

# Het einde van zware wapens?

## *Afnemende energiezekerheid gaat het krijgsbedrijf veranderen*

De krijgsmacht werkt hard aan het verbeteren van de energiezekerheid bij expeditionair optreden. Dat is nodig want door de lange aanvoerlijnen en de vijandige omgeving is de aanvoer van brandstof kostbaar en riskant. Op den duur staat die energiezekerheid ook onder druk omdat de voorraden ruwe olie afnemen. Alternatieven zijn niet zomaar voorhanden. De veranderende energiemarkt en de noodzaak om klimaatverandering tegen te gaan, zijn mondiale uitdagingen die ingrijpende consequenties hebben en verregaande maatregelen noodzaken. Halve maatregelen zetten geen zoden aan de dijk; dat zal niet anders zijn voor de krijgsmacht. Dit artikel onderzoekt welke alternatieve brandstoffen er bij expeditionair optreden beschikbaar zijn, hoe die het beste kunnen worden gebruikt en met welke wapensystemen op de ontwikkelingen kan worden ingespeeld.

*M.G.M. Hendriks Vettehen – kapitein-ter-zee van de technische dienst b.d.*

**M**oderne legers gebruiken veel energie en het gebruik van energie neemt eerder toe dan af.<sup>1</sup> Op den duur komt de beschikbaarheid van energie in het gedrang omdat de voorraden ruwe olie opraken. De afnemende beschikbaarheid van grondstoffen vormt ook een veiligheidsrisico waarbij Defensie betrokken kan raken. Bovendien moet Defensie minder energie gebruiken om te kunnen voldoen aan nationale en internationale doelstellingen die beogen klimaatverandering tegen te gaan. In veel landen wordt inmiddels beleid ontwikkeld om deze uitdagingen het hoofd te bieden.

### **Energiehuishouding op de compound**

Veel van de inspanning om de krijgsmacht voor te bereiden op de afnemende energiezekerheid, richt zich nu op de compounds; de tijdelijke kampen van waaruit de expeditionaire eenheden worden ingezet. Terecht, aangezien het gebrek aan energiezekerheid daar nu al knelt.

Er is ongetwijfeld nog veel te winnen door gerichte investeringen, energiebesparende

maatregelen en de introductie van duurzame energie. De meeste westerse landen doen dan ook nationaal en in bondgenootschappelijk verband onderzoek naar het verbeteren van hun energiehuishouding.

Het VK heeft met andere partners in 2011 het project 'Forward Operating Base Operational Concept Demonstrator' gestart. Op een kleine (tijdelijke) basis op Cyprus hebben militaire en civiele technici tal van systemen geplaatst om minder energie te gebruiken, duurzame energie te introduceren en bestaande systemen energie-efficiënter te maken.

Op het videoverslag bruist het kamp van activiteiten. De generatoren werden uitgerust met intelligente start-stopsystemen. Er werden zonnepanelen geplaatst en warmwaterreservoirs geïnstalleerd. Alle beschikbare grotere oppervlaktes werden bedekt met PV-zonnecellen. Met vereende krachten is een metershoge windmolen omhoog getrokken; een vervaarlijke constructie met kabels, stangen, telescoopbuizen en wieken die uit zeildoek lijken te bestaan.

<sup>1</sup> 'Energy Security-America's Best Defense', Deloitte Development LCC, 2009.

Overall stonden dataloggers en liepen mensen met laptops en warmtebeeldcamera's. De onderzoekers claimen dat met de nodige inspanning tot 45 procent kan worden bespaard op de brandstof voor de dieselgeneratoren.<sup>2</sup>

#### 'Business as usual'?

Dat zijn goede ontwikkelingen want elke liter diesel die wordt bespaard, is er een die niet hoeft te worden vervoerd en betaald. Al deze inspanningen wekken overigens wel een beetje de indruk dat als de techneuten hun werk hebben gedaan, het *business as usual* is; alsof we zouden kunnen doorgaan op de manier die we gewend zijn! Maar is dit wel zo? Winnen we hier de oorlog mee?

Trekt de *low-tech*, *low-energy* strijder op zijn muilezel en met zijn kalashnikov niet aan het langste eind omdat de tijd – wat energie betreft – aan zijn kant staat? Zou Defensie zich als enige sector, met een beetje inspanning en goede wil, gemakkelijk kunnen aanpassen aan de zich snel veranderende energiemarkt? Het lijkt onwaarschijnlijk. In dat geval zijn er dus andere maatregelen noodzakelijk.

### Energie als aanjager van verandering

Historici en militairen weten dat grote veranderingen in het krijgsveld veelal zijn ontstaan door de introductie van nieuwe technologieën en wapensystemen. Voorbeelden hiervan zijn de overgang van zeilschepen naar gepantserde stoomschepen, de uitvinding van het machinegeweer, het verschijnen op het slagveld van het vliegtuig en de tank, het kernwapen en meest recentelijk *Command, Control, Communications, Computers and Information (C4I)* en *cyberwarfare*.

Het besef dat energie op een indirecte manier de volgende *game changer* zal worden, wordt nog niet breed gedeeld. De Verenigde Staten vormen hierop een uitzondering. Zo heeft het Amerikaanse ministerie van Defensie sinds 2011 een *Operational Energy Strategy*. De *Assistant Secretary for Operational Energy Plans and Programmes* is de politiek verantwoordelijk autoriteit die toeziet op het realiseren van de doelstellingen.



*Er is veel westers onderzoek naar systemen die de energiehuishouding kunnen verbeteren. Zonne-energie is onder operationele omstandigheden vaak ruimschoots voorradig*

In de rede die professor Douwe Stapersma, hoogleraar op de Nederlandse Defensieacademie en aan de Technische Universiteit Delft, in 2011 uitsprak ter gelegenheid van de Dies Natalis van het Koninklijk Instituut van de Marine poneerde hij de volgende stellingen:

- energiebeschikbaarheid is op termijn de grootste bedreiging voor de huidige militaire platformen;
- als er geen deugdelijke oplossing komt voor de vervanging van fossiele brandstoffen zijn de huidige platformen gedoemd te verdwijnen en zal ook het karakter van de oorlogvoering zich wijzigen.

<sup>2</sup> 'Reducing the reliance of Expeditionary Campaign Infrastructure on fossil fuels', Matt Whittington, Paul Johnson, *Presentation for NDIS seminar*, Kopenhagen, 3 mei 2012.

Menig collega denkt dat het niet zo'n vaart zal lopen. Niet alleen omdat men niet graag afstand neemt van het vertrouwde rollende, vliegende en varende materieel, maar ook omdat men zich moeilijk kan voorstellen welke nieuwe wapensystemen daarvoor in de plaats kunnen komen. De veranderingen zullen inderdaad niet van vandaag op morgen plaatsvinden, maar het zoeken naar alternatieven en oplossingen moet wel nu beginnen.

Defensie investeert immers in wapensystemen die wel veertig jaar mee gaan. Tegen die tijd ziet de energiemarkt er heel anders uit dan nu. De introductie van wapensystemen die halverwege hun operationele leven uit dienst moeten worden genomen omdat de kosten niet meer zijn op te brengen of omdat de brandstof niet meer beschikbaar is, is een geweldige kapitaalvernietiging. Wat er voor in de plaats zal komen, is inderdaad nog gissen. Er zijn weinig richtinggevende publicaties en studies op dit gebied.

Expeditionaire eenheden worden *out of area* ingezet, ver van de thuisbasis in vaak moeilijk toegankelijke gebieden, waar een adequate en betrouwbare energie-infrastructuur ontbreekt. Omdat het niet waarschijnlijk is dat met alleen besparingen en de introductie van duurzame energie de energiezekerheid kan worden gewaarborgd, rijst de vraag hoe het anders moet.

Om die vraag te beantwoorden kijken we hierna naar de keten energie – technologie – wapensystemen. Uit operationeel oogpunt zouden de wapensystemen het beginpunt moeten zijn, maar de realiteit is dat Defensie zich aan de energiemarkt moet aanpassen en niet andersom.

## Energie

De compounds die de afgelopen jaren in Irak en Afghanistan zijn gebouwd, variëren enorm in grootte: van accommodatie voor honderd militairen tot vele duizenden. Er is veel energie nodig om die militairen te huisvesten en te laten werken. Dat kost zelfs meer energie dan voor de voertuigen die vanaf de compounds



FOTO: AVDD, D. DE VAAL

worden ingezet. Al de daarvoor benodigde brandstof wordt per truck in konvooi over de weg aangevoerd. Dat is een kostbare zaak, omdat de afstanden groot zijn en de konvoien beschermd moeten worden.

Bovendien zijn militairen die hiervoor worden ingezet natuurlijk niet beschikbaar voor offensieve operaties of voor *winning hearts and minds*. In het Amerikaanse rapport *More fight – less fuel* heeft men in 2008 berekend dat de werkelijke brandstofkosten een veelvoud bedragen van de 'kosten aan de pomp'. Wanneer de brandstof met een *airlift* naar een *Forward Operating Base* wordt getransporteerd, lopen de kosten op tot honderden dollars per gallon. Bovendien heeft het vervoer van brandstof, ondanks *Force Protection*, inmiddels honderden slachtoffers gekost.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> DOD's Energy Challenge as Strategic Opportunity, Amory B. Lovins, NDU-press, 2010.



Mazar-e-Sharif, Afghanistan. Er is veel energie nodig om alle militairen te huisvesten en te laten werken

### Duurzame energie

Op grote schaal investeren overheden, bedrijven en particulieren in duurzame energie. Ook op compounds kan ter plekke duurzame energie worden opgewekt. Dat is, eenmaal geïnstalleerd, goedkoop en ondervangt het transportrisico. Het nadeel van duurzame energie is dat de opbrengst fluctueert en dat er veel oppervlakte nodig is om een beetje capaciteit te produceren. In het instructieve boek *Energy without hot air* van David JC MacKay rekent hij voor waar de fysieke grenzen liggen van de productie van duurzame energie.<sup>4</sup>

Dat er grenzen zijn aan de mate waarin duurzame energie afnemende voorraden fossiele brandstoffen kunnen vervangen, blijkt wel uit het feit dat Nederland al worstelt met de realisatie van de doelstelling om in 2020 14 procent van de gebruikte energie uit duurzame bronnen te halen. In de *World Energy Outlook 2011* neemt het aandeel duurzame energie van 2010 tot 2035 slechts toe van 13 tot 18 procent.

In dat opzicht is de beslissing in Duitsland en Japan om nucleaire energie in de ban te doen, een uitdaging. De vervangende capaciteit kan niet zomaar door duurzame bronnen worden geleverd.

Omdat de zogeheten *Fully Burdened Costs of Fuel* (FBCF) veel hoger zijn dan de marktprijs, lonen investeringen in duurzame energie op een compound zich wel sneller dan thuis.<sup>5</sup> De vraag doet zich nu voor welke vormen van duurzame energie beschikbaar zijn.

Zonne-energie is in de inzetgebieden meestal ruimschoots aanwezig. Windenergie kan maar in beperkte mate worden benut omdat grote

Volgens Amerikaanse gegevens gebruikt de Amerikaanse krijgsmacht in oorlogstijd 33 procent van de brandstof voor het opwekken van elektriciteit, 30 procent van de brandstof voor het vliegend materieel, 17 procent voor de tactische voertuigen, 15 procent voor de gevechtsvoertuigen en 5 procent voor de niet-tactische voertuigen. Het gebruik van transportbrandstof is niet apart aangegeven omdat andere gebruikers (waaronder de luchtmacht, de marine en lokale vervoerders) hiervan een groot deel voor hun rekening nemen. Behalve de vliegtuigbrandstof gaat het bijna uitsluitend om diesel als brandstof.

De vraag doet zich nu voor welke alternatieven er zijn om diesel als brandstof te vervangen. Er zijn een aantal mogelijkheden die we kort langs lopen.

4 *Sustainable energy-without hot air*, David JC MacKay, Cambridge 2009.

5 De FBCF zijn de kosten die bestaan uit verwerving, opslag, transport, distributie en Force Protection.

turbines in inzetgebieden moeilijk te transporteren en te bouwen zijn. Kleine windturbines hebben een lage efficiency. Zogeheten *Airborne Windpower*-systemen (die windenergie opwekken met vliegtuigen) kunnen mogelijk meer energie uit de wind halen, maar de technologie daarvoor is nog in ontwikkeling. Gebruik van lokaal beschikbare biomassa kan misschien een bijdrage leveren, maar waterkracht, getijdenenergie en geothermische energie zijn niet beschikbaar.

### Alternatieve brandstoffen

Afgezien van kolen en nucleaire energie, waarvan het gebruik op compounds te veel nadelen heeft zijn er alternatieven voor diesel, namelijk:



FOTO US DEPARTMENT OF DEFENSE, C.L.H. DAVIS

President Obama houdt een toespraak op een Amerikaanse luchtmachtbasis. Het toestel F/A 18 op de achtergrond draait op biobrandstof en maakt deel uit van een programma van de Amerikaanse marine, dat alternatieve brandstoffen ontwikkelt voor de krijgsmacht

biobrandstoffen<sup>6</sup>, synthetische brandstoffen, *Liquid Natural Gas* (LNG) en waterstof. Wat zijn nu de voor- en nadelen van deze brandstoffen ten opzichte van diesel?

6 Omdat biobrandstoffen niet lokaal worden geproduceerd en over grote afstand moeten worden aangevoerd, vormen ze in deze context geen duurzame energiebron maar een alternatieve brandstof.

7 PEAK OIL Sicherheitspolitische Implikationen knapper Ressourcen, Zentrum für Transformation der Bundeswehr, Strausberg, november 2010.

### • Biobrandstoffen

Uit biomassa kunnen vloeibare brandstoffen worden gemaakt die bijna identiek zijn aan fossiele koolwaterstoffen. Dat maakt biobrandstoffen geschikt om ze te mengen met diesel, ze te transporteren als diesel en als *drop-in-fuel* te gebruiken in bestaande systemen. De mogelijkheden tot productieopscaling zijn echter beperkt omdat bij een te grote productie de voedselvoorziening in gevaar komt. Doorbraken in de ontwikkeling van de zogeheten tweede en derde generatie biobrandstoffen zijn nodig om dat te voorkomen.

Daarnaast hebben biobrandstoffen een lagere *Energy Return on Investment* (EROI) dan ruwe olie. Waar dat bij aardolie bij 11:1 ligt, is dat bij bio-ethanol bijvoorbeeld maar 4:1. Bij biobrandstoffen gaat dus een veel groter deel van de potentieel beschikbare energie op aan de *well to fuel* tank keten.<sup>7</sup>

Het is moeilijk te voorspellen in welke mate biobrandstoffen de afnemende beschikbaarheid van diesel kunnen vervangen. In de *World Energy Outlook 2010* schat het *International Energy Agency* (IEA) in het 'New Policies Scenario' het aandeel biobrandstoffen in het wegtransport in 2035 op 8 procent (alleen wanneer die biobrandstoffen uitsluitend daarvoor worden gebruikt). Van die biobrandstoffen is 75 procent ethanol voor benzinemotoren, terwijl Defensie bijna uitsluitend dieselmotoren gebruikt.

### • Synthetische brandstoffen

Synthetische brandstoffen kunnen via verschillende industriële processen worden geproduceerd uit kolen, gas en biomassa. Ze kunnen in veel gevallen 'op maat' worden gemaakt. Ze delen alle voordelen met de biobrandstoffen van drop-in-fuels.

Shell produceert inmiddels al *Gas-to-liquid* (GTL) brandstof in Qatar en in Maleisië. Hoewel synthetische brandstoffen op zich schoon zijn, is er voor de productie veel energie nodig, met extra CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg. Grootschalige vervanging van diesel en benzine door synthetische brandstoffen zal daarmee de klimaatverandering versnellen.

Om deze reden is in *US Security and Independence Act 2007* bepaald dat de federale overheid geen alternatieve brandstoffen mag verwerven die meer CO<sub>2</sub> uitstoten dan de fossiele brandstoffen die ze vervangen. Daarom richten de onderzoeken en experimenten met alternatieven zich bij het Amerikaanse ministerie van Defensie nu voornamelijk op het gebruik van biobrandstoffen.

#### • Aardgas

Aardgas is, in tegenstelling tot olie, nog ruimschoots voorradig. Door recente ontdekkingen van grote hoeveelheden schaliegas (gas in poreuze aardlagen) en nieuwe technieken om die te winnen, zijn de reserves zelfs toegenomen. Men schat in dat er bij de huidige productiehoeveelheden nog gas is voor 250 jaar. De gasprijzen zijn inmiddels lager dan die van olie, en dat verschil zal naar verwachting groter worden.

Gas moet echter via kostbare en in geopolitiek opzicht kwetsbare pijpleidingen worden aangevoerd. Een andere wijze van transport is het zogeheten *upstream* door koeling (-173 °C) vloeibaar maken van het gas en het per schip naar de markt brengen. Waar gas aanvankelijk voornamelijk werd gebruikt als brandstof voor energiecentrales en voor verwarming/koken, heeft het inmiddels de sprong naar de transportsector gemaakt. Behalve LNG-tankers maken inmiddels ook andere typen schepen, vrachtwagens, bussen en personenauto's gebruik van LNG.

Een bijkomend voordeel daarvan is dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot lager is dan bij benzine of diesel. Een nadeel is echter dat, zelfs in vloeibare vorm, de volumedichtheid lager is dan die van diesel. Als vuistregel hanteert men dat LNG 40 procent meer opslagvolume nodig heeft. Bovendien is de cryogene (op lage temperatuur gehouden) keten van transport, distributie en opslag nog maar beperkt beschikbaar.

#### • Waterstof

Waterstof is niet als 'natuurlijke bron' beschikbaar. Het moet door elektrolyse worden verkregen of door vergassing of stoom *reforming*

van koolwaterstoffen worden gemaakt. Door waterstof te produceren wordt een brandstof voor transportdoeleinden gemaakt uit energiebronnen die daar zelf niet voor geschikt zijn. Het is daarom in eerste instantie een energiedrager – zoals elektriciteit – en geen energiebron.

Waterstof is zeer lichtontvlambaar. Het heeft een hoge energiegewichtdichtheid, maar een zeer lage energievolumedichtheid. Waterstof moet, net zoals LNG, cryogeen of onder druk worden getransporteerd en opgeslagen. Een andere mogelijkheid is dat waterstof wordt gebonden aan een metaalhydride. Studies tonen aan dat het gebruik van waterstof geschikt is voor stadsvervoer en licht transport.<sup>8</sup>

Waterstof kan diesel dus vervangen, maar als het wordt geproduceerd uit fossiele brandstoffen heeft het milieu er weinig baat bij. Alleen de directe omgeving waar waterstofbussen en -vrachtwagens rijden heeft er voordeel van omdat er bij het gebruik van waterstof alleen water wordt uitstoten. Er zijn overigens ook critici die van mening zijn dat de 'waterstof-economie' weinig kans maakt omdat de productie, het transport en de opslag van waterstof te duur is.<sup>9</sup>

#### Welke brandstof kan diesel het beste vervangen?

Wat is nu het beste alternatief om bij expeditie landoptreden diesel te vervangen? De genoemde vier alternatieven worden getoetst aan de criteria beschikbaarheid, transportrisico, de FBCF-kosten en de gevolgen voor het klimaat. De beschikbaarheid wordt bepaald door de reserves op lange termijn of de hoeveelheden die kunnen worden geproduceerd. Het transportrisico wordt gemeten naar de te transporteren volumes. Hoe meer transporten er nodig zijn, hoe groter het risico.

De FBCF-kosten zijn belangrijk omdat de defensiebudgetten onder druk staan. Geld dat aan brandstof wordt uitgegeven, is immers niet

8 'Een duurzame krijgsmacht: vergelijkbaar met de civiele sector?', R. Verbeek, presentatie op DMO-seminar november 2011.

9 'Does the Hydrogen Economy make sense?', Ulf Bossel, European Fuel Cell forum, 2005.

beschikbaar voor andere investeringen en activiteiten. Klimaatverandering is een mondiale zorg. Internationale regelgeving en marktmechanismes (waaronder het *Emission Trading Scheme*) worden ingezet om de gemiddelde temperatuur niet boven de 2° Celsius te laten stijgen de komende eeuw. Defensie kan zich niet aan deze ontwikkelingen onttrekken.

- *Beschikbaarheid*

In de transitieperiode (2030-2050) waar alternatieve brandstoffen het moeten overnemen van de vloeibare fossiele brandstoffen, zijn bio-brandstoffen kwantitatief niet in staat om het verlies aan diesel op te vangen. Synthetische brandstoffen, LNG en waterstof worden gemaakt uit energiebronnen met veel grotere reserves. Zij kunnen diesel in grotere volumes vervangen dan bio-brandstoffen.

- *Transportrisico*

Omdat bio-brandstoffen en synthetische brandstoffen bijna dezelfde eigenschappen hebben als diesel, zullen de transportrisico's niet veranderen. LNG en waterstof hebben een veel lagere energievolumedichtheid dan diesel, waardoor er meer moet worden vervoerd. Waterstof is bovendien erg ontvlambaar. De transportrisico's nemen dus toe.

- *FBCF-kosten*

Bio-brandstoffen en synthetische brandstoffen zullen als drop-in-fuels de marktprijs van diesel volgen en gelijke FBCF-kosten met zich meebrengen. Het transport van LNG of waterstof vraagt om een nieuwe en complexe logistieke keten, die gedurende vele jaren naast de bestaande logistieke keten zal moeten functioneren. De FBCF-kosten zullen daardoor enorm toenemen.

- *Gevolgen voor het klimaat*

Wanneer bio-brandstoffen worden geproduceerd uit geschikte gewassen (met een hoge EROI) zal dat bijdragen aan het verminderen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Ook het gebruik van LNG draagt bij aan een verminderde uitstoot van broeikasgassen. Waterstof draagt daar alleen aan bij als het wordt geproduceerd uit niet-fossiele bronnen. Het gebruik van synthetische

brandstoffen leidt tot aanzienlijk meer uitstoot van CO<sub>2</sub>.

### **Subconclusie energie**

Biobrandstoffen leiden niet tot hogere FBCF, geven geen grotere transportrisico's en verminderen de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Van de vier alternatieven zijn biobrandstoffen daarom, hoewel beperkt beschikbaar, het meest geschikt om bij expeditionair landoptreden diesel te vervangen.

Omdat in de voorzienbare toekomst bio-brandstof de afnemende beschikbaarheid van diesel maar ten dele kan vervangen en de ter plaatse opgewekte duurzame energie dat verschil niet kan goedmaken, moet de energieopwekking efficiënter en moet het energiegebruik aanmerkelijk verminderen. In hoeverre kunnen nieuwe technologieën en nieuwe wapensystemen daaraan bijdragen?

## **Technologie**

### **Energieconversie**

De omzetting van brandstof naar nuttige energie gaat in een aantal conversies. Op de compounds bestaat de keten uit een dieselmotor die de in de brandstof aanwezige chemische energie omzet in mechanische arbeid. Met de mechanische arbeid wordt een generator aangedreven die elektrisch energie produceert. Die elektrische energie wordt vervolgens getransporteerd om elders weer mechanische arbeid te leveren, elektromagnetisch vermogen op te wekken of te verwarmen en/of te koelen.

De eerste conversie, de omzetting van de in de brandstof aanwezige chemische energie, vindt plaats in een zogeheten *prime mover*. Andere prime movers dan de dieselmotor zijn: de stoomgenerator, de benzinemotor, de gasturbine, de stirlingmotor en de brandstofcel. Op de brandstofcel na zijn de andere prime movers minder energie-efficiënt of minder geschikt.

De energie-efficiency van brandstofcellen is beter omdat de in de brandstof aanwezige chemische energie direct wordt omgezet in elektrische energie. Rendementen van 60 procent zijn

mogelijk.<sup>10</sup> De brandstofcel is relatief nieuw en ontwikkelt zich snel. Op de markt zijn inmiddels sets beschikbaar met een vermogen van honderden kW.

Vooral in de Verenigde Staten wordt de brandstofcel al vaak toegepast als elektrische noodvoorziening. Lage temperatuur brandstofcellen gebruiken waterstof als brandstof. Hoge temperatuur brandstofcellen gebruiken vloeibare of gasvormige koolwaterstoffen.

Zonne-energie kan worden gebruikt voor het verwarmen van water voor huishoudelijk gebruik of voor het opwekken van elektrische energie. Prioriteit moet het maken van warm water hebben. Dat is energie-efficiënter dan het eerst met zonnecellen opwekken van elektriciteit om er vervolgens warm water mee te maken. Warm water is ook gemakkelijker op te slaan in geïsoleerde vaten dan de opslag van elektrische energie in batterijen. Zonne-energie kan ook direct voor een absorptiekoelinstallatie worden gebruikt. De chemische binding tussen de zouten en de vloeistoffen kan worden benut om met minder elektrische energie koelcapaciteit te produceren.

Een voorstel voor de ontwikkeling van een dergelijk systeem heeft de Defensie Innovatiecompetitie 2010 gewonnen. Het thema is van belang omdat bij de testen op de Forward Operating Base is gebleken dat 47 procent van de opgewekte elektrische energie nu voor de airconditioning wordt gebruikt.

### Energieopwekking

Grootschalige centrale opwekking van energie is efficiënter dan kleinschalige decentrale opwekking. De grote energieproducenten kunnen de energiemix (kolen, gas, olie, biomassa en kernenergie) relatief snel aanpassen aan de markt. Op de wisselende vraag naar energie wordt ingespeeld door een combinatie van *base-load* en *peak shaving* centrales. De afvalwarmte wordt verkocht aan de lokale industrie of gebruikt voor stadsverwarming.

Elektrische energie kan met relatief weinig verliezen over grote afstanden worden getransporteerd

FOTO ANDD, A. SCHOOR



'Hot refueling' van een Chinook-helikopter door Nederlandse luchtmachtmilitairen op Tarin Kowt, Afghanistan

en gedistribueerd. Bij *distributed generation*, het op grote schaal opwekken door bedrijven, lagere overheden en particulieren van relatief kleine hoeveelheden duurzame energie, wordt die energie omgezet in elektriciteit voor verder transport en distributie.

Door deze ontwikkelingen is de elektrische kWh-prijs nu al aanmerkelijk lager dan een vergelijkbare vermogen dat wordt geleverd door een verbrandingsmotor of verwarmingsinstallatie. Dat maakt het elektrisch rijden relatief goedkoop en pleit voor warmtepompen voor verwarming/koeling en warmtepompboilers voor warm water. De behoefte aan elektrisch energie zal daardoor relatief toenemen ten opzichte van de behoefte aan brandstof voor transport en verwarming. Deze ontwikkeling wordt overigens 'elektrificering' genoemd.

10 Comparison Chart, Fuel Cell Technologies Programme, US Department of Energy, 2011.



Het 'eilandbedrijf' zoals dat op een op een compound wordt gevoerd, is natuurlijk niet te vergelijken met het landelijk net. Defensie kan echter wel gebruik maken van de innovaties die inspelen op de elektrificering van de samenleving. Een paar voorbeelden zijn elektrisch rijden, *smart-grid* technologie (intelligente elektrische netwerken waarbij de behoefte en de vraag aan energie optimaal kunnen worden afgestemd), middenspanningsnetten, energieopslag, warmtepompen, et cetera.

#### 'Advanced E-power'

Grote mechanische vermogens werden tot voor kort bijna uitsluitend door dieselmotoren geleverd. De directe omzetting van brandstof in arbeid was energie-efficiënter dan de tweetrapsconversie die noodzakelijk is bij het gebruik van elektromotoren. De mate waarin interne verbrandingsmotoren nog energie-efficiënter kunnen worden, lijkt echter beperkt.<sup>11</sup> Die energie-efficiency staat zelfs onder druk vanwege steeds strengere milieueisen.

De energie-efficiency van elektromotoren verbetert door recente ontwikkelingen zoals de *Advanced Induction Motor* (AIM), de *Permanent Magnet Electric motor* (PMW) en *High Temperature Superconductivity* (HTS) technieken. Niet alleen neemt de energie-efficiency toe, maar ook de energiedichtheid van de systemen verbetert. Elektromotoren verdringen daardoor vooral bij stationaire toepassingen steeds vaker dieselmotoren voor het leveren van grote mechanische vermogens.

Een andere mechanische krachtpatser, het hydraulieksysteem, staat eveneens onder druk. Vooral in de luchtvaartsector wordt stevig geïnvesteerd in onderzoek over de wijze waarop de hydraulische systemen die nu de bewegende delen bedienen (landingsgestel, roeren, flaps) kunnen worden vervangen door elektrische *actuators*. De reden hiervan is in

eerste instantie de gewichtsbesparing – en daarmee de energiebesparing – die wordt gerealiseerd door zware hydraulische systemen te vervangen door lichtere elektrische systemen.<sup>12</sup>

In de maritieme sector, waar de diesel nog onbedreigd de prime mover is, worden tegenwoordig elektromotoren gebruikt als voortstuwingmotoren voor cruise- en marineschepen. De nieuwe Holland-klasse is een goed voorbeeld van een hybride oplossing in de maritieme sector. Voor snelheden tot 10 knopen wordt gebruik gemaakt van elektromotoren die de schroefassen aandrijven. Alleen wanneer er meer voortstuwingvermogen nodig is, wordt gebruik gemaakt van de voortstuwingdiesels.

De inzet van moderne wapensystemen vraagt al veel elektrisch vermogen van de ondersteunende C4I-systemen, maar wanneer *electric rail gun* en *direct energy weapons* hun intrede doen zal het gevraagde elektrische vermogen nog meer toenemen.

#### Subconclusie technologie

Zonne-energie direct omzetten in warm water of koelcapaciteit dient de voorkeur te hebben boven het duurzaam produceren van elektrische energie.

Beter dan vast te houden aan een *single fuel policy* zou Defensie zich bij expeditionair optreden moeten richten op een *single carrier*: elektriciteit. Het is de beste manier om een verscheidenheid aan energiebronnen op een energie-efficiënte manier (bij voorkeur met een hoge temperatuur brandstofcel) om te zetten in een energiedrager die zeer breed kan worden toegepast. Op deze manier wordt optimaal gebruik gemaakt van innovaties die voortkomen uit elektrificering en advanced E-power.

Nieuwe technieken verminderen de hoeveelheid brandstof die nodig is om een compound van elektrische energie te voorzien. De vraag is nu of de voertuigen die vanaf de compound opereren ook met minder 'peut' toe kunnen?

11 In het project Hercules bundelen de maritieme sector, dieselfabrikanten en toeleveranciers hun *Research & Development*-activiteiten. Men streeft naar een vermindering van de *Specific Fuel Consumption* (SFOC) met 3 procent in 2015.

12 *In focus: all-electric systems promise fuel-burn savings*, juli 2012, [www.flightglobal.com](http://www.flightglobal.com).

## Wapensystemen

Daar waar door besparingen, nieuwe technieken en duurzame energie de hoeveelheid generatorbrandstof kan verminderen, zal de hoeveelheid brandstof voor voertuigen eerder toenemen. Door effectievere *rocket propelled grenades* (RPG's) en *improvised explosive devices* (IED's) zullen toekomstige gepantserde voertuigen, ondanks het gebruik van meer kunststofmaterialen en een (re)actief pantser, waarschijnlijk zwaarder worden.<sup>13</sup>

Als vuistregel geldt dat bij een gewichtstoename van 10 procent, het brandstofverbruik met 7 procent toeneemt. Daar komt bij dat voor het transport van deze zwaardere wapensystemen naar de inzetgebieden ook extra scheeps- en vliegtuigbrandstof nodig is.

In een Amerikaanse studie is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om het energiegebruik van gepantserde voertuigen te verminderen. Het onderzoek neemt verschillende technologieën in acht (alternatieve brandstoffen, andere prime movers en aandrijflijnen, terugwinning van energie, et cetera) en de tijd die nog nodig is voor die technologieën rijp zijn voor productie.<sup>14</sup>

Bij 'alternatieve brandstoffen' wordt alleen het verruimen van de huidige specificaties van de standaard brandstof JP 8 overwogen. Technieken om het gewicht van de voertuigen te verminderen, ontbreken merkwaardigerwijs in het overzicht. Het onderzoek spreekt zich bovendien niet uit over de mate waarin energie kan worden bespaard. Daardoor ontstaat de indruk dat deze nieuwe technologieën de toename hooguit afremmen, maar niet structureel verminderen.

Dat in het bovenstaande rapport wordt vastgehouden aan het gebruik van vloeibare brandstoffen is overigens niet onbegrijpelijk. Bij onderzoek naar alternatieve brandstoffen voor zwaar transport over lange afstand, in zekere mate vergelijkbaar met gepantserde voertuigen, zijn ook alleen vloeibare brandstoffen en LNG als haalbaar genoemd.<sup>15</sup> Het gebruik van

LNG is, zoals eerder aangegeven, ongeschikt als operationele brandstof bij expeditionair landoptreden.

Dat het moeilijk is om het energieverbruik van gepantserde voertuigen terug te dringen, blijkt ook impliciet uit het *Operational Energy Strategy Implementation Plan* van het Amerikaanse ministerie van Defensie. Waar de US Navy zich tot doel heeft gesteld om de hoeveelheid operationele energie te verminderen en de US Airforce energie-efficiënter met vliegtuigbrandstof wil omgaan, beperkt de US Army zich vooralsnog tot het energieneutraal maken van een aantal kampen.

### Mobiliteit zonder zware bepantsering?

De coalitietroepen in Irak en Afghanistan hebben in de beginfase veel levens verloren omdat de beschikbare gepantserde voertuigen onvoldoende bescherming boden. *Add-on armour*

FOTO AVDD, R. SCHOONDERWOERT



*De Hr.Ms. Holland vaart op de Theems. Schepen waren in de 19-de en 20-ste eeuw zwaar gepantserd, maar marines zijn ervan afgestapt omdat dit de inzet van schepen te veel hinderde*

werd toegepast en een deel van de voertuigen werd vervangen door nieuwe typen, in het algemeen zwaardere, die meer bescherming boden. Extra bepantsering biedt extra bescherming,

13 *Energy innovation at the Department of Defense*, Daniel Sarewitz en Samuel Thornstrom, maart 2012.

14 *Power and Energy Strategy White Paper*, Army Capabilities Centre, 2010.

15 *Future Transport Fuels*, European Expert Group on Future Transport Fuels, januari 2011. *Duurzame krijgsmacht: vergelijkbaar met duurzame civiele sector*, R. Verbeek, Presentatie TNO, Rijswijk, 30 november 2011.

maar in een asymmetrische oorlog is een *Armoured Personnel Carrier* een *high value target*.

Het is extra kwetsbaar omdat de tegenstander onzichtbaar is en beschikt over relatief goedkope en low-tech wapens die, op korte afstand ingezet, dodelijk kunnen zijn. Uiteindelijk zullen de tegenstanders over nog effectievere wapens beschikken, die opnieuw zwaardere bepantsering noodzaken. Dit is een wapenwedloop die uiteindelijk door de low-tech, low-energy tegenstander wordt gewonnen, omdat westerse troepen op den duur de brandstofkosten niet meer kunnen opbrengen. Landstrijdkrachten moeten dan ook innovaties nastreven die meer perspectief bieden.

## De hoeveelheid brandstof voor voertuigen zal eerder toe- dan afnemen

Bij transport in een gepantserd voertuig zijn de vervoerde militairen passief. Op geen enkele manier kunnen ze het gebied dat ze doorkruisen, beïnvloeden en controleren. Dat terwijl juist bij *peacekeeping* operaties de zichtbare aanwezigheid van militairen bijdraagt aan veiligheid en rust.

Vliegtuigen hebben nooit bepantsering gehad, anders dan enige lichte bescherming voor de piloot en de brandstoftank. Schepen waren in de 19-de en 20-ste eeuw zwaar gepantserd, maar marines zijn er van afgestapt omdat dit de inzet van de schepen, 'zeemanschappelijk' en operationeel, te veel hinderde. De vraag is nu of landstrijdkrachten ook andere manieren van inzet kunnen ontwikkelen waardoor ze voor hun veiligheid minder afhankelijk worden van bepantsering.

De opwekking van elektrische energie op een compound kan efficiënter plaatsvinden dan nu

het geval is. Daarnaast lijkt elektrisch vervoer de toekomst te hebben. Elektrisch aangedreven landsystemen zouden een uitkomst zijn. Echter, zelfs de lichtste gepantserde voertuigen zijn veel te zwaar voor elektrische aandrijving. Zijn er wellicht toch andere mogelijkheden?

### Elektrische mobiliteit

Ondanks alle inspanningen om de elektrische auto van de grond te krijgen, gaat het niet snel. De nadelen van elektrische rijden zijn blijkbaar niet gemakkelijk te overwinnen. De introductie van elektrische tweewielers, de *e-bike*, is echter vooral in het Verre Oosten aan een indrukwekkende opmars bezig.<sup>16</sup>

Ook in het zwaardere segment zijn er nu motoren op de consumentenmarkt beschikbaar. De Amerikaanse firma Brammo bouwt inmiddels motoren, zoals de Zero S, met een krachtbron van 22 kW en een gewicht van 135 kilo. De motor heeft een maximale snelheid van 142 kilometer per uur en kan tot 183 kilometer afleggen.<sup>17</sup> Deze motoren bedienen met name het sportieve segment.

Wanneer motor en batterijpakket specifiek voor militaire toepassingen worden geconfigureerd, kunnen de motoren nog effectiever worden. Als het gewicht van het transportmiddel als maat voor het energieverbruik wordt gehanteerd, dan verbruiken acht militairen met een e-motorbike dertien keer minder energie dan bij vervoer in een Bushmaster.<sup>18</sup> Toegegeven, het is nattevingerwerk. En de daadwerkelijke besparingen zullen minder zijn. Maar dit toont wel aan dat er op deze manier veel operationele energie kan worden bespaard.

#### • De 'e-motorbike'

Op een e-motorbike mist de militair de bescherming die een pantservoertuig biedt. Hij verplaatst zich echter geruisloos en zonder hete uitlaat. Hij is snel en wendbaar. Op zijn motor kan hij uit talloze routes kiezen, wat hem minder kwetsbaar maakt. Dankzij moderne communicatie- en navigatiemiddelen kan hij zijn eigen weg vinden. En door zijn zichtbare aanwezigheid kan hij ook onderweg bijdragen aan veiligheid en rust.

<sup>16</sup> Pike Pulse Report: Electric Bicycles Pike Research; 2nd Q 2012, [www.pikeresearch.com](http://www.pikeresearch.com).

<sup>17</sup> 'Kraft aus der Stille', Christian Wüst, *Der Spiegel* 2012 (18).

<sup>18</sup> De Bushmaster is onder meer bij de Koninklijke Landmacht in gebruik. Het is een *Light Armoured Vehicle*, dat gevechtsklaar 15 ton weegt en zeven tot acht militairen kan vervoeren, naast de twee bemanningsleden.

Het batterijpakket van de e-motorbike kan worden gebruikt om de batterijen van zijn persoonlijke uitrusting op te laden. Daarmee wordt de logistieke last weggenomen om steeds in nieuwe batterijen te voorzien. Onderweg kan hij bij pauzes zijn e-motorbike batterijpakket op- en bijladen door het uitrollen van de in de bagageruimte meegenomen *thin-film* zonnecellen.

In het kamp waar hij de batterijen oplaadt, ontstaat daarmee ook de mogelijkheid om een tijdelijk overschot aan elektrische energie op te slaan of, in geval van nood, energie uit de batterijen te onttrekken.

• *Persoonlijke uitrusting van de militair*

In veel landen, waaronder Nederland, werken men aan de modernisering van de persoonlijke uitrusting van de militair. Om zijn inzetbaarheid en overlevingskansen te vergroten, wordt de standaarduitrusting aangevuld met onder meer navigatie- en communicatie-, en nachtzicht-apparatuur, de *Personal Digital Agenda* (PDA) en de bijhorende batterijen.

Hoewel er veel nadruk wordt gelegd op het gebruik van lichte materialen neemt het gewicht van de bepakking steeds verder toe. Een soldaat met een gemiddeld gewicht van 80 kg heeft volgens een Deens overzicht een gevechtssuitrusting van 24 kg en een marsuitrusting van 36 kg.<sup>19</sup> Dat is bij elkaar eigenlijk te veel. Wanneer een e-motorbike tot de standaarduitrusting gaat behoren, kan de bepakking gemakkelijker ‘op de man’ worden vervoerd.

Deze nieuwe vorm van lichte cavalerie is niet alleen geschikt voor het transport van militairen. Ook bij offensieve operaties kunnen e-bikes effectief opereren wanneer ze worden aangevuld met elektrische *trikes and quads* (driewielers en kleine eenpersoonsvierwielers).

E-bikes zijn ideale elektrische voertuigen voor het vervoer van lichte verkenningsmiddelen (bijvoorbeeld mini-UAV's om routes te verkennen) en wapens. Deze vorm van lichte e-mobility lijkt ook een logisch springplank voor de inzet van militaire robots; hierbij gaat het in

het algemeen om kleine, lichte systemen die op batterijen werken. Dergelijke ontwikkelingen zullen het krijsbedrijf inderdaad aanzienlijk veranderen.

**Zware gevechtseenheden**

Voor zware gevechtseenheden zal de overgang naar e-mobility moeilijk worden.<sup>20</sup> Als het onmogelijk blijkt, zullen deze wapens steeds minder worden ingezet. Een Amerikaanse studie stelt dat de 70 ton Abrams-tank te zwaar en te omslachtig is voor inzet in de meeste delen van Irak en Afghanistan.<sup>21</sup>

De taken van zware gevechtseenheden zullen daarom steeds vaker worden overgenomen door wapensystemen die meer energiezeke-

FOTO: AVDDO, R. FRIGGE



*Bushmaster in Tarin Kowt, Afghanistan. Zware gevechtsvoertuigen zullen alleen nog worden gebruikt bij taken waarbij bescherming door bepantsering absoluut noodzakelijk blijft*

heid bieden. Hierbij gaat het om verkenningen en *close-air-support* door bij voorkeur onbemande vliegtuigen of door lange-afstandsgeschut of kruisvluchtwapens die vanaf schepen worden gelanceerd.

19 *Combat Units and Infantry soldier*, Henrik R. Sommer, NDIS 2012 presentatie, Kopenhagen 2012.

20 'Gevechtswagens zijn te zwaar', Thijs van Velzen, *De Ingenieur*, 17 augustus 2012.

21 *DOD's energy Dilemma: Fuel consumption vs Platform Performance*, Energy Innovation at the Department of Defense, Daniel Sarewitz en Samuel Therstrom, 2012.

Zware voertuigen zullen vooral worden gebruikt voor taken waarbij ‘massa’ nodig is zoals voor constructie, berging en doorbraak, of als geschutsplatform. Voertuigen waarbij massa belangrijker is dan mobiliteit en bescherming, verschillen van de systemen die daar nu voor worden gebruikt. Waarschijnlijk kunnen ze met minder energie toe. Zware gevechtsvoertuigen zullen alleen nog worden gebruikt wanneer bescherming door bepantsering absoluut noodzakelijk blijft, zoals voor tactische commandovoering, gewondentransport, transport van non-combattanten, et cetera.

#### **Subconclusie wapensystemen**

Om minder operationele energie te verbruiken, moeten gepantserde voertuigen minder zwaar worden. Als dat niet mogelijk is met bestaande technieken, zullen ze aan belang verliezen bij expeditionair optreden.

Voor transport van militairen komt e-mobility binnen bereik wanneer gebruik wordt gemaakt van e-motorbikes.

### **Conclusie**

Bij expeditionair optreden zijn biobrandstoffen het meest geschikt om diesel te vervangen. Kwantitatief zijn biobrandstoffen echter niet toereikend. Duurzame energie, hoe belangrijk ook, zal dat gat niet kunnen dichten.

Landstrijdkrachten moeten nieuwe technologieën omarmen en nieuwe wapensystemen introduceren om hun energiezeekerheid te versterken. Nieuwe technologieën dienen zich te richten op elektriciteit als single carrier en elektrificering als leidende technologie trend.

E-mobility moet ook binnen bereik van Defensie komen. Zware gevechtseenheden zullen bij het expeditionair optreden aan belang verliezen.

### **Aanbevelingen**

Zullen toekomstige expeditionaire eenheden vanaf compounds opereren waar met biobrandstoffen en brandstofcellen elektrische energie

wordt opgewekt? En zal de e-motorbike tot de persoonlijke uitrusting van de militair gaan behoren?

Het zou nogal pretentiefus zijn om een blauwdruk te suggereren voor de toekomst. Aan de andere kant kunnen een grote verscheidenheid aan scenario’s en ontwikkelingen in de toekomst nog veel ingrijpendere veranderingen noodzakelijk maken. Elke oplossing moet bovendien worden gezien in samenhang met de andere taken van de krijgsmacht en de andere wapensystemen van land-, lucht- en zeestrijdkrachten.

Toch zijn er een aantal aanbevelingen te geven.

- Maak bij het zoeken naar oplossingen om de energiezeekerheid te versterken gebruik van de keten energie-technologie-wapensystemen.
- Probeer op compounds zoveel mogelijk duurzame energie op te wekken, maar accepteer tevens dat die bijdrage beperkt is.
- Gebruik technieken waarbij zonne-energie direct wordt omgezet in energie om te verwarmen en te koelen.
- Voor expeditionair optreden in out of area-gebieden zijn biobrandstoffen het meest geschikt om stapsgewijs diesel te vervangen.
- Speel in op nieuwe technologieën en omarm ‘elektrificering’ als leidende trend.
- Om het gebruik van operationele energie substantieel te verminderen, moeten gepantserde voertuigen veel lichter worden. De introductie van e-motorbikes en andere vormen van elektrische mobiliteit moet verder worden bestudeerd.

De transitie van een krijgsmacht die ‘loopt’ op fossiele brandstoffen naar een krijgsmacht die veel minder energie verbruikt en die de energie voor een deel haalt uit duurzame en alternatieve bronnen, is een enorme uitdaging voor technici, wetenschappers, planners en beleidsmakers. ■