalen waar men zich in het terrein bevindt. De mate waarin waarnemers met elk van deze systemen in staat zijn om hun positie in een bepaalde omgeving te bepalen kan als volgt worden getest. We maken eerst bij dag een aantal overzichtsfoto's (foto's gemaakt met een groothoeklens, dus met een grote field of view) van een bepaald gebied. Verder maken we een aantal foto's van delen van de scène (met een telelens, dus met een kleine field of view). Dezelfde delen van de scène nemen we ook met een kleine field of view op bij nacht met elk van de ATHENA deelsystemen (HV en WB). In een lab test kunnen we dan onder gecontroleerde omstandigheden waarnemers de HV, WB, en ATHENA gefuseerde deelopnamen aanbieden en ze op de overzichtsfotos (daglicht overviews) laten aanwijzen met welk deel van de scène de aangeboden opname correspondeert. Zo kunnen we testen hoe goed ze een bepaald deel van de scène kunnen terugvinden in het geheel.

*Scenario IIa: Oriëntatie in stedelijke omgeving*

Bij dag kunnen overzichtsfoto's worden gemaakt van het terrein met de verschillende soorten vegetatie en overige kenmerken. Bij nacht kunnen met het ATHENA systeem opnamen worden gemaakt van verschillende delen van het terrein. In een lab test krijgt een waarnemer als taak om op de overzichtsfoto's aan te geven met welk deel van de scène de nachtopnamen corresponderen.

*Scenario IIb: Oriëntatie in landelijke omgeving*

Bij dag kunnen overzichtsfoto's worden gemaakt van de omgeving met de verschillende typen gebouwen en andere kenmerkende objecten. Bij nacht kunnen met het ATHENA systeem opnamen worden gemaakt van verschillende delen van de omgeving. In een lab test krijgt een waarnemer als taak om op de overzichtsfoto's aan te geven met welk deel van de scène de nachtopnamen corresponderen.

## A.1.3

*Scenario III: Navigatie*

De individuele beelden van de HV en WB camera's, en het geïntegreerde beeld van het ATHENA systeem, kunnen alle worden gebruikt om een veilige route door een omgeving te plannen. Het huidige ATHENA prototype kan echter niet in dynamische condities (lopend of rijdend) kan worden gebruikt. Wel kunnen we het vermogen van waarnemers om een veilige route door de omgeving te plannen als volgt bepalen.

We maken een aantal overzichtsfoto's met elk der camerasystemen van de omgeving. In elk van die foto's markeren we een begin- en eindpunt. Vervolgens tonen we de foto's aan waarnemers en vragen hen om de kortste veilige route te tekenen van begin- naar eindpunt. Zo kunnen we bepalen hoe goed ze de obstakels en onbegaanbare stukken terrein kunnen onderscheiden. Een alternatief voor deze aanpak is om achtereenvolgens afbeeldingen van de scène aan te bieden die na elkaar op verschillende afstanden in het terrein zijn gemaakt, en de waarnemers bij elke aanbieding te vragen om bijvoorbeeld een links/rechts keuze te maken voor de richting waarin zij bij voorkeur hun denkbeeldige tocht door het terrein zouden willen voortzetten.

Een andere belangrijke toepassing is navigatie onder omstandigheden met slecht zicht (weer, thermisch contrast, licht).

*Scenario IIIa: Navigatie in stedelijke omgeving*

Er kunnen opnamen worden gemaakt van een stadsbeeld waarin zich verschillende obstakels (kraters in de weg, puinhopen, greppels, roadblocks) bevinden en waarin het visueel zicht is verminderd ten gevolge van de aanwezigheid van rook (brandende autobanden, smeulende puinhopen). Die beelden kunnen in een laboratoriumtest worden gebruikt om waarnemers te laten aanduiden welke route ze veilig door de getoonde scène denken te kunnen afleggen.

*Scenario IIIb: Navigatie in landelijke omgeving*

Er kunnen opnamen worden gemaakt van een terrein waarin zich verschillende obstakels (water, greppels, bosjes, bomen, roadblocks) en eventueel gevaarlijke objecten (geschut, explosieven) bevinden.

Als de opnamen worden gemaakt onder omstandigheden met verminderd visueel zicht kan het warmtebeeld het visuele beeld aanvullen.

Het visuele beeld kan helpen om water te kunnen onderscheiden van wegen en paadjes.

Als de opnamen worden gemaakt onder omstandigheden met veel thermische clutter (opgewarmde open zandplekken) kan het visuele beeld helpen om clutter van echte objecten te onderscheiden. Er bestaat echter een kans dat men de taak kan uitvoeren met alleen het visuele beeld.

#### A.1.4 *Scenario IV: Observatie*

##### *Scenario IVa: Observatie in stedelijke omgeving*

Met situationeel bewustzijn bedoelen we het bewustzijn of het mentale model dat een waarnemer heeft van alles wat er zich om hem heen bevindt en afspeelt. Een gangbare definitie van situationeel bewustzijn is ‘the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of their status in the near future’ (Endsley, 1988). Om situationeel bewustzijn te verkrijgen en op peil te houden dient men zijn omgeving voortdurend te observeren. Endsley onderscheidt 3 niveaus van situationeel bewustzijn (Endsley, 1988; Endsley, 2000):

- Nivo 1 - Data: het waarnemen van de relevante elementen in de omgeving.
- Nivo 2 - Begrip: het begrip van de onderlinge relatie van die elementen, en welke betekenis ze hebben in het kader van de doelstellingen van de waarnemer.
- Nivo 3 - Projectie: hoe de situatie zich in de nabije toekomst zal ontwikkelen.

Er kunnen in een stedelijke omgeving dynamische scènes worden opgenomen waarin personen rondlopen die

- objecten bij zich dragen;
- objecten neerleggen en objecten wegpakken op schaduwrijke plekken (onder struiken, in gangen, onder afdakjes);
- elkaar objecten overhandigen.

Objecten die gebruikt kunnen worden zijn onder andere:

- geweren;
- fietspompen;
- parapluies;
- scheppen;
- bijlen.

Wanneer de handelingen in de schaduw of in de directe omgeving van een lantaarnpaal plaatsvinden, zal het moeilijk zijn om met een HV beeld vast te stellen wat er precies gebeurt. Het is echter moeilijk om met een warmtebeeld objecten te detecteren die ongeveer dezelfde temperatuur hebben als de personen die ze dragen.

Er kan ook voor worden gekozen alleen statische scènes op te nemen, waarin zich de bovengenoemde objecten bevinden. De waarnemers kunnen dan later in het lab de herkenbaarheid van de verschillende objecten in de verschillende beeldmodaliteiten beoordelen.

##### *Scenario IVb: Observatie in landelijke omgeving*

Dit scenario is vrijwel gelijk aan de stedelijke variant uit de vorige sectie, alleen zullen de handelingen hier voornamelijk in de schaduw van bomen plaatsvinden, en wordt ervan uitgegaan dat er geen straatverlichting aanwezig is.

## A.2 Locaties

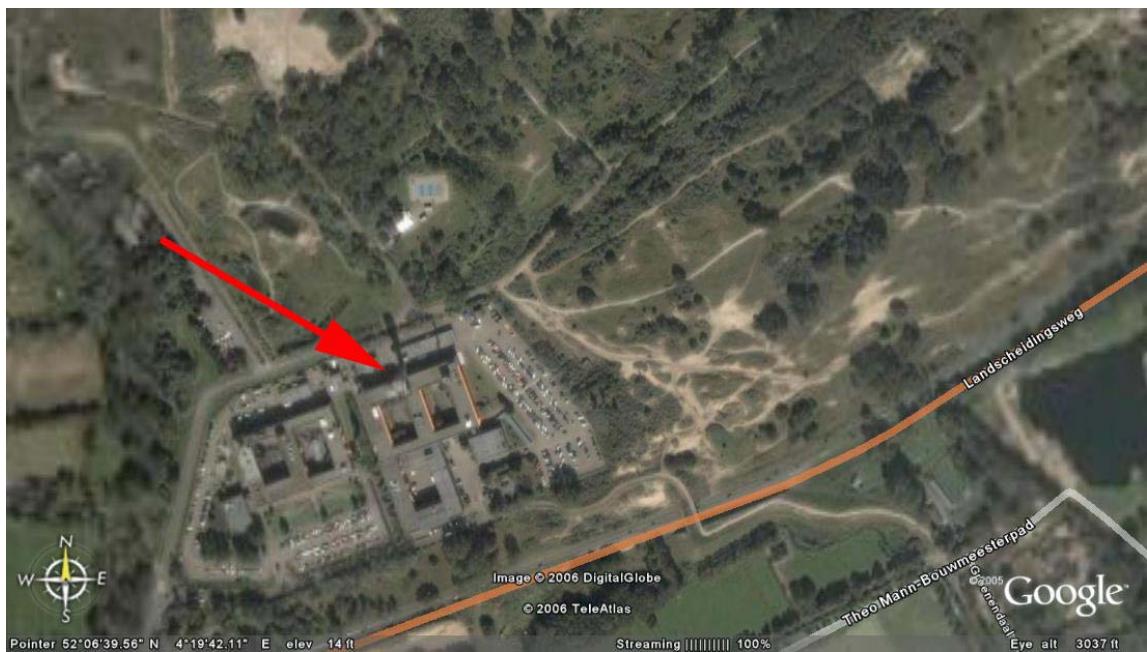
### A.2.1 Waalsdorpervlakte

Bij dit experiment werd er ook een additionele Amber 3-5 µm thermische camera aan het basis ATHENA systeem toegevoegd.

#### *Terreinbeschrijving*

Het terrein aan de noord- en de oost-zijde van het TNO D&V gebouw op de locatie Den Haag maakt deel uit van de Waalsdorpervlakte. Vanaf de toren van het gebouw (aangegeven door de rode pijl in figuur A.2 en in close-up in figuur A.3) heeft men een ‘helicopter view’ van dit terrein (figuur A.4). Het deel aan de noord zijde (figuur A.4a) is licht glooiend, en bestaat uit grasland, enkele watertjes, en wat groepjes bomen (berken). Verder zijn er wat gebouwen aanwezig in dit deel van het terrein. Het deel aan de oostzijde (figuur A.4b) bestaat uit gras en heide land, doorkruist door enkele zandpaden, enkele losstaande bomen, en een dichtere cluster bomen in de achtergrond.

Op de achtergrond zijn er straatlantaarns zichtbaar. Bij de nachtopnamen werden de lantaarns op het TNO terrein uitgeschakeld.



Figuur A.2 Luchtfoto van het TNO D&V gebouw op de locatie Den Haag en het omringende gebied dat kan worden waargenomen vanuit de toren van dit gebouw (de locatie van de toren is aangegeven door de rode pijl).



Figuur A.3 De toren van het TNO D&V gebouw op de locatie Den Haag. Vanaf de 10<sup>de</sup> verdieping heeft men een goed uitzicht over de Waaldorpervlakte.



(a)



(b)

Figuur A.4 Uitzicht op de Waalsdorpervlakte vanaf de 10<sup>de</sup> verdieping van de toren van het TNO D&V gebouw op de locatie Den Haag, respectievelijk naar het Noorden (a) en naar het Oosten (b).

## Scenario's

Het ATHENA systeem werd neergezet op het balkon van de 10<sup>de</sup> verdieping van de toren van het TNO D&V gebouw op de locatie Den Haag. Hierdoor werd een soort 'helicopter view' van het omliggende terrein verkregen.

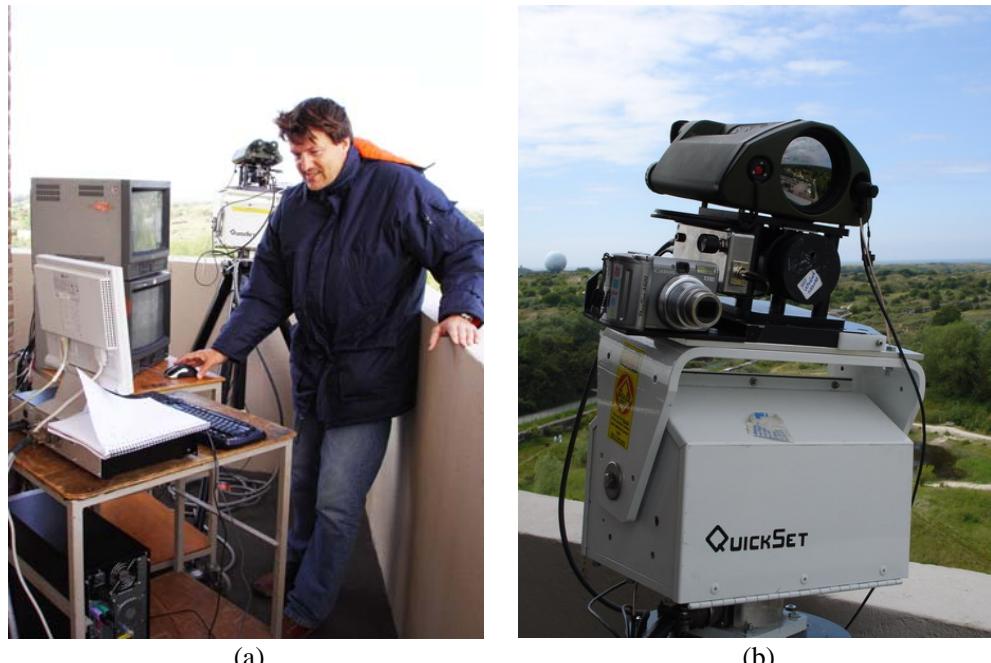


Figure A.5 De ATHENA opstelling (a) en het camerasysteem (b) op de rand van de 10<sup>de</sup> verdieping van het TNO D&V gebouw op de locatie Den Haag.

Deze sectie beschrijft de scenario's die corresponderen met het beeldmateriaal dat op deze lokatie werd opgenomen.

### *Routeplanning*

Het afwisselende karakter van het terrein, met de vele zandpaadjes, maakt dit terrein geschikt voor scenario's waarin men een route door het terrein moet plannen op basis van het waargenomen beeldmateriaal. Onder omstandigheden waarin het Lion Advance warmtebeeld weinig of geen contrast vertoond (wash-out na regenval, of tijdens de dagelijkse temperatuursomslag) zal het plannen van een route op basis van dit beeld niet goed mogelijk zijn, omdat de paden niet onderscheidbaar zijn. Ook kan het voorkomen dat men paden en water met elkaar verwart. In deze condities kan het HV beeld uitkomst bieden.

### *Lokalisatie*

Onder omstandigheden met goed visueel zicht (dus geen mist) representeert het HV beeld duidelijk alle details van het terrein. Een normaal gekleed persoon in de scène (mits niet door bomen of anderszins aan het zicht onttrokken) is dan steeds goed zichtbaar. Een persoon die zich in een schaduw bevindt of die camouflagekleding draagt is echter niet goed waarneembaar. In een dergelijk geval kan de combinatie van een HV beeld en een warmtebeeld (waarin de persoon wel zichtbaar is) zoals ATHENA die biedt een belangrijk hulpmiddel zijn om de precieze locatie (gegeven door het HV beeld) van de persoon te kunnen vaststellen.

### *Surveillance*

In het parkje aan de noordzijde bevindt zich een houten bank. Bij duisternis zijn de schaduwen direct naast en onder deze bank zodanig dat een HV camera objecten of personen die zich in deze schaduw bevinden (naast of onder het bankje) niet zichtbaar maakt. Dit maakt het mogelijk om een scenario op te nemen waarin er door personen onder of naast de bank objecten worden neergelegd en verwijderd.

### *Objectherkenning*

Op een reeks verschillende afstanden (variërend van 420 – 80 m) werden zowel bij dag als bij duisternis opnamen gemaakt van personen die verschillende objecten in hun hand droegen. De gebruikte objecten waren respectievelijk een plastic pijp, een bijl, een houten paal, en een houten hamer (zie figuur A.6).



Figuur A.6 De 4 objecten (van links naar rechts: een plastic pijp, een bijl, een houten paal, en een houten hamer) die werden gebruikt voor de opnamen. Een met heet water gevulde jerrycan (rechtsonder) fungeerde als ijkpunt voor de calibratie van het camerasysteem.

### *Samenvatting*

Het beeldmateriaal dat op deze locatie werd opgenomen komt het meest overeen met de scenario's IIb, IIIb en IVb uit Bijlage A.1 (respectievelijk navigatie, oriëntatie en observatie in landelijk gebied). Tevens is het beeldmateriaal bruikbaar voor waarnemingsexperimenten die corresponderen met Ib (doelopsporing in landelijk gebied).

*Beeldmateriaal*

Artificiële objecten in het terrein (bijvoorbeeld de paaltjes in figuur A.7b , de bunker en de muur in figuur A.7c , de bankjes in figuur A.7f) zijn goed zichtbaar in het Lion Advance warmtebeeld terwijl ze in een corresponderend HV beeld slecht zijn te zien. Daarentegen zijn natuurlijke terrein details zoals vegetatie (bijvoorbeeld bomen en struiken in figuur A.7a,c,e) vaak beter zichtbaar in het HV beeld dan in het corresponderende warmtebeeld. De combinatie van WB en HV volgens het ATHENA concept (bijvoorbeeld figuren A.10 – A.12) levert in dat geval een beeld waarin alle details zichtbaar zijn.

Personen zijn bij duisternis in het HV beeld slecht zichtbaar, zeker wanneer ze gehuld zijn in gevechtskleding (zie bijvoorbeeld figuren A.8 en A.9). In het warmtebeeld worden ze daarentegen met een hoog contrast afgebeeld omdat ze warmer zijn dan hun directe omgeving. In de combinatie van WB en HV volgens het ATHENA concept (bijvoorbeeld figuren A.13) zijn de personen wel goed zichtbaar zijn in de context van hun directe omgeving. Bij de gebruik van een kleurentabel als in figuur A.13 is het niet mogelijk onderscheid te maken tussen personen in lichtgekleurde kleding en mensen die in camouflerende kleding zijn gehuld. Zoals figuur A.14 laat zien is het door een slimme keuze van de gebruikte kleurweergave tabel wel mogelijk dit onderscheid te maken.

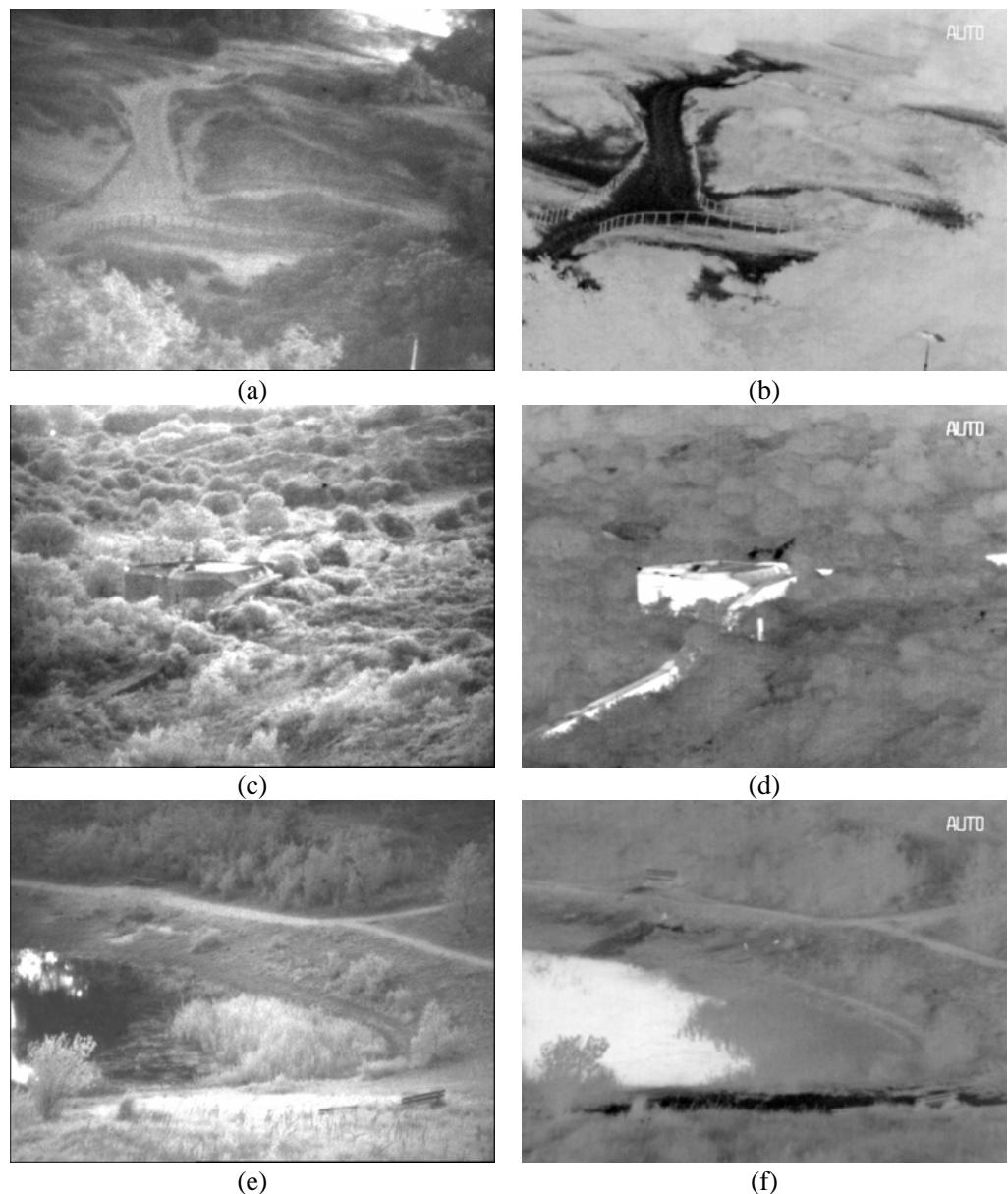
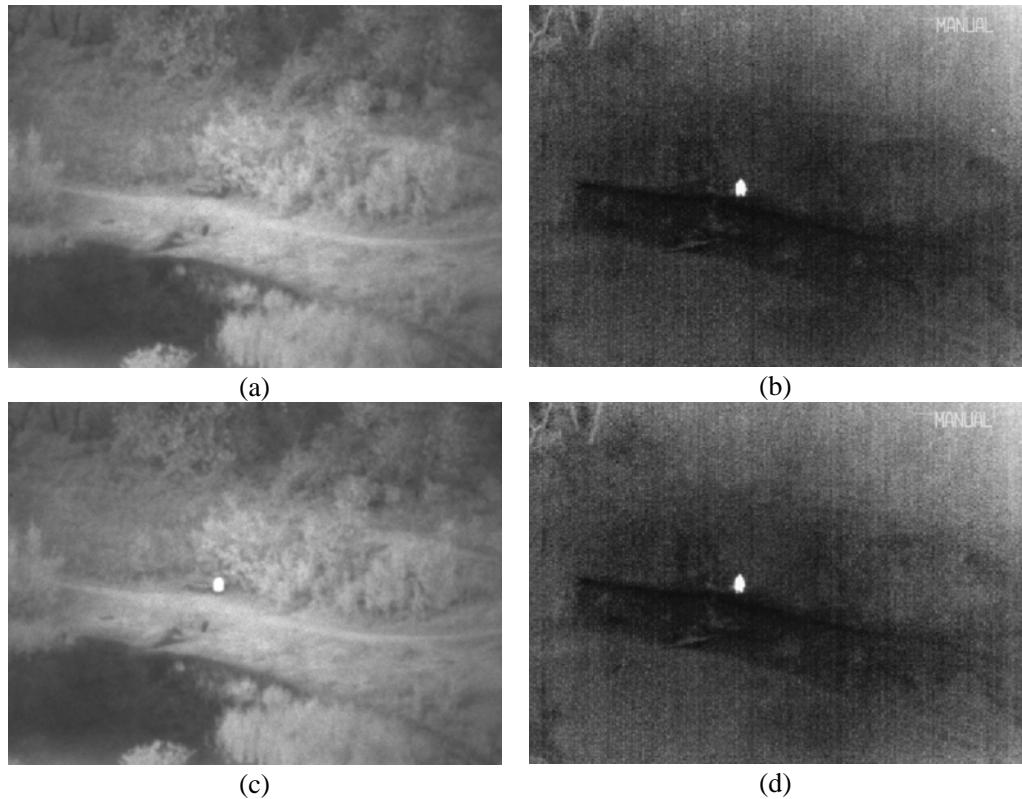
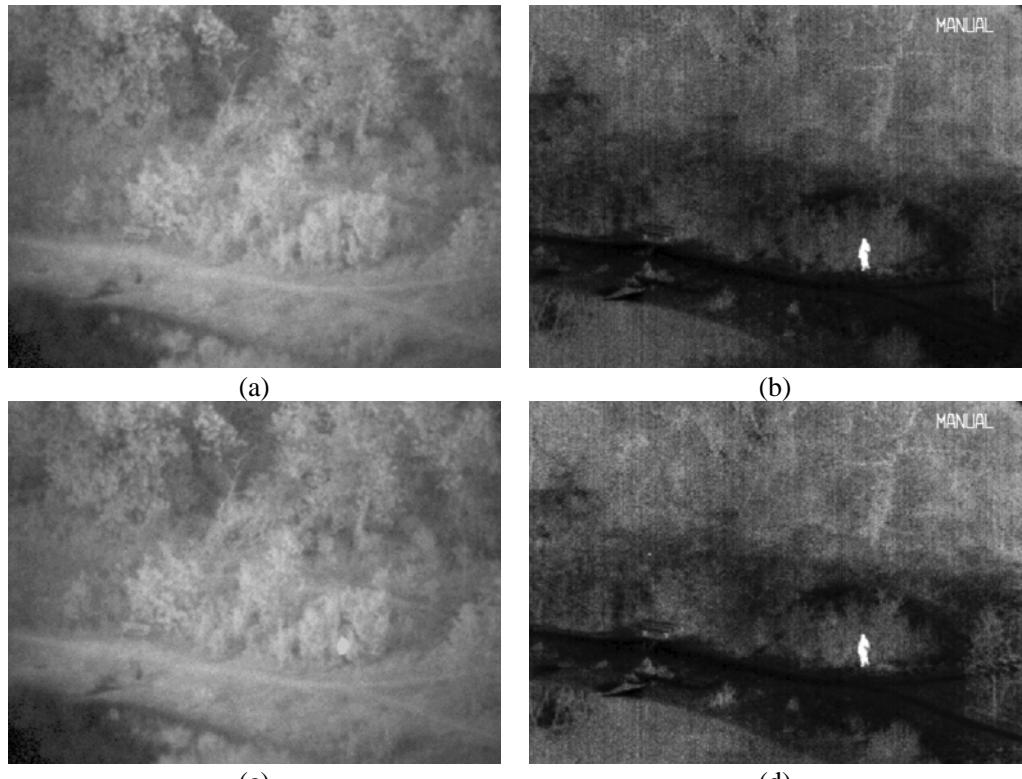


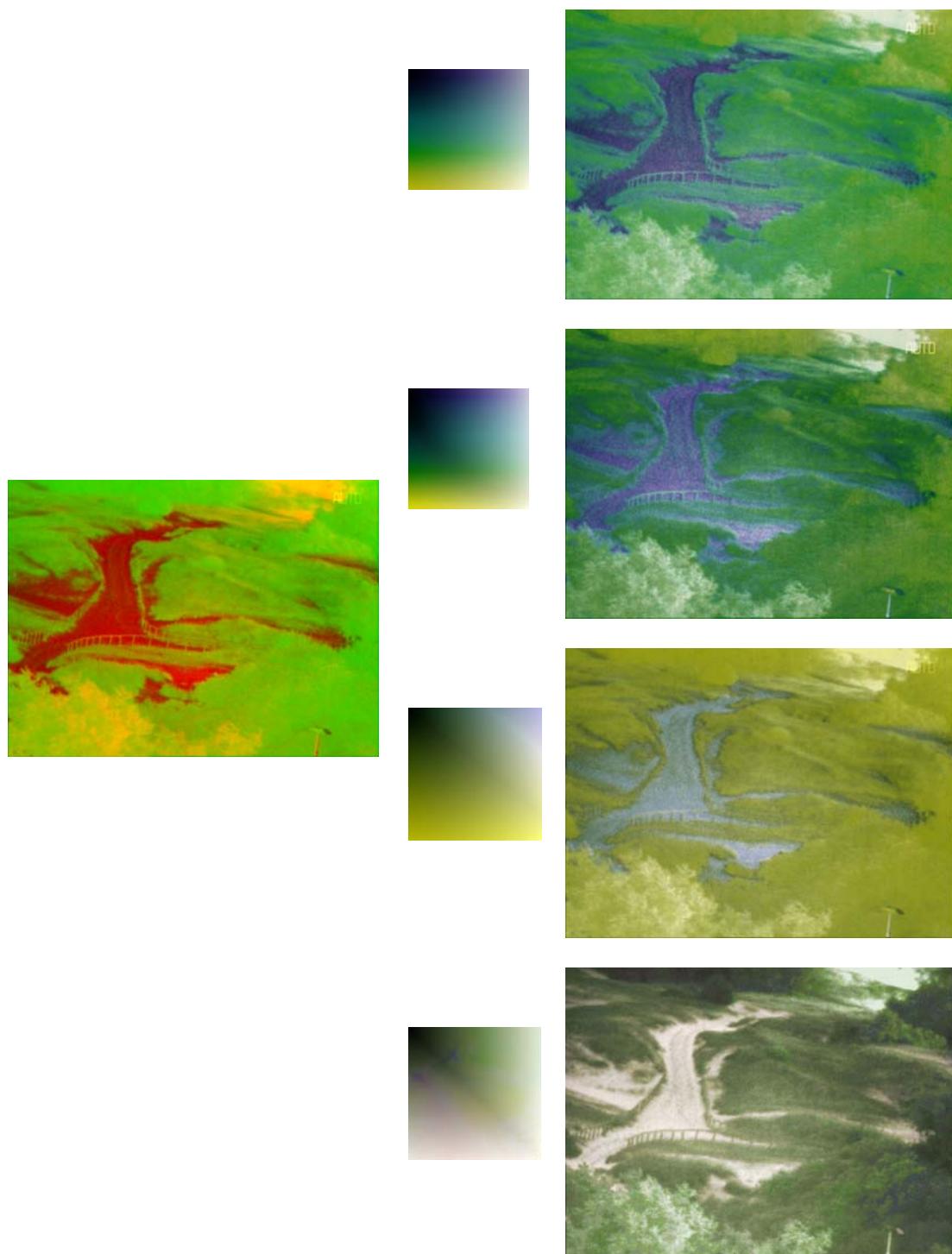
Figure A.7 ATHENA beeldmateriaal opgenomen bij nacht op de Waalsdorpervlakte. Linker kolom: beeld van de digitale HV. Rechter kolom: warmtebeeld van de Lion Advance. (a-b) Een scène met hei, zandpaden en bomen. (c-d) Een scène met een bunker en een muur temidden van bomen. (e-f) Een scène met een meertje, wat riet, bankjes, struiken en een grindpad.



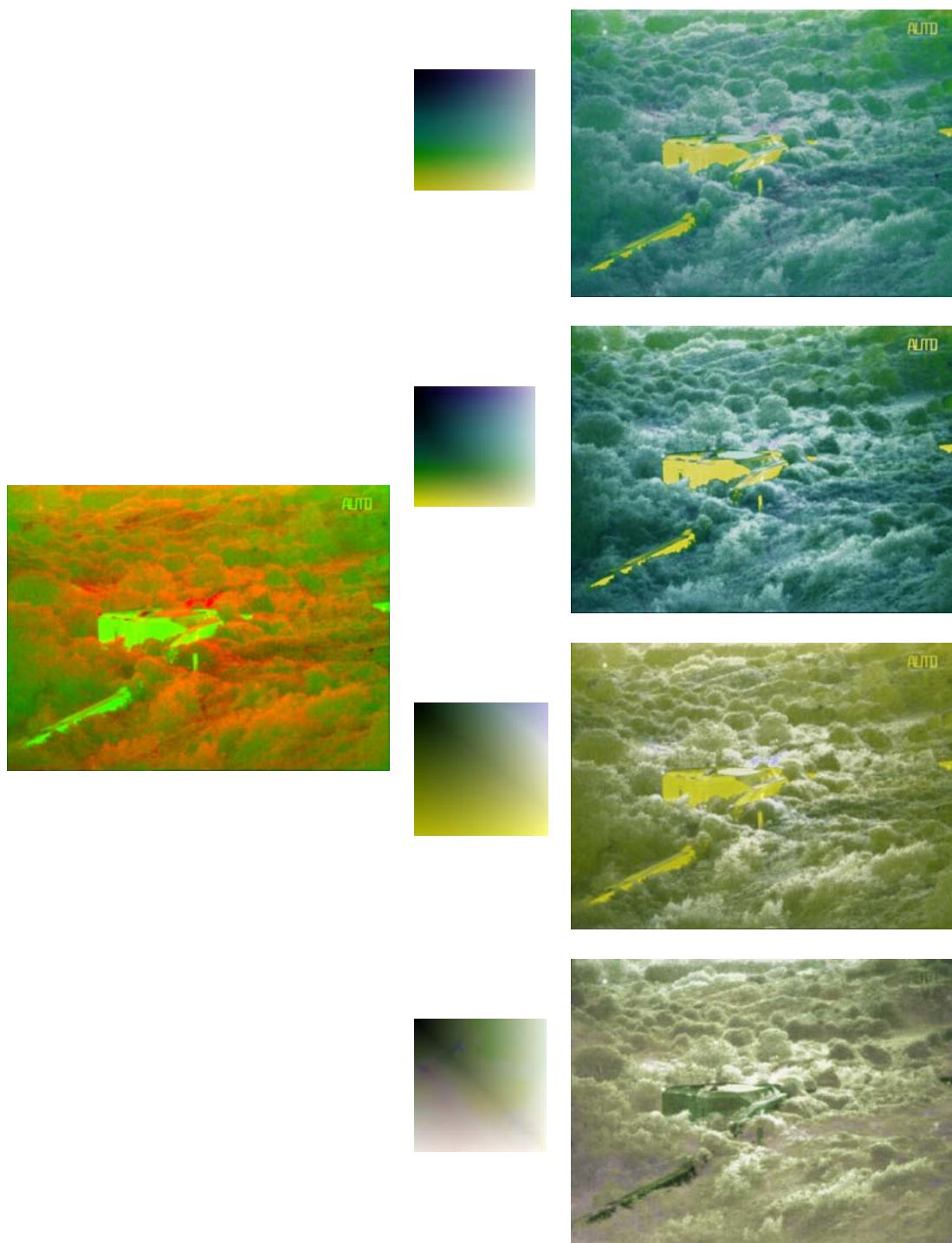
Figuur A.8 Nachtopnamen met de digitale HV (linkerkolom) en de Lion Advance warmtebeeld camera (rechterkolom) van een persoon die naast een bankje gehurkt zit. Bovenste rij: de persoon draagt standaard gevechtskleding. Onderste rij: de persoon draagt een wit T-shirt. Merk op dat de kleding wel van invloed is op de zichtbaarheid van de persoon in het HV beeld, maar niet op zijn contrast in het warmtebeeld.



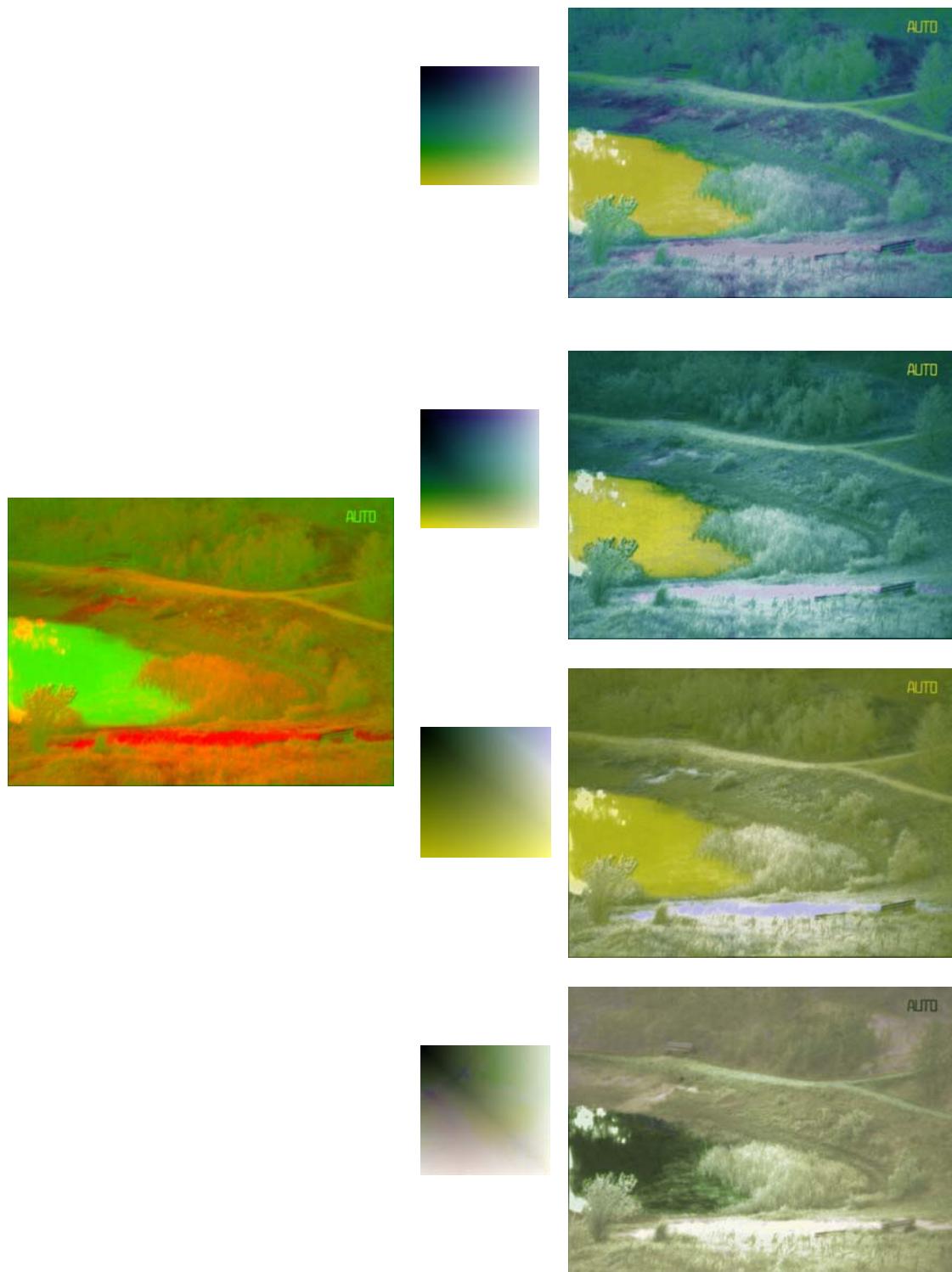
Figuur A 9 Als figuur A 8 voor een persoon die voor een bosje staat



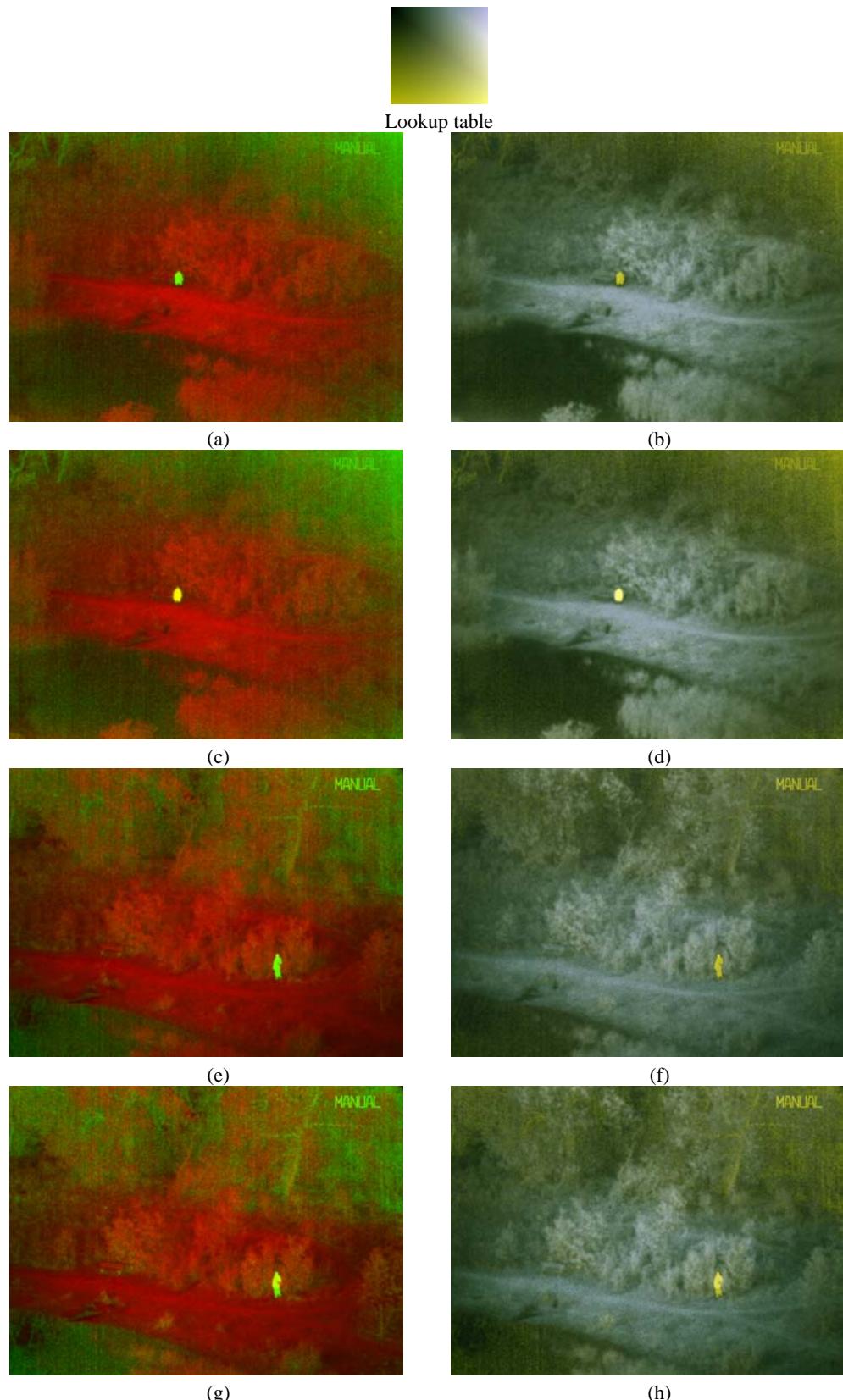
Figuur A.10 Linker kolom: false colour RG (rood-groen) representatie van de beelden uit respectievelijk figuur A.7a en b.  
Middelste kolom: de kleurentabellen waarmee het false colour RG beeld wordt omgezet in het  
corresponderende kleurenbeeld in de rechterkolom.



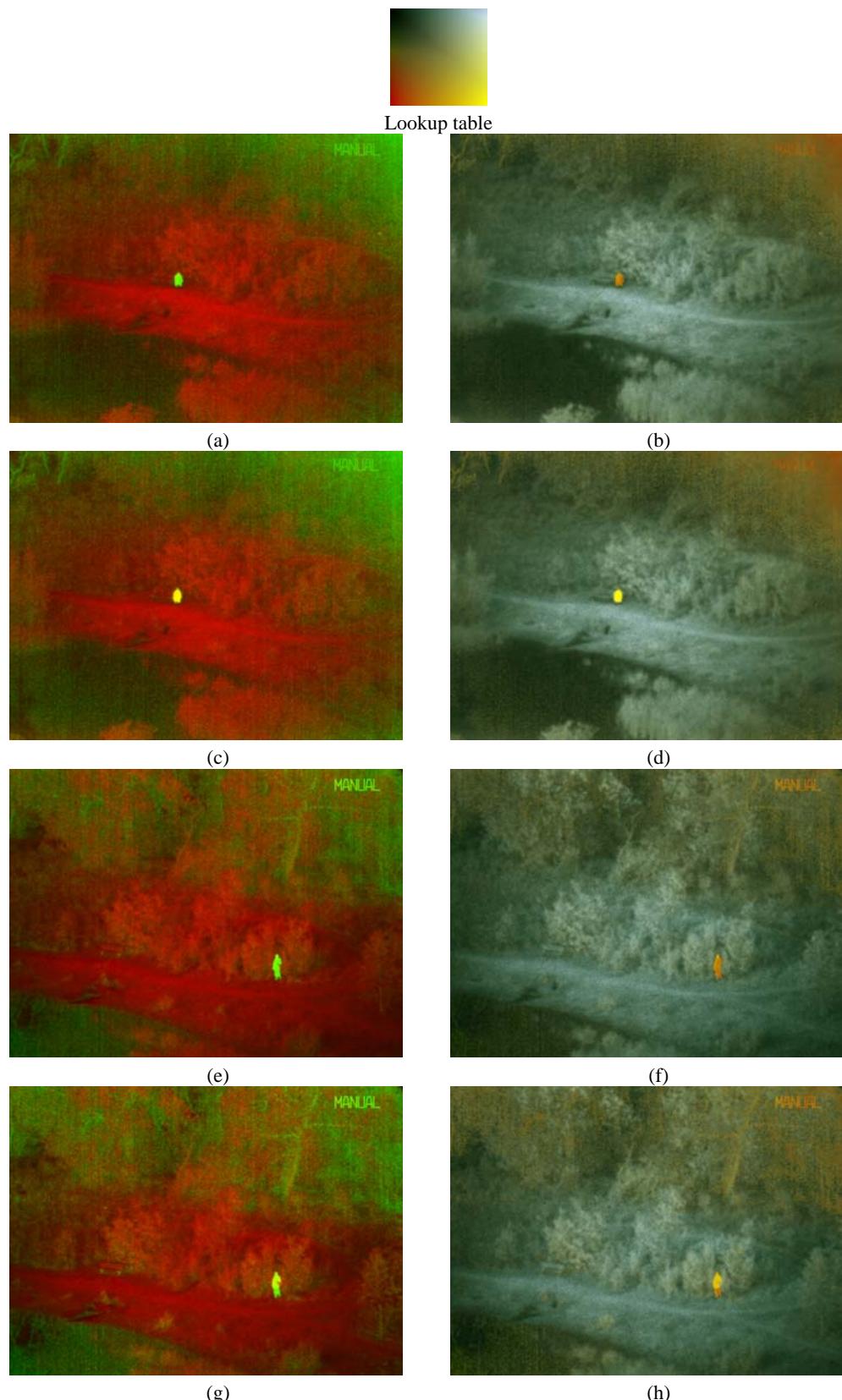
Figuur A.11 Linker kolom: false colour RG (rood-groen) representatie van de beelden uit respectievelijk figuur A.7c en d.  
Middelste kolom: de kleurentabellen waarmee het false colour RG beeld wordt omgezet in het  
corresponderende kleurenbeeld in de rechterkolom.



Figuur A.12 Linker kolom: false colour RG (rood-groen) representatie van de beelden uit respectievelijk figuur A.7e en f. Middelste kolom: de kleurentabellen waarmee het false colour RG beeld wordt omgezet in het corresponderende kleurenbeeld in de rechterkolom.



Figuur A.13 Linker kolom: de HV en WB beelden van figuur A.8 en figuur A.9 gecombineerd in respectievelijk rood en groen. Rechter kolom: dezelfde beelden weergegeven via de bovenstaande kleurentabel. Merk op dat de persoon in alle gevallen in gele tinten wordt weergegeven.



Figuur A.14 Als figuur A.13, met gebruik van de bovenstaande kleurtabel. Merk op dat de persoon in geel wordt weergegeven als hij goed zichtbaar was in het HV beeld, en in rood als hij alleen zichtbaar is in het warmtebeeld.

#### A.2.2 *Oostdorp*

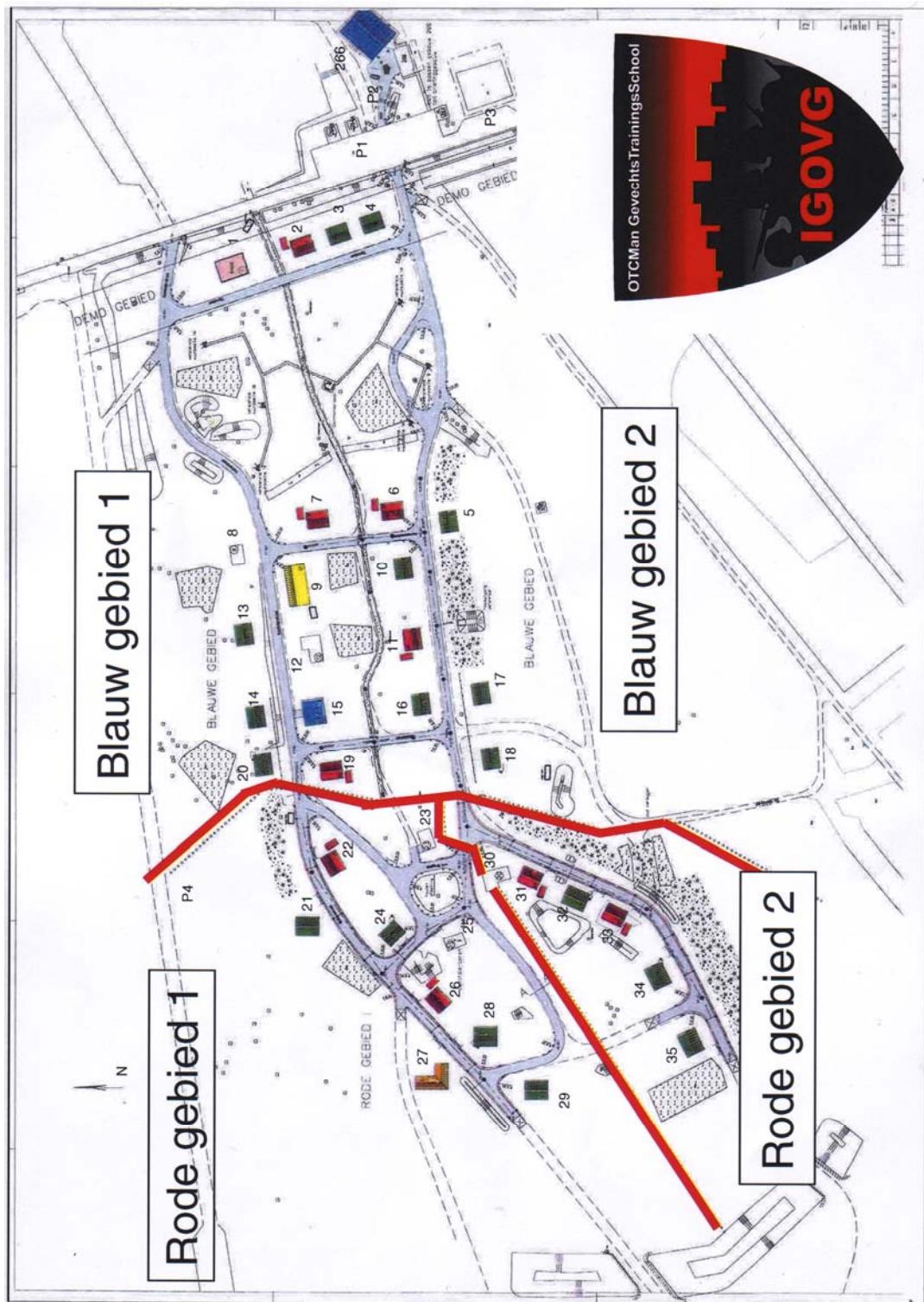
Bij dit experiment werd er ook een additionele Amber 3-5 µm thermische camera aan het basis ATHENA systeem toegevoegd.

##### *Terreinbeschrijving*

Oostdorp is een militair oefendorp dat is gelegen op het Infanterie Schietkamp de Harskamp. Op verschillende plekken heeft men vanaf grote afstand vrij zicht op de huizen van het dorp. Dit biedt de mogelijkheid om scenario's op te nemen waarin personen zich verdeckt opstellen in kamers of gangen van huizen. Sommige huizen kunnen vanaf elke kant goed worden benaderd, waardoor het mogelijk is om altijd een zijde te vinden waarop een persoon die tegen het huis aan staat zich in de schaduw bevindt (zowel bij dag als bij nacht: figuur A.18).

Er is redelijk wat vegetatie op het terrein in de vorm van hoge en vrij dichte struiken en hoge bomen. Dit biedt de mogelijkheid om scenario's op te nemen waarin personen zich verdeckt opstellen in de schaduw van een cluster bomen of tussen struikgewas.

Op het terrein is op verschillende punten 220V spanning aanwezig (in de gebouwen). De meeste huizen hebben stalen luiken voor de ramen. Er zit geen glas in de ramen. Hierdoor is het niet mogelijk om de afschermende werking van glas voor thermische straling te demonstreren.



Figuur A.15 Plattegrond van het militair oefendorp Oostdorp op het Infanterie Schietkamp de Harskamp.



Figuur A.16 Infanterie Schietkamp de Harskamp op de Veluwe.



Figuur A.17 Enkele verschillende aangezichten van Oostdorp.



Figuur A.18 Verschillende typen gebouwen.



Figuur A.19 Een huis met twee verdiepingen en open ramen.

### Scenario's

Het ATHENA systeem werd neergezet op een lokatie (observatiepost) die vanaf grote afstand vrij zicht bood op een gevarieerde scène waarin verschillende huizen, vegetatie, straatlantaarns en wegen zijn te zien (zie figuur A.20 – figuur A.21).



(a)



(b)

Figuur A.20 (a) De opname lokatie. (b) De ATHENA camera opstelling.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figuur A.21 Verschillende uitzichten vanaf de opname lokatie. (a) Een huis waar personen met een deur en een gang loodrecht op de kijkrichting. (b) Huizen achter bos. (c) Een loopgraaf met huizen op achtergrond. (d) Enkele dicht opeen staande huizen.



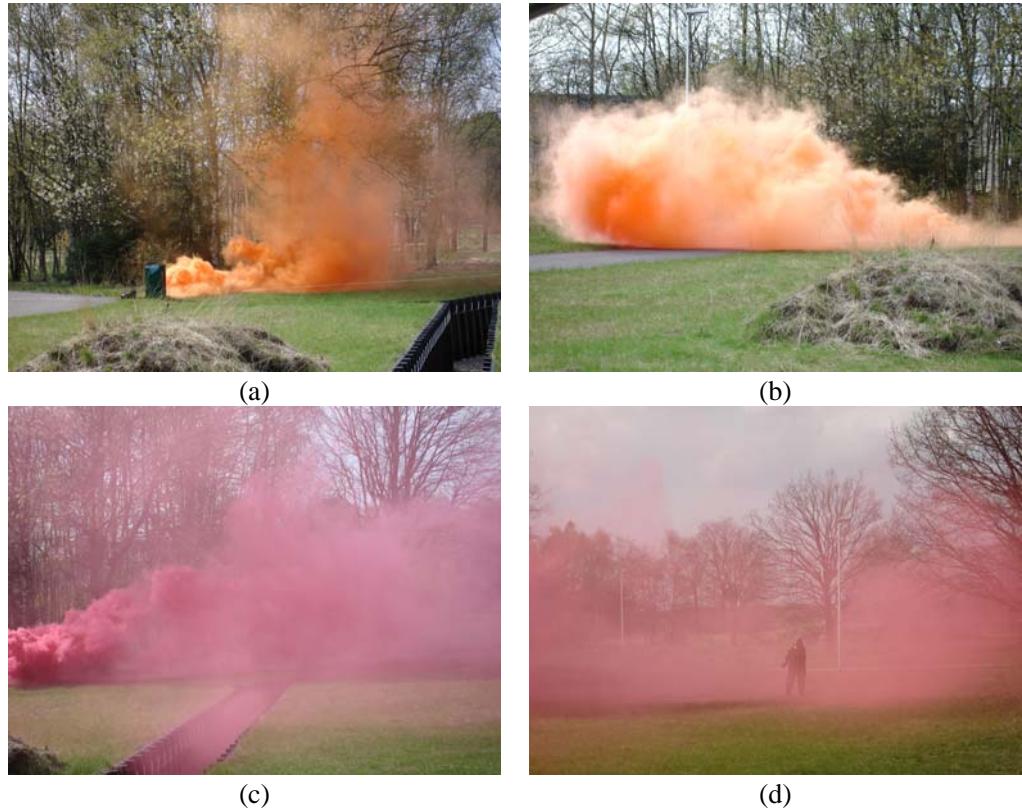
(a)

(b)

Figuur A.22 (a) Persoon die in de deuropening staat. (b) Persoon die iets dieper in de gang staat.



Figuur A.23 Persoon in verschillende typen camouflage en beschermende kleding (linkerkolom) op verschillende locaties in de scène (rechterkolom).



Figuur A.24 Het gebruik van rookgranaten om personen aan het zicht te onttrekken.

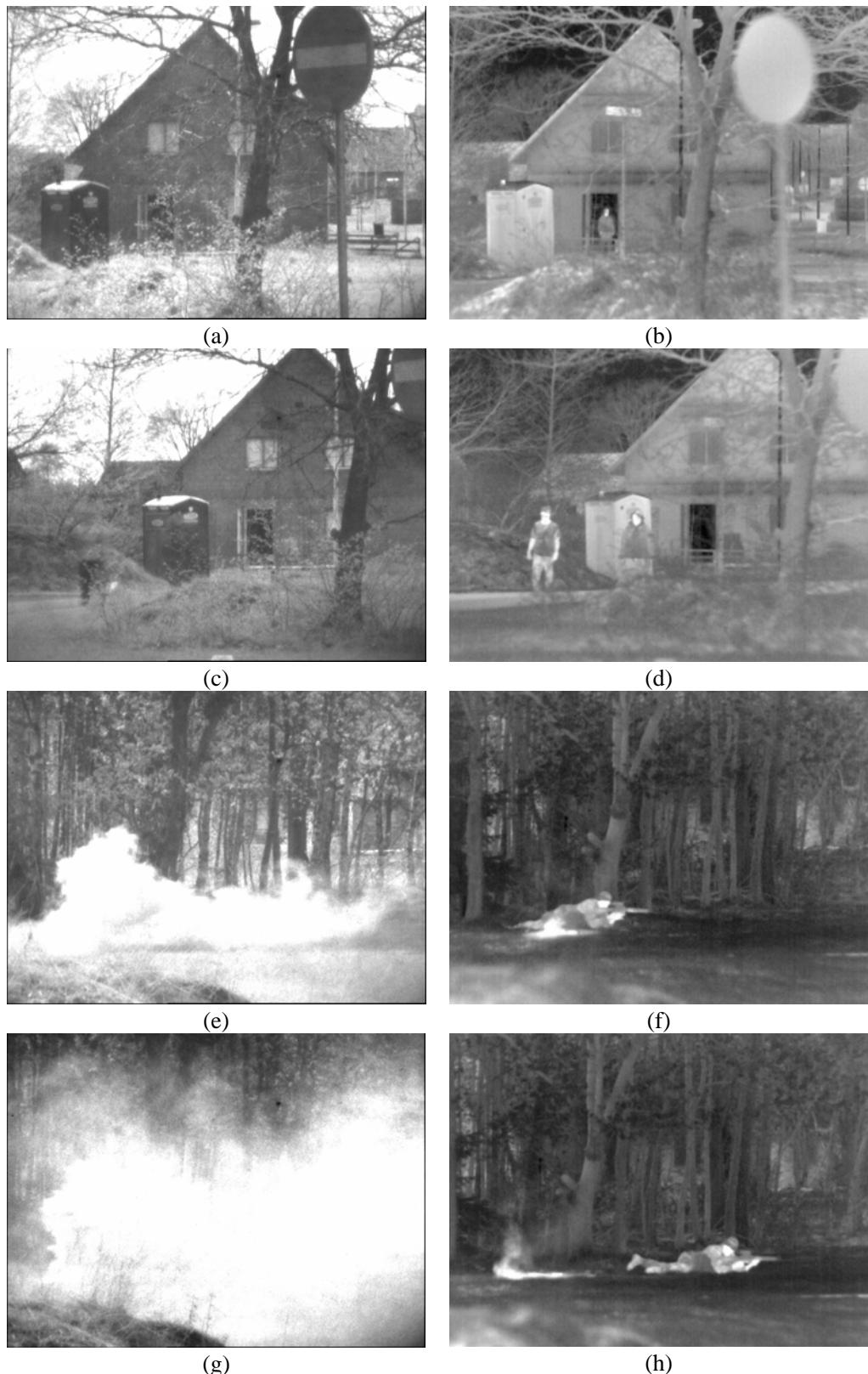
Bij dag en bij duisternis werden met het ATHENA systeem opnamen gemaakt van personen op verschillende lokaties in de scène. De visuele opvallendheid van de personen werd gevarieerd door verschillende achtergronden te selecteren.

Er werden ook opnamen gemaakt van personen die zich in de schaduw bevonden. Zo is een persoon die in de schaduw tussen gebouwen staat (bijvoorbeeld figuur A.21d) minder goed zichtbaar dan een persoon in het open veld (bijvoorbeeld figuur A.23f). En een persoon die in een donkere gang staat is ook slecht zichtbaar (figuur A.22).

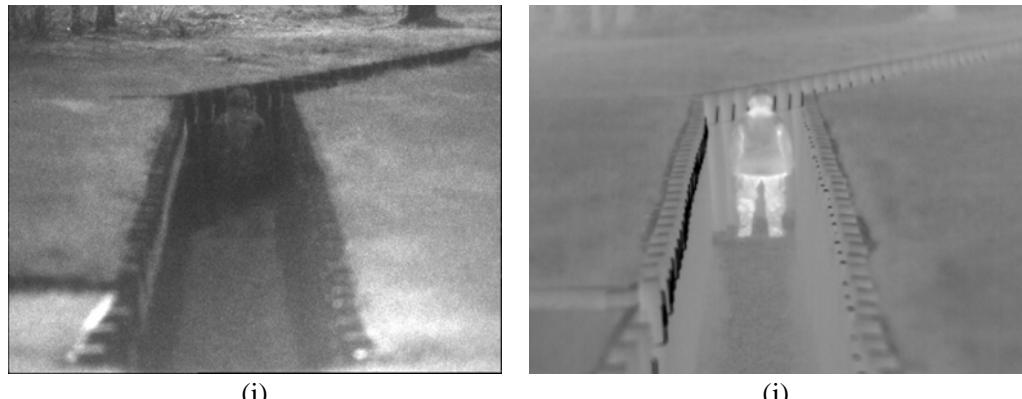
Verder werden er opnamen gemaakt van personen in camouflagekleding en beschermende NBC kleding (zie figuur A.23). De camouflagekleding reduceert de visuele opvallendheid, terwijl de NBC kleding het thermisch profiel ook verandert.

Ook werden er opnamen gemaakt van personen die door rook aan het zicht werden ontrokken. Hiervoor werden rookgranaat ingezet (zie figuur A.24).

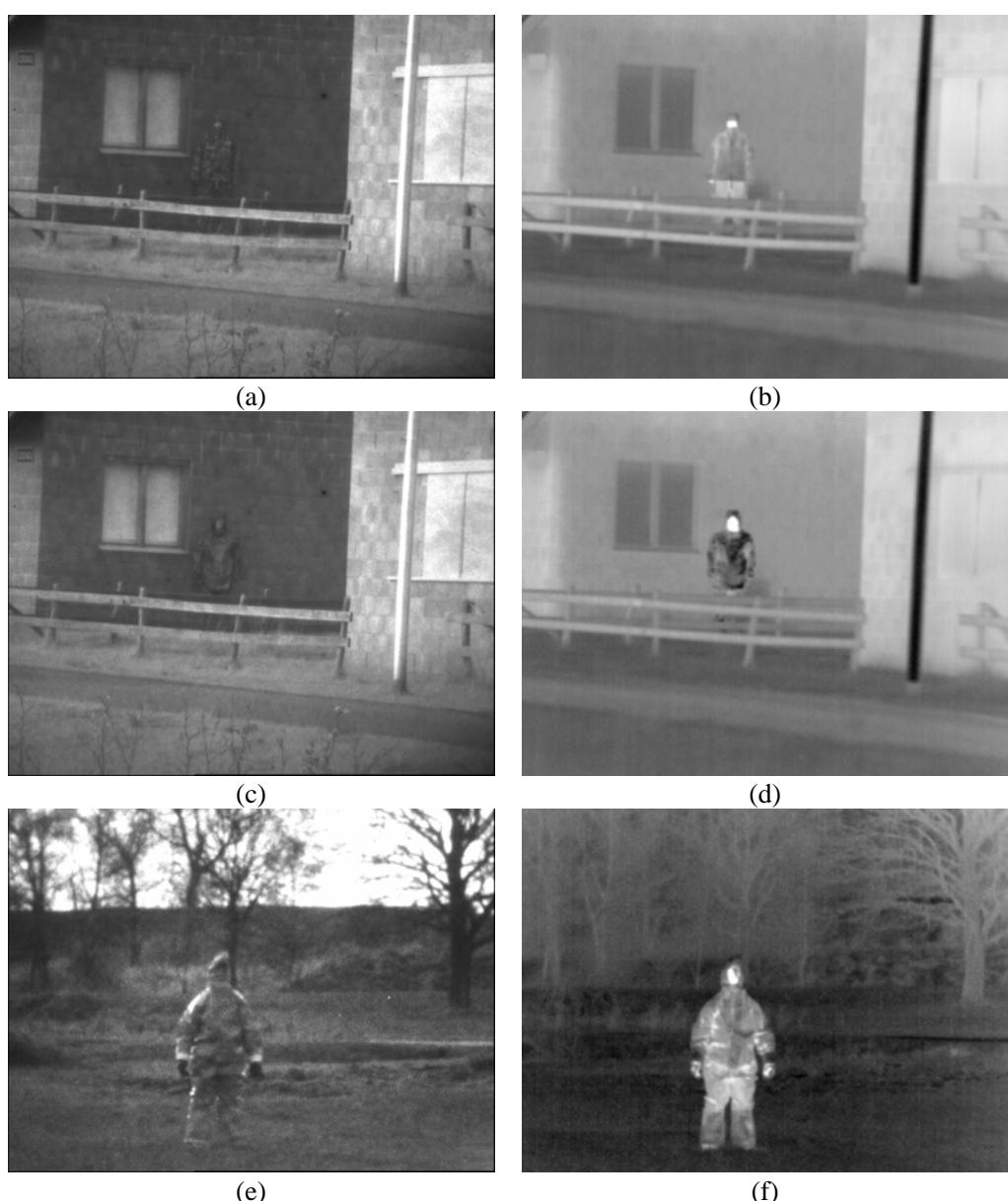
Het beeldmateriaal dat op deze lokatie werd opgenomen represeneert de scenario's Ia (doelopsporing in stedelijk gebied) en IVa (observatie in stedelijk gebied). Tevens is het beeldmateriaal bruikbaar voor waarnemingsexperimenten die corresponderen met de scenario's IIa (navigatie in stedelijk gebied) en IIIa (oriëntatie in stedelijk gebied).

*Beeldmateriaal*

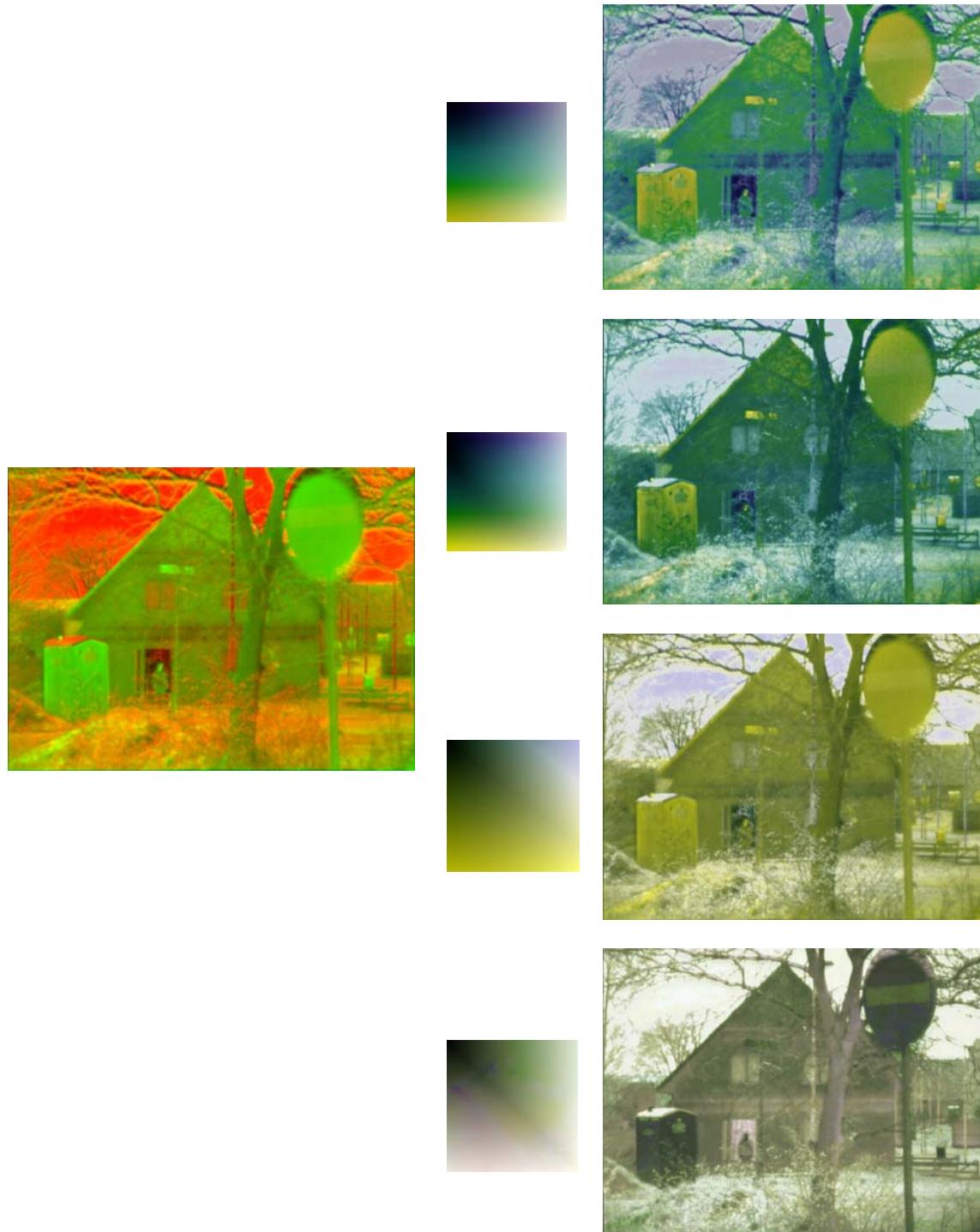
Figuur A.25 Digitale HV beelden (linker kolom) en Lion Advance warmtebeelden (rechts) van scènes in Oostdorp.  
 (a,b): man in deuropening. (c,d): man naast en vrouw voor Dixi. (e,f): soldaat knielend en wapen richtend achter rookwolk. (g,h).



Figuur A.25 (vervolg) Digitale HV beelden (linker kolom) en Lion Advance warmtebeelden (rechts) van scènes in Oostdorp: (i,j): vrouw in loopgraaf.



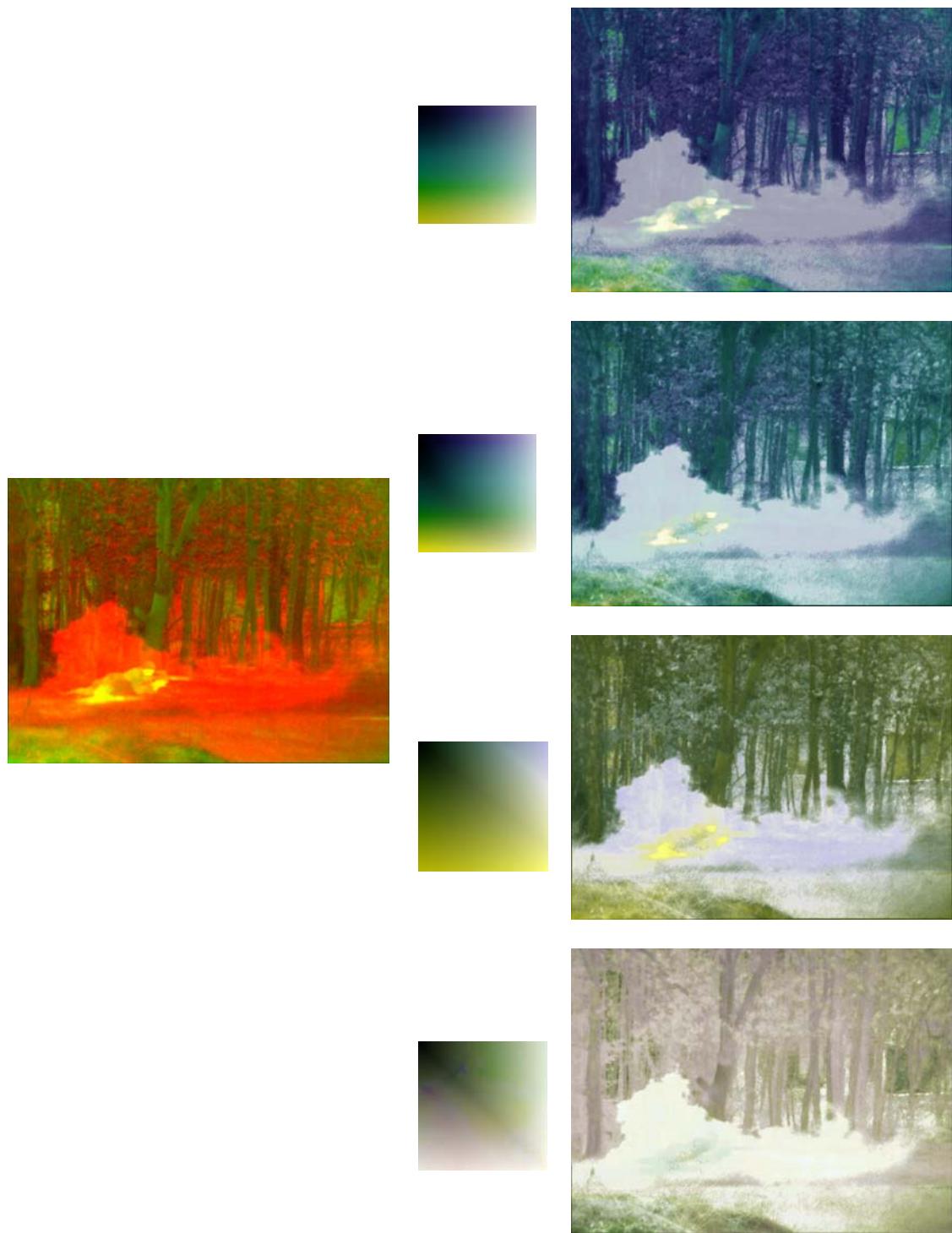
Figuur A.26 Digitale HV beelden (linker kolom) en Lion Advance warmtebeelden (rechts) van een persoon in respectievelijk de kleding uit figuur A.23.



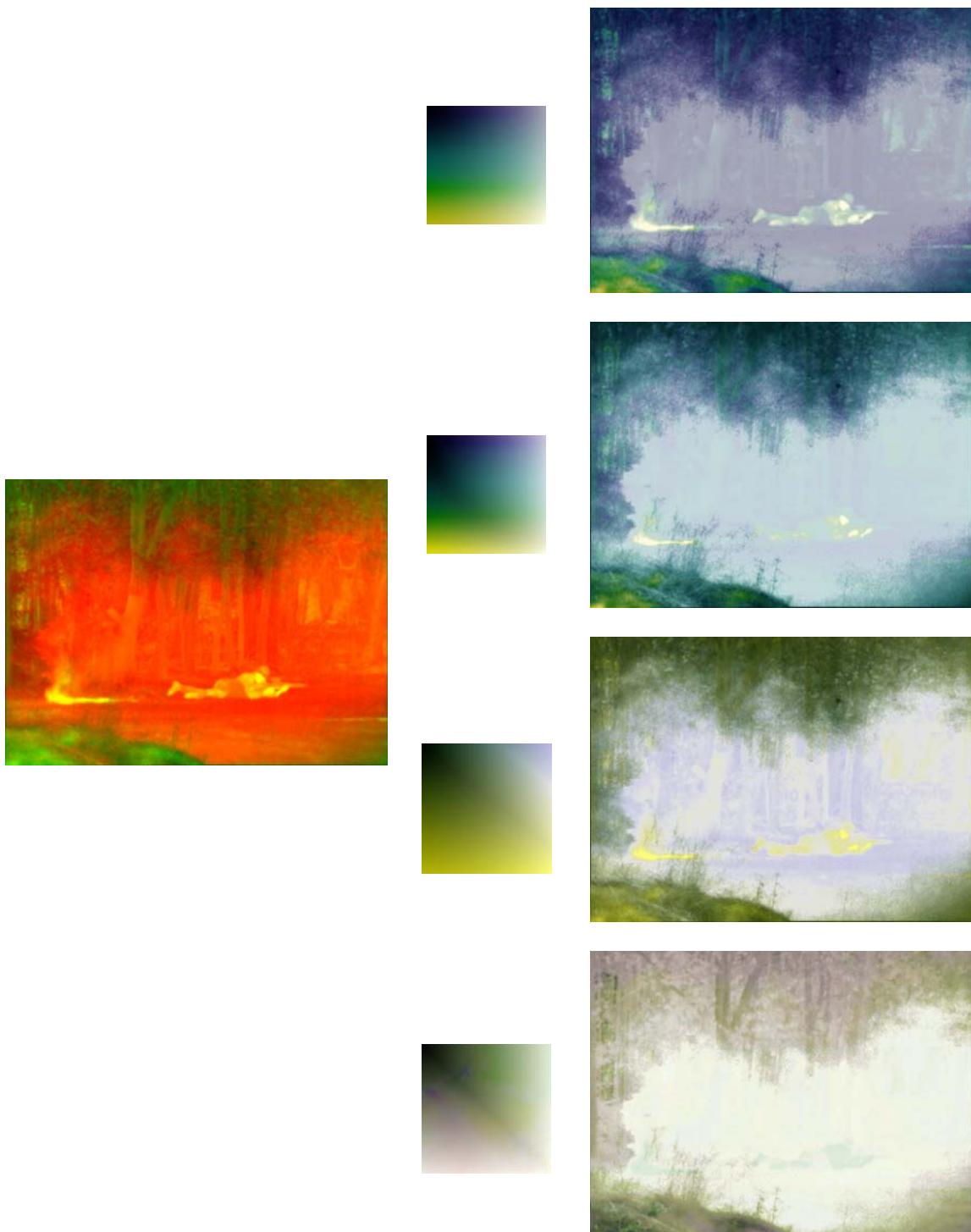
Figuur A.27 Linker kolom: false colour RG (rood-groen) representatie van de beelden uit respectievelijk figuur A.25a en b.  
Middelste kolom: de kleurentabellen waarmee het false colour RG beeld wordt omgezet in het  
corresponderende kleurenbeeld in de rechterkolom.



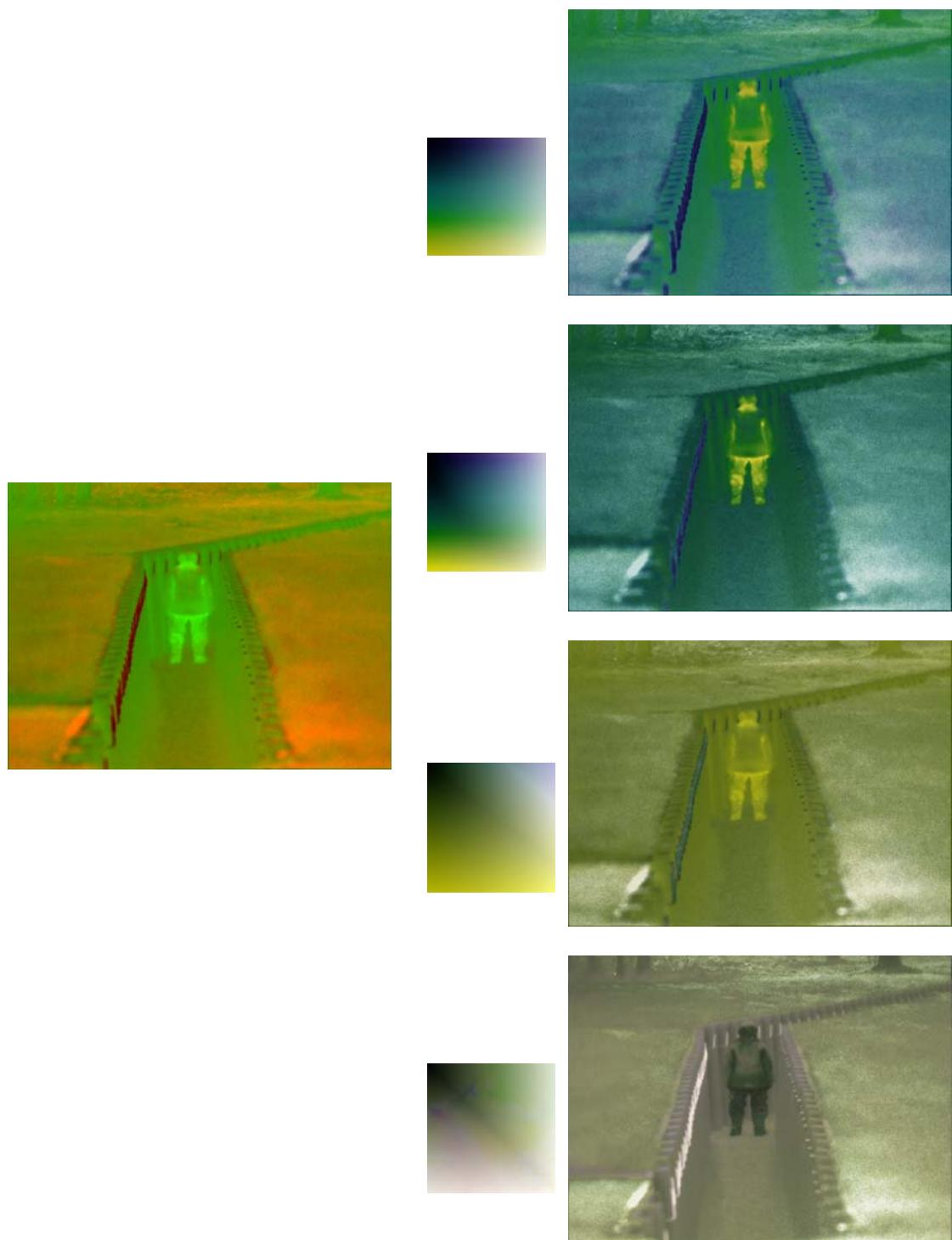
Figuur A.28 Linker kolom: false colour RG (rood-groen) representatie van de beelden uit respectievelijk figuur A.25c en d. Middelste kolom: de kleurentabellen waarmee het false colour RG beeld wordt omgezet in het corresponderende kleurenbeeld in de rechterkolom.



Figuur A.29 Linker kolom: false colour RG (rood-groen) representatie van de beelden uit respectievelijk figuur A.25e en f. Middelste kolom: de kleurentabellen waarmee het false colour RG beeld wordt omgezet in het corresponderende kleurenbeeld in de rechterkolom.



Figuur A.30 Linker kolom: false colour RG (rood-groen) representatie van de beelden uit respectievelijk figuur A.25g en h.  
Middelste kolom: de kleurentabellen waarmee het false colour RG beeld wordt omgezet in het  
corresponderende kleurenbeeld in de rechterkolom.



Figuur A.31. Nachtzichtopnamen van de scène uit figuur A.23d: vrouw in loopgraaf. Linker kolom: false colour RG (rood-groen) representatie van de beelden uit respectievelijk figuur A.25i en j. Middelste kolom: de kleurentabellen waarmee het false colour RG beeld wordt omgezet in het corresponderende kleurenbeeld in de rechterkolom.



Figuur A.32 Linker kolom: false colour RG (rood-groen) representatie van de beelden uit respectievelijk figuur A.26a en b.  
Middelste kolom: de kleurentabellen waarmee het false colour RG beeld wordt omgezet in het  
corresponderende kleurenbeeld in de rechterkolom.



Figuur A.33 Linker kolom: false colour RG (rood-groen) representatie van de beelden uit respectievelijk figuur A.26c en d.  
Middelste kolom: de kleurentabellen waarmee het false colour RG beeld wordt omgezet in het  
corresponderende kleurenbeeld in de rechterkolom.



Figuur A.34 Linker kolom: false colour RG (rood-groen) representatie van de beelden uit respectievelijk figuur A.26e en f. Middelste kolom: de kleurentabellen waarmee het false colour RG beeld wordt omgezet in het corresponderende kleurenbeeld in de rechterkolom.

### A.2.3 Vlasakkers

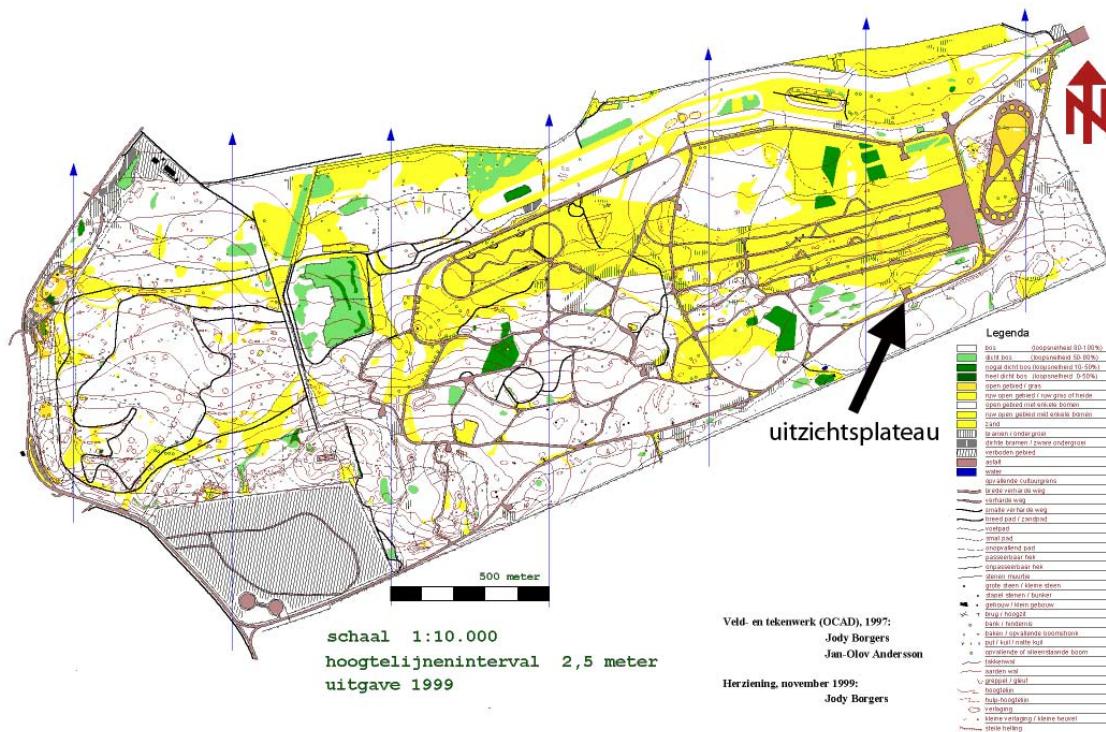
Bij dit experiment werd er ook een additionele Amber 3-5 µm thermische camera aan het basis ATHENA systeem toegevoegd.

#### *Terreinbeschrijving*

Het militaire oefenterrein de Vlasakkers bevindt zich achter de Bernhardkazerne te Amersfoort. Het terrein heeft een zeer gevarieerde structuur en begroeiing. Zo zijn er vlakke en heuvelachtige delen, en zijn er heide, bos en zandvlakten. Er lopen lange soms rechte geasfalteerde wegen over het terrein. Ook zijn er verscheidene onverharde wegen en zandpaden, die alleen met jeeps of rupsvoertuigen toegankelijk zijn.



Figuur A.35 Luchtopname van militair oefenterrein de Vlasakkers te Amersfoort.



Figuur A.36 Plattegrond van militair oefenterrein de Vlasakkers te Amersfoort. De zwarte pijl geeft de lokatie aan van het uitzichtplateau.

*Scenario's*

Er werden bij dag en bij duisternis opnamen gemaakt van personen in camouflage kleding die verschillende objecten in hun hand droegen. De personen stonden opgesteld in een veld met lage begroeiing en een bosrand op de achtergrond. De opname afstanden bedroegen 120 m en 85 m. Er stonden telkens twee personen in beeld, ofwel elk met een verschillend object, ofwel een met een object en de ander zonder object. De personen stonden altijd rechtop in dezelfde houding, en hielden hun handen voor hun lichaam alsof ze een wapen droegen (dus ook wanneer er geen object werd vastgehouden). Er werden systematisch verschillende combinaties van objecten en links/rechts verwisselingen opgenomen. De opnamen werden over een langere periode van de dag gemaakt, bij een hele reeks verschillende omgevings luminanties. Hierdoor varieert het ruisniveau van het helderheidsbeeld. Door het gebruikte scenario en de gebruikte condities is het opgenomen beeldmateriaal (1) bij uitstek bruikbaar om de invloed van ruis op het ATHENA fusie proces te bestuderen, en (2) goed bruikbaar voor detectie- en herkennings- waarnemingensexperimenten in het laboratorium.

Daarnaast werden ook opnamen gemaakt van personen die verschillende typen thermische camouflage uitrusting droegen en van personen die zich schuilhielden achter verschillende typen camouflagennetten.



(a)



(b)



(c)



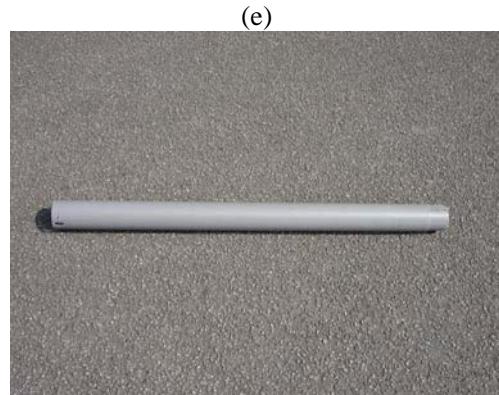
(d)



(e)



(f)



(g)

Figuur A.37 De objecten die de personen in beeld in hun hand droegen: (a) C7, (b) C8, (c) MAG , (d) bijl, (e) houten hamer, (f) puntig paaltje, (g) plastic pijp.

### *Beeldmateriaal*

Er werd onder verschillende lichtomstandigheden een grote hoeveelheid dynamisch beeldmateriaal opgenomen van de eerder beschreven statische scènes. Dit materiaal is geschikt voor de ontwikkeling en evaluatie van dynamische beeld fusie en beeldverbeteringsalgoritmen. Omdat vooral in het digitale HV beeld de ruis toeneemt met afnemende omgevingsluminantie is dit materiaal ook bijzonder geschikt voor de ontwikkeling en evaluatie van dynamische ruisonderdrukkings algoritmen.



(a)



(b)

Figuur A.38 (a) HV en (b) Lion Advance WB opnamen van een persoon in een standaard gevechtspak (linker persoon) en een persoon in een thermisch camouflagepak (rechter persoon).



(a)



(b)

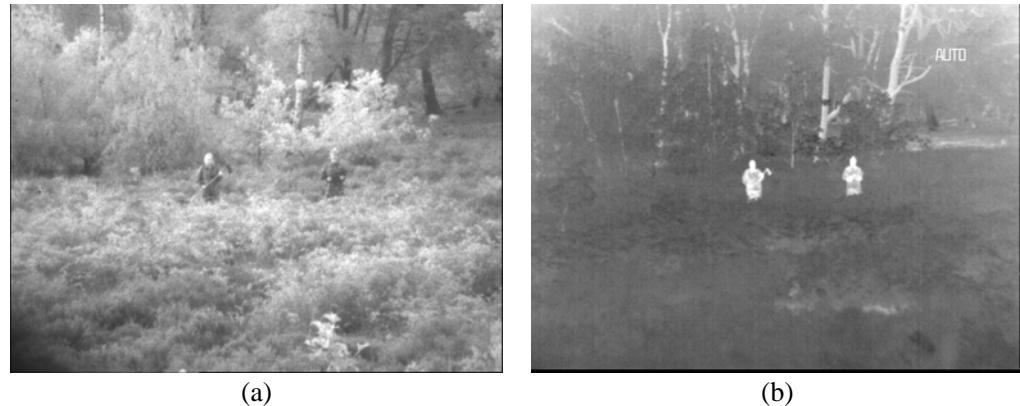


(c)



(d)

Figuur A.39 (a,c) HV en (b,d) Lion Advance WB opnamen van een persoon achter twee verschillende typen camouflagenetten.



Figuur A.40 (a) HV en (b) Lion Advance WB opnamen van twee personen die elk een verschillend object dragen.

#### A.2.4

##### Zaragoza

Van 11 tot 15 september 2006 werden er ongeveer 10 km ten noorden van Zaragoza op het militaire oefenterrein ‘San Gregorio (SG)’ in internationaal verband verschillende mobiele camouflagekits voor de Fennek getest in een hete en (aanvankelijk) droge omgeving. Helaas werd het experiment al snel na aanvang afgelast omdat hevige regenval het terrein onbegaanbaar maakte (er ontstonden grote modderstromen). Toch zijn we er in geslaagd nog enkele bruikbare opnamen te maken. Bij dit experiment werd er ook een additionele Amber 3-5  $\mu\text{m}$  thermische camera aan het basis ATHENA systeem toegevoegd.

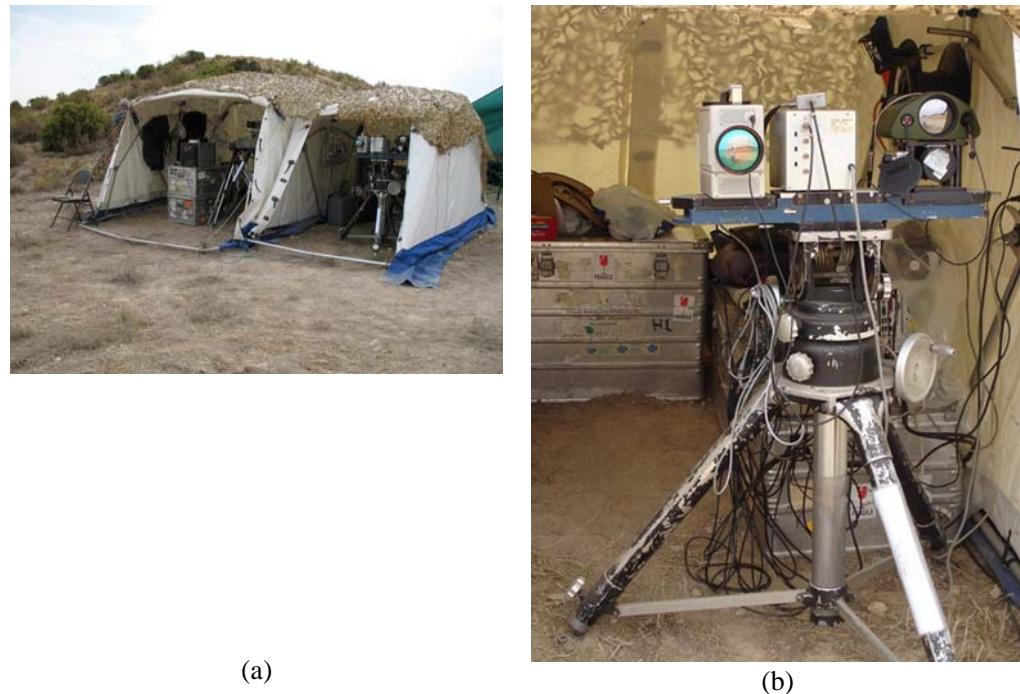
##### *Terreinbeschrijving*

Het terrein bestaat uit een woestijnachtige vlakte omringd door enkele heuvels. De begroeiing is laag en bestaat uit polletjes gras en stekelplantjes.

##### *Scenario's*

Het ATHENA systeem werd ondergebracht in een tent, van waaruit de camera's vrij zicht hadden op de testlokatie. Er werden opnames gemaakt van een Fennek in desert painting, een Fennek voorzien van een Duitse mobiel camouflage systeem (MCS), en een Fennek met een MCS van Barracuda (Zweden). De opnamen werden gemaakt van verschillende aanzichten (voor- en zij aanzichten) van de voertuigen.

Verder werden er nog enkele opnamen gemaakt van een persoon in standaard (Nederlandse) gevechtskleding tegen een heuvelachtig deel van de achtergrond.



Figuur A.41 (a) De tent waarin het ATHENA systeem (b) was ondergebracht.



Figuur A.42 Fenneks met (a) desert painting, (b) German mobiele camouflage systeem (MCS), en (c-d) het Barracuda MCS.



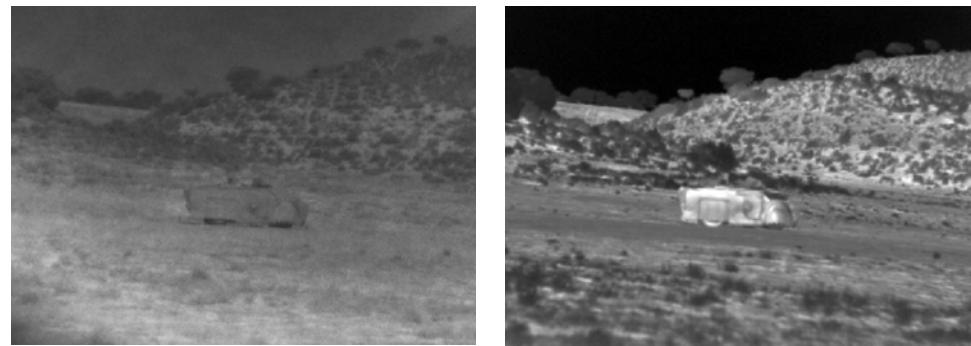
Figuur A.43 Persoon in standaard gevechtskleding tegen heuvelachtige achtergrond.

*Beeldmateriaal*

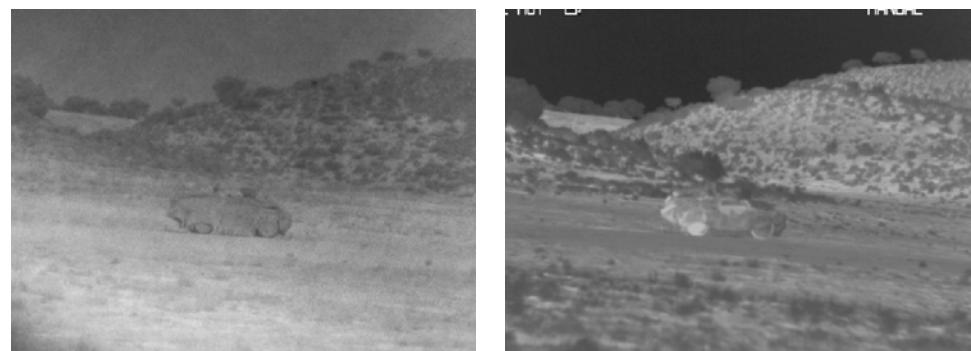
Desert  
paint



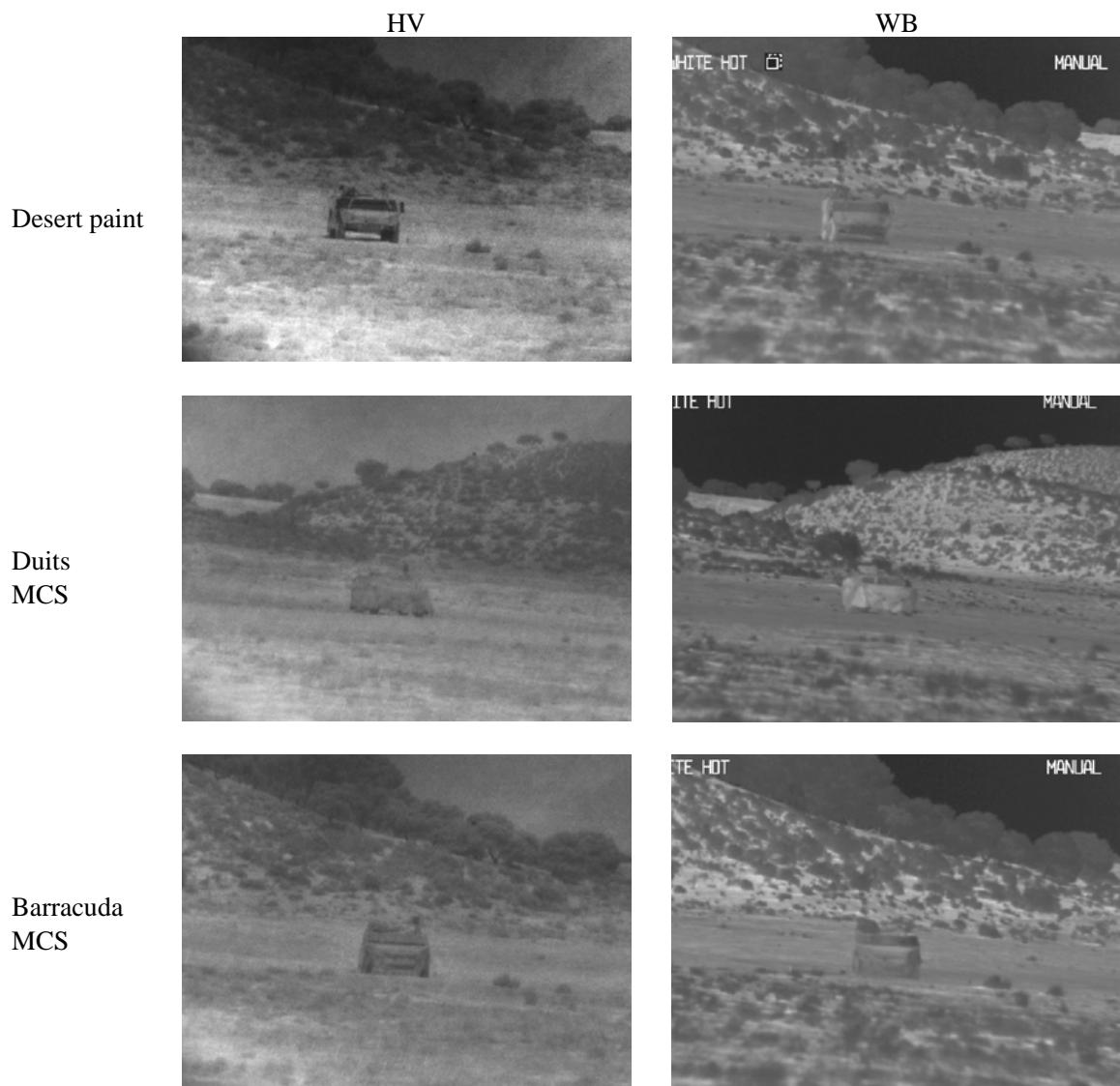
German  
camo



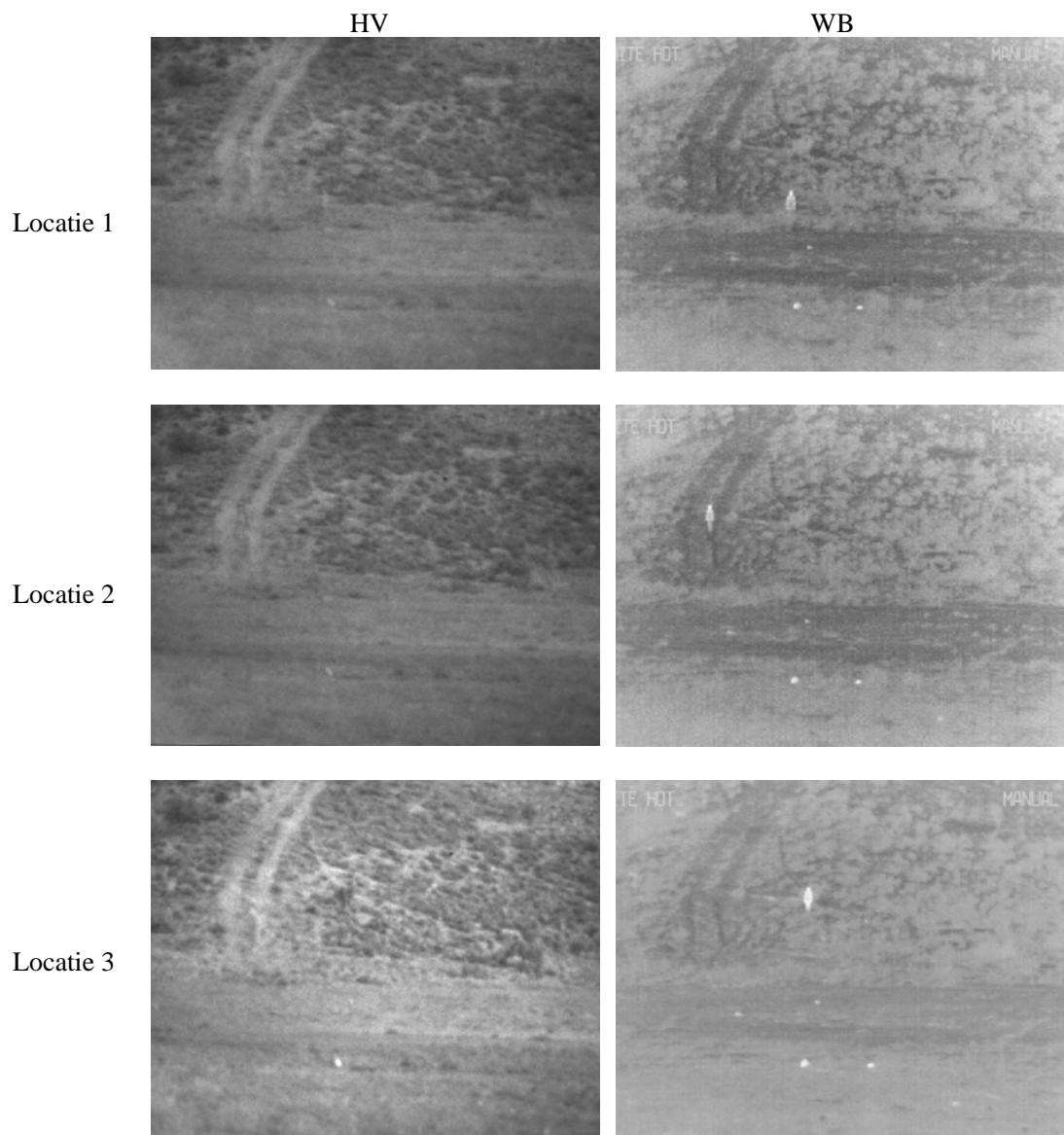
Barracuda  
camo



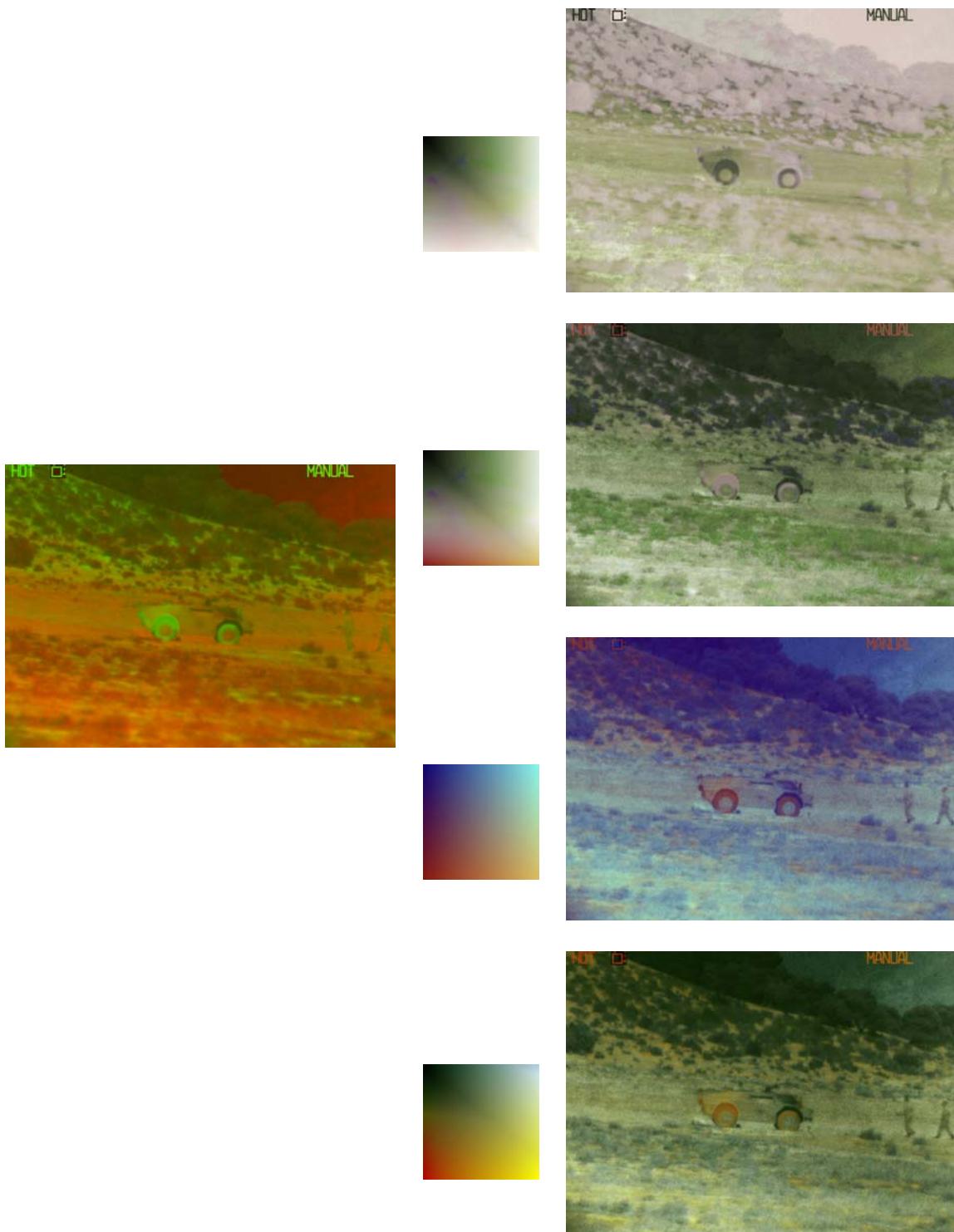
Figuur A.44 Digitale HV (linker kolom) en Lion Advance warmtebeeld (rechter kolom) zijaanzicht opnamenevan een Fennek in een dessert paint uitvoering (bovenste rij), met een Duits MCS (middelste rij), en met een Barracuda MCS (onderste rij).



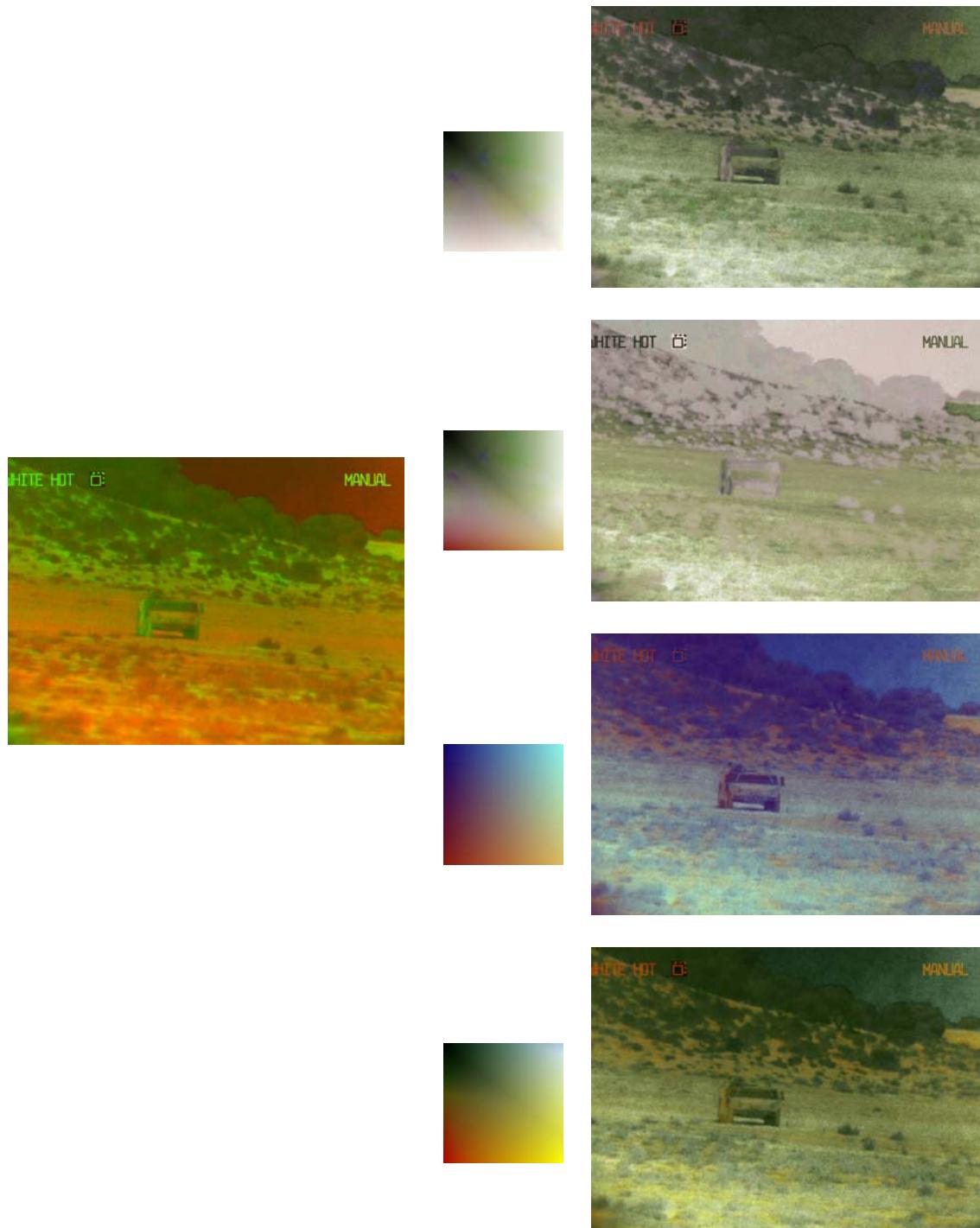
Figuur A.45 Als figuur A.44, in vooraanzicht.



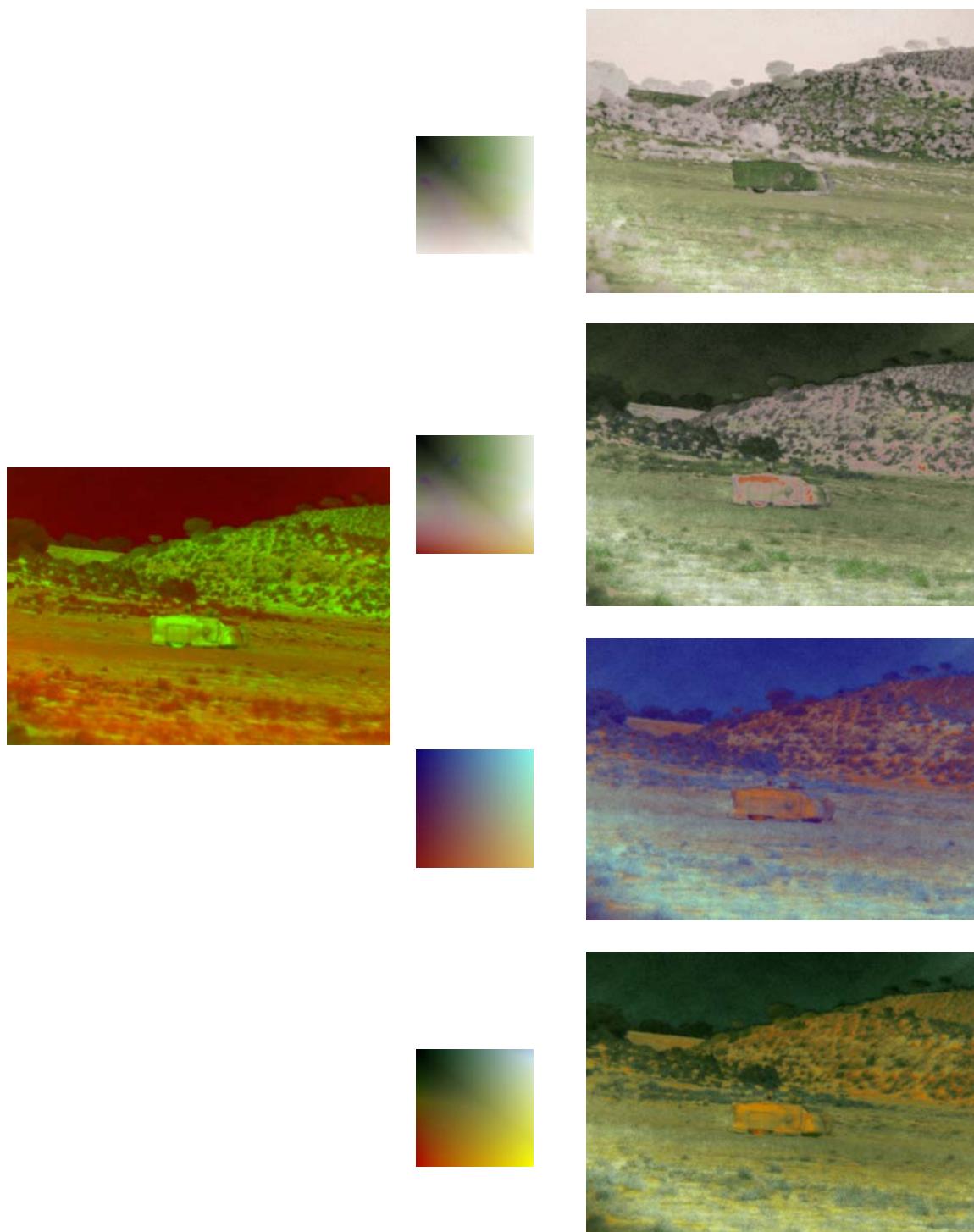
Figuur A.46 Opnamen met de digitale HV camera (linker kolom) en met de Lion Advance warmtebeeld camera (rechter kolom) van een persoon in standaard NL gevechtskleding op 3 verschillende locaties in het terrein.



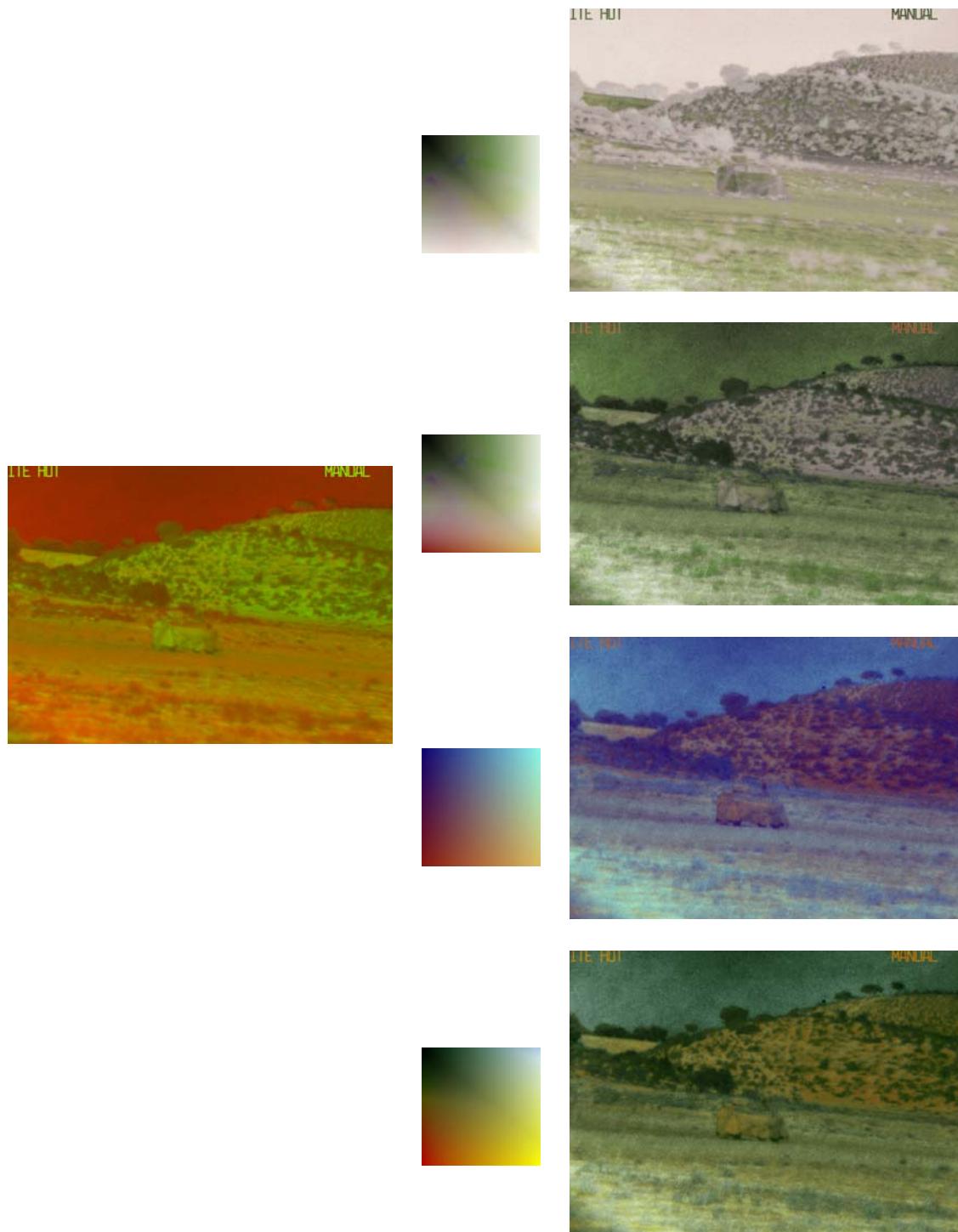
Figuur A.47 Zijaanzicht van Fennek in desert paint zonder camouflage.



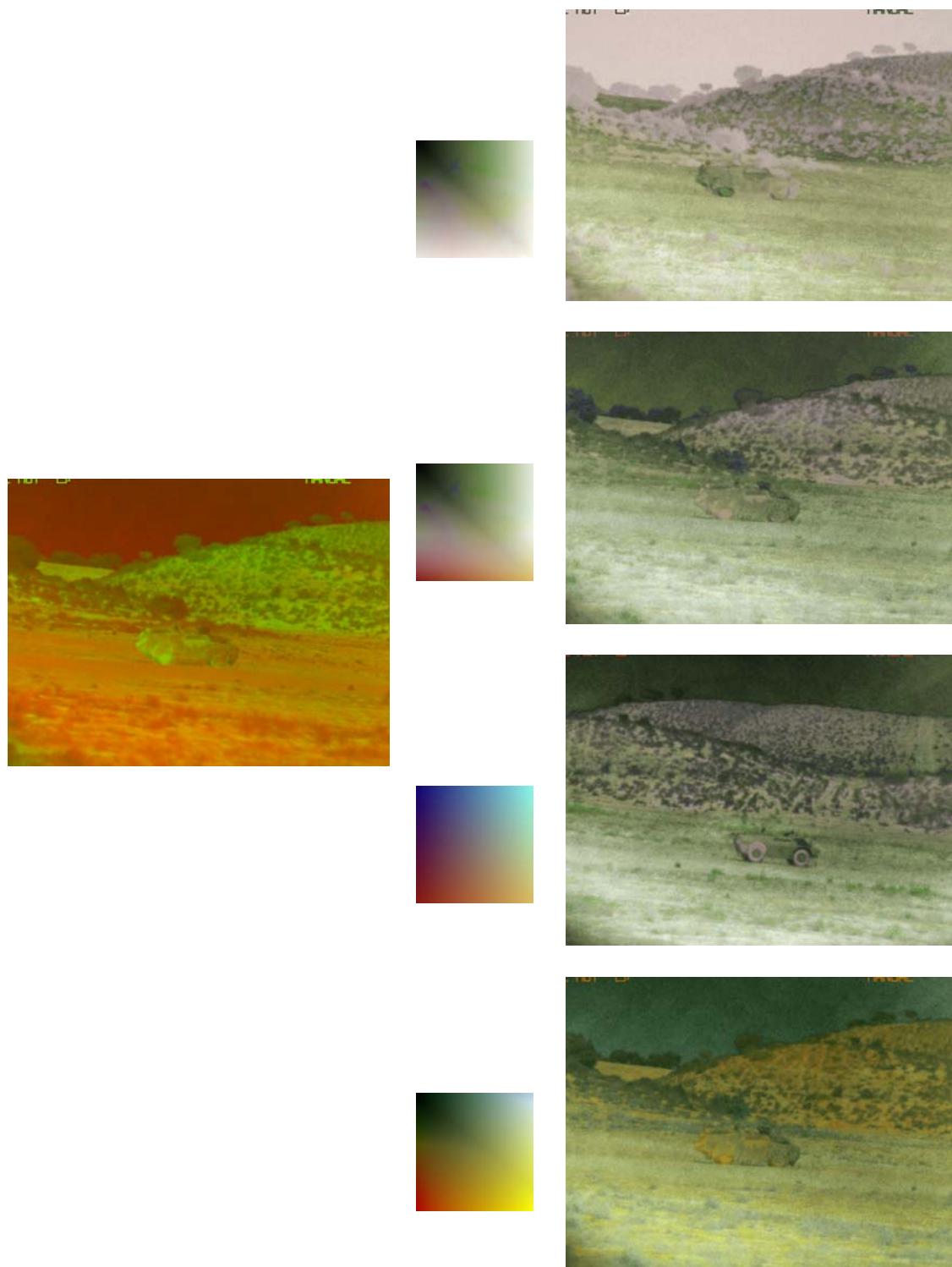
Figuur A.48 Vooraanzicht van Fennek in desert paint zonder camouflage.



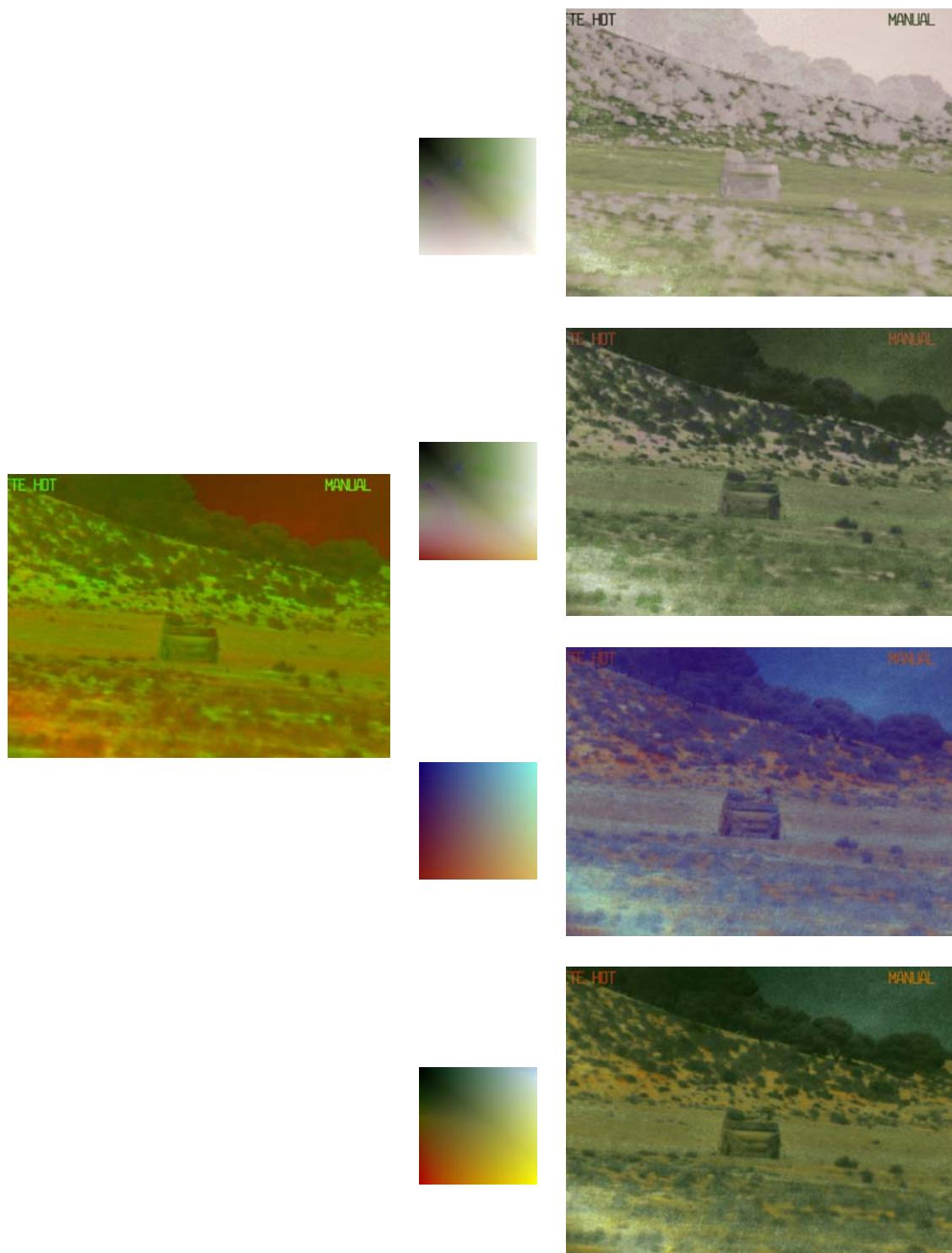
Figuur A.49 Zijaanzicht van een Fennec met Duits MCS.



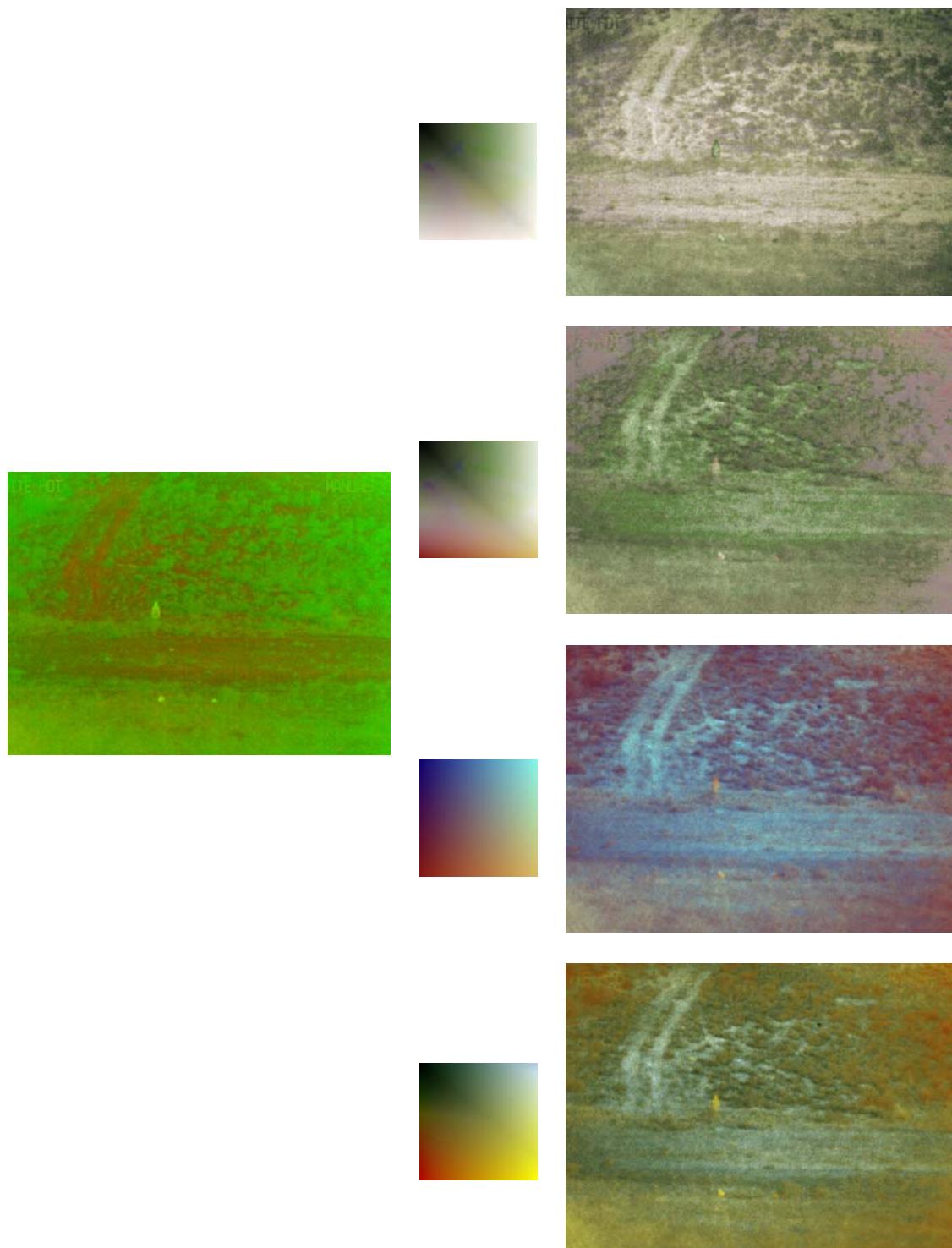
Figuur A.50 Vooraanzicht van een Fennek met Duits MCS.



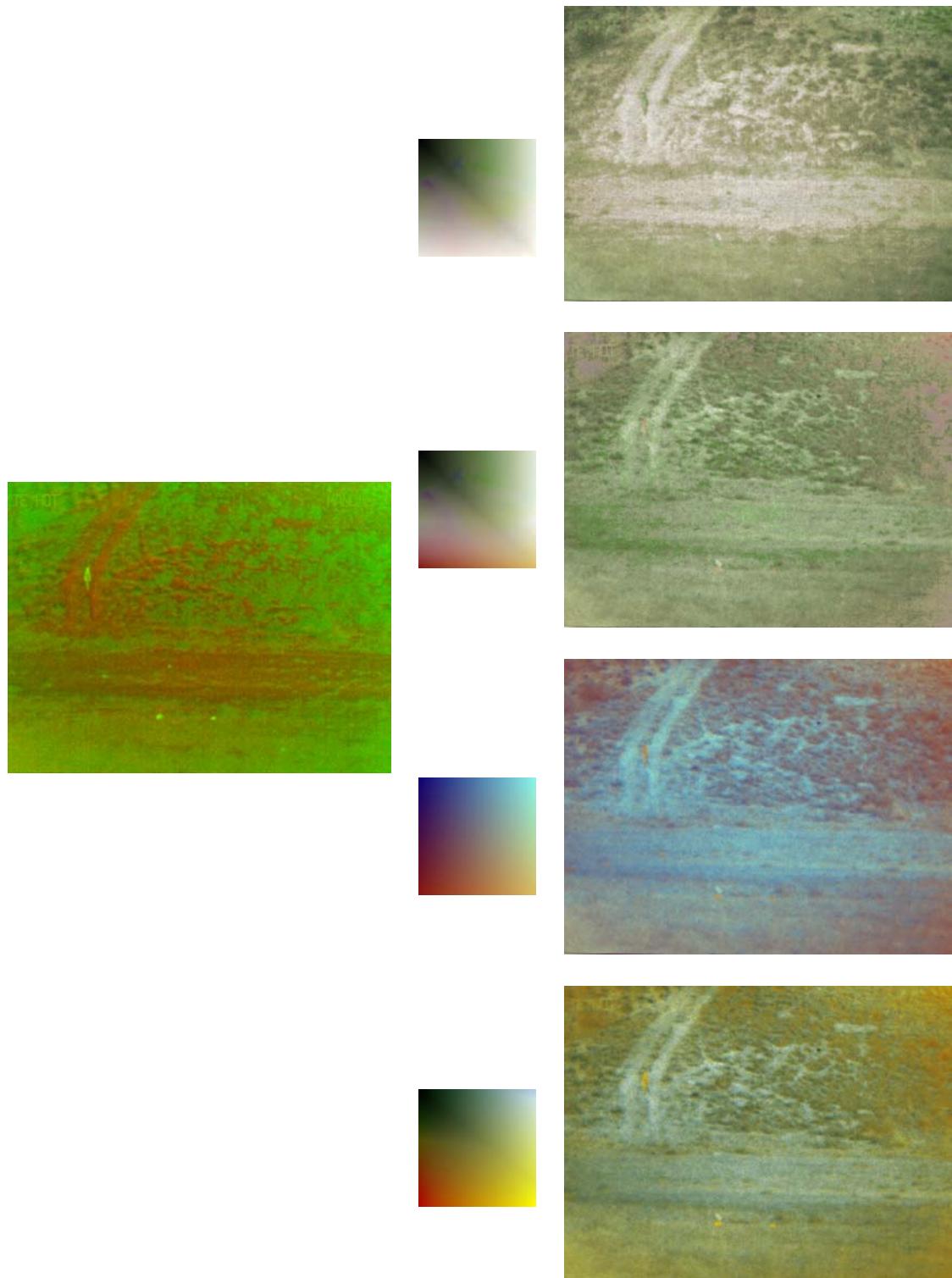
Figuur A.51 Zijaanzicht van een Fennek met Barracuda MCS.



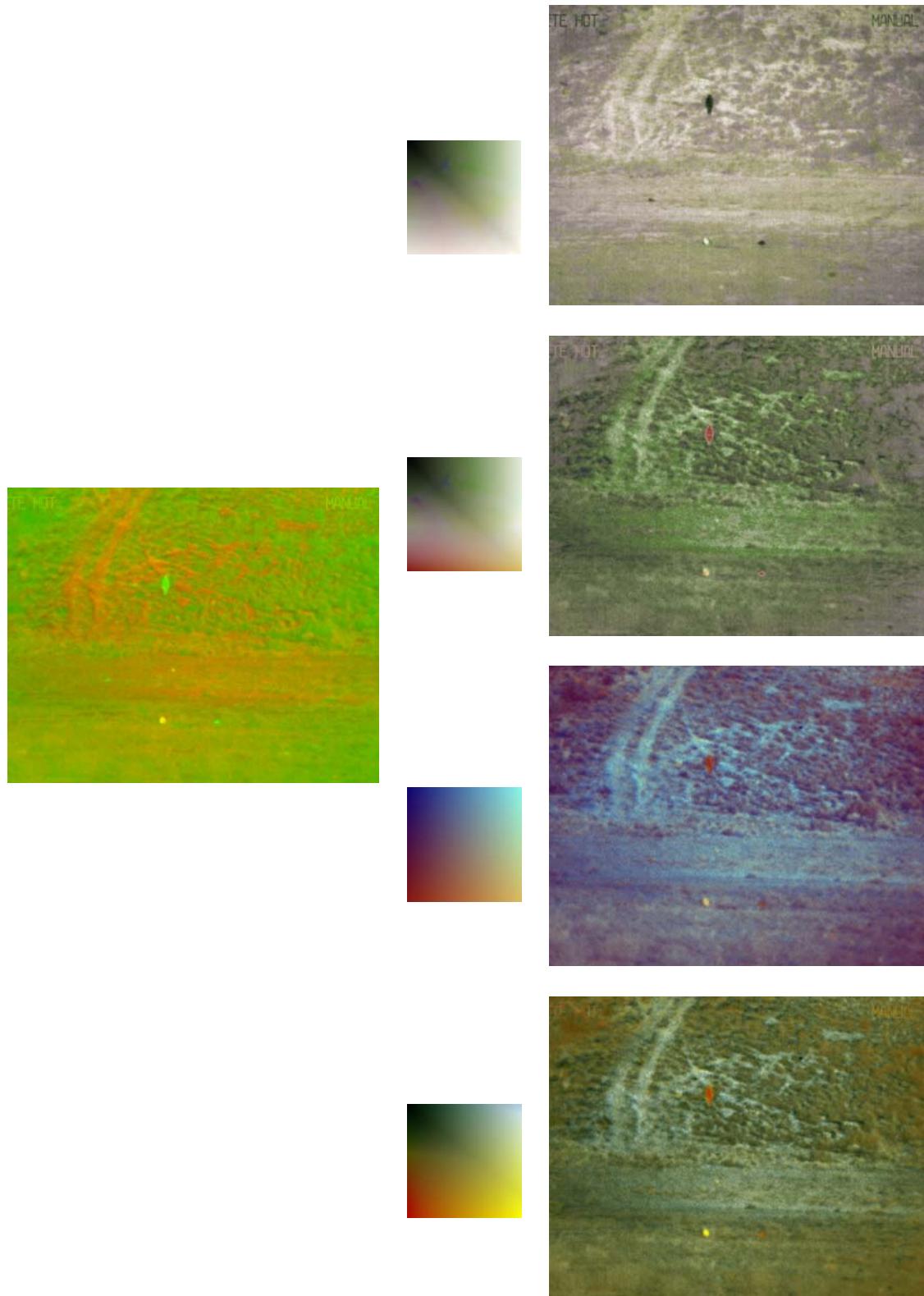
Figuur A.52 Vooraanzicht van een Fennek met Barracuda MCS.



Figuur A.53 Persoon in standaard NL gevechtskleding op 3 verschillende locaties in het terrein.



Figuur A.54 Als figuur A.53.



Figuur A.55 Als figuur A.53.

### A.3 Geschiktheid voor waarnemingsexperimenten

Het beeldmateriaal dat is opgenomen op de locatie Waalsdorpervlakte is bruikbaar voor verschillende landelijke scenario's, vanwege de variatie in het terrein (verschillende begroeiing, water) en de aanwezigheid van wegen en paadjes.

Het beeldmateriaal dat is opgenomen op de locatie Vlasakkers is bruikbaar voor het scenario landelijke doelopsporing, vanwege de dichte schaduwrijke bosranden, en de grote uitgestrektheid van het terrein.

Het beeldmateriaal dat is opgenomen op de locatie Oostdorp is bruikbaar voor alle stedelijke scenario's, omdat hier ver zicht mogelijk was, veel begroeiing aanwezig is, het een gevarieerd stadsbeeld heeft, en er rook en wapens in voorkomen.

Tabel A.1 Overzicht van de geschiktheid van het opgenomen beeldmateriaal voor waarnemingsexperimenten op basis van de verschillende ontwikkelde scenario's, op grond waarvan de meerwaarde van het Athena systeem mogelijk kan worden bepaald. De geel gekleurde vakjes geven de locaties aan waar opnamen werden gemaakt die het meest geschikt zijn voor het betreffende scenario.

Lokatie	Scenario							
	I: Doelopsporing		II: Navigatie		III: Orientatie		IV: Observatie	
	Ia Stedelijk	Ib Landelijk	IIa Stedelijk	IIb Landelijk	IIIa Stedelijk	IIIb Landelijk	IVa Stedelijk	IVb Landelijk
Waalsdorpervlakte	-	+	-	++	-	++	-	++
Vlasakkers	-	++	-	-	-	-	-	+
Oostdorp	++	-	++	-	++	-	++	-

**ONGERUBRICEERD**  
**REPORT DOCUMENTATION PAGE**  
**(MOD-NL)**

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) TD2007-0158	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO -	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO TNO-DV 2007 A329
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 013.45405	5. CONTRACT NO -	6. REPORT DATE August 2007
7. NUMBER OF PAGES 100 (incl 1 bijlage, excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 12	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE ATHENA: de combinatie van een helderheidsversterker en thermische kijker met kleurweergave		
11. AUTHOR(S) Dr A. Toet Dr M.A. Hogervorst H.A. Lensen, MSc K.W. Benoist, MSc R. de Rooy, BSc		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Defence, Security and Safety, P.O. Box 23, 3769 ZG Soesterberg , The Netherlands Kampweg 5, 3769DE , Soesterberg		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Ministry of Defence		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) In the national Technology Project ATHENA we developed a combined image intensifier and thermal imaging device for observation, target detection and navigation in conditions with low visibility. The ATHENA system provides a fused colour image. The colouring setting can be adapted to the nature of the task. For instance, natural daytime colours can be selected for navigation and surveillance purposes, whereas false colours may be used to break camouflage. This report presents the ATHENA system, the optimised colour transformations, the data that have been collected with the system during several field trials, and identifies conditions in which the system proved its added value.		
16. DESCRIPTORS -	IDENTIFIERS -	
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd	

**ONGERUBRICEERD**



## Distributielijst

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

- 1 DMO/SC-DR&D  
standaard inclusief digitale versie bijgeleverd op cd-rom
- 2/3 DMO/DR&D/Kennistransfer
- 4 Projectbegeleider Defensie  
Center for Man in Aviation  
Kol-Vliegerarts W.C.M. Tielemans
- 5/7 Bibliotheek KMA
- 8 Mindef/DMO/Directie Beleid/DR&D  
ir. S.J.J. de Bruin
- 9 Mindef/DMO/Matlogco/Bureau Soldier Modernisation Programme (SMP)  
Ikol J. Kerkhof
- 10 Photonis DEP  
A. de Groot
- 11 Thales Land & Joint Sysyems Nederland  
dr. Ronald Slegtenhorst.
- 12/13 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,  
(Archief)
- 14/15 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,  
Business Unit Human Factors,  
dr. A. Toet  
prof. dr. A.W. Bronkhorst



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

- 4 ex. DMO/SC-DR&D
- 1 ex. DMO/ressort Zeesystemen
- 1 ex. DMO/ressort Landsystemen
- 1 ex. DMO/ressort Luchtsystemen
- 2 ex. BS/DS/DOBBP/SCOB
- 1 ex. MIVD/AAR/BMT
- 1 ex. Staf CZSK
- 1 ex. Staf CLAS
- 1 ex. Staf CLSK
- 1 ex. Staf KMar
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Algemeen Directeur, ir. P.A.O.G. Korting
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie Directeur Operaties, ir. C. Eberwijn
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie Directeur Kennis, prof. dr. P. Werkhoven
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie Directeur Markt, G.D. Klein Baltink
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag, Manager Waarnemingssystemen (operaties), ir. B. Dunnebier
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag, Manager Informatie en Operaties (operaties), ir. P. Schulein
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Manager Bescherming, Munitie en Wapens (operaties), ir. P.J.M. Elands
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Manager BC Bescherming (operaties), ir. R.J.A. Kersten
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg, Manager Human Factors (operaties), drs. H.J. Vink

