

M-STaR GENERATOR

BIJDRAGE: **E.J. (Ebert) Lans**

OM VERSCHILLENDE ECONOMISCHE EN ECOLOGISCHE REDENEN MOET HET VERBRUIK VAN FOSSIELE BRANDSTOFFEN BINNEN DE EU WORDEN TERUGGEDRONGEN. OOK OP HET GEBIED VAN MILITAIR OPTREDEN IS HET VERMINDEREN VAN DE ENERGIEAFHANKELIJKHEID IN *OUT-OF AREA* OPERATIES ÉÉN VAN DE PRIORITEITEN. VAN DE MISSIE IN AFGHANISTAN IS BEKEND DAT VOOR DE HELE NAVO IN HET TOTAAL 2 MILJARD LITER BRANDSTOF PER JAAR BENODIGD WAS. DIT KOMT OVEREEN MET 7 MILJOEN LITER BRANDSTOF PER DAG OFTEWEL 2000 BRANDSTOFWAGENS. DE NAVO HEEFT DAN OOK NIET VOOR NIETS EEN AANTAL JAREN GELEDEN IN HET BELANG VAN HET VERBETEREN VAN DE ENERGIE-EFFICIËNTIE VAN MILITAIRE EENHEDEN, OOK WEL AANGEDUID ALS *SMART ENERGY*, BENADRUKT. HOEWEL DE INITIATIEVEN ZICH VOORAL RICHTEN OP STATISCHE (ZOALS COMPOUNDS) EN MARITIEME ASPECTEN WORDT IN DIT ARTIKEL INGEGAAN OP DE ONTWIKKELING VOOR GRONDGEBONDEN WAPENSISTEMEN ALS MEDE VOOR DE SPECIAL FORCES.

Toegang tot energie is een belangrijke voorwaarde voor de inzet van de krijgsmacht. Hoewel het terugdringen van de energieafhankelijkheid een forse multiplier is, neemt de vraag naar energie tijdens militaire operaties en oefeningen alleen maar toe. Geavanceerde communicatie- en informatietechnologie en nieuwe sensoren vergroten de energiebehoefte van wapensystemen en individuele militairen.

Een groeiende energie afhankelijkheid heeft een negatieve invloed op de effectiviteit van militaire operaties. Het beperkt het voortzettingsvermogen (hoe lang we

missies kunnen volhouden) en gaat gepaard met grote logistieke inspanningen en uitgaven om de energiedrager (nu nog overwegend fossiele brandstoffen) op de plaats van bestemming te krijgen. Bovendien zijn de aanvoerlijnen kwetsbaar met alle veiligheidsrisico's van dien.

In de Defensienota 2018 is het versterken van het voortzettingsvermogen een belangrijke doelstelling. Het terugdringen van de energieafhankelijkheid, waardoor de logistieke footprint tijdens missies afneemt, draagt hier aan bij. Het Defensiebeleid ten aanzien van de operationele energie is

gebaseerd op de Operationele Energie Strategie (OES) uit 2016 en kent de volgende missie: Defensie richt zich op het terugdringen van de energieafhankelijkheid in operaties en de voorbereiding daarop en vergroot daarmee de effectiviteit, efficiëntie en weerbaarheid van de krijgsmacht. Gelijktijdig wordt hiermee de belasting op het milieu verminderd en geeft Defensie invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid. Defensie streeft ernaar in 2050 grotendeels onafhankelijk van fossiele brandstoffen te kunnen optreden en voor langere duur operaties te kunnen uitvoeren zonder aanvoer van energie, en hanteert

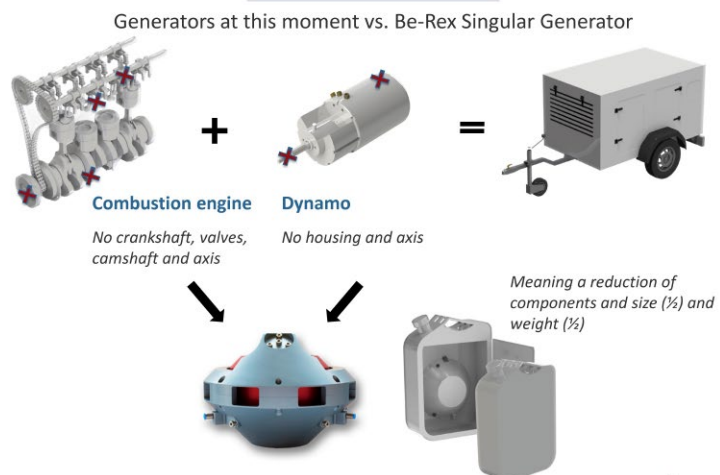
daarbij de volgende streefdoelen:

- 1) In 2030 is de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen met tenminste 20% gereduceerd ten opzichte van 2010. In 2050 is de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen met tenminste 70% gereduceerd ten opzichte van 2010.
- 2) In 2030 wordt 50% van de benodigde energie op kampementen duurzaam opgewekt. In 2050 zijn kampementen volledig zelfvoorzienend op energiegebied.

De geplande *midlife update* voor de verschillende wapensystemen, de OES, het milieu en de veiligheid en daarmee samenhangend de verminderde afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Het is een veelheid aan factoren die leidt tot een groot aantal experimenten bij Defensie en deze in het bijzonder. Er zijn bij energiemangement 5 terreinen waarop we bezig zijn. Het gaat om de opwekking, opslag, verbruik en distributie van energie. Als laatste bekijken we nadrukkelijk de mogelijkheden van hybride aandrijving bij de wapensystemen. Ondanks dat voor materieel binnen het militair operationele domein geldt dat veiligheid voor energiezuinigheid gaat zijn er namelijk wel een aantal technologische ontwikkelingen om tot meer *energie-efficiency* te komen die nog niet in beschouwing zijn genomen als toepassing voor de grondgebonden wapensystemen. De afdeling Grondgebonden Wapensystemen (GWS) heeft wel de inspanningsverplichting om tijdens MLU's en bij de verwerving van nieuw materieel de energie-efficiency zwaar te laten meewegen met als doel het operationeel optreden te verbeteren en het terugdringen van de energieafhankelijkheid.

De energie voorziening van een wapensysteem wordt verzorgd door de hoofdmotor op diesel, dynamo en lood batterijen. De benodigde energie voor de elektrische verbruikers in de wapensystemen wordt verzorgd door de lood batterijen en bij onvoldoende capaciteit of wanneer de lood batterijen moeten worden opgeladen, zal de hoofdmotor moeten worden gestart. Dit is niet altijd wenselijk gezien het geluid, warmte ontwikkeling, CO₂ uitstoot en extra slijtage van de hoofdmotor. Voor de uitstoot van voertuig motoren zijn de Euronormen opgezet die steeds strenger worden. Vanaf 2014 is voor alle personenauto's de Euro 6-norm van kracht en vanaf 2015 voor bestelwagens. De meest bekende leveranciers van bedrijfswagens (zoals DAF, SCANIA en VOLVO) leveren echter nu al bedrijfswagens die aan de Euro 6-norm voldoen. De in de grondgebonden wapen-

Our shrinking secret



Figuur 1: Architectuur M-STaR.

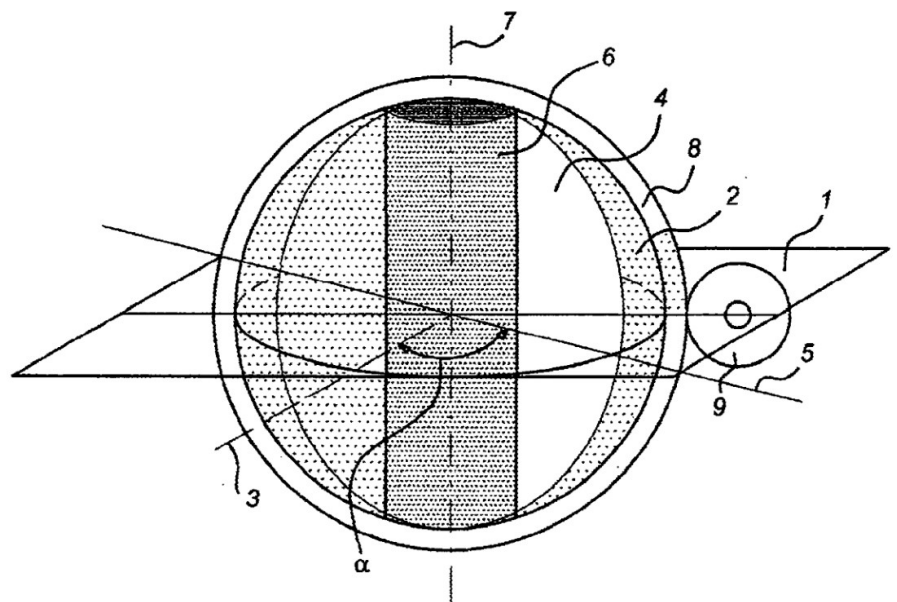
systemen gebruikte motoren volgen deze euronormen ook. Echter mede als gevolg van de doorlooptijden van het materieel proces in een iets minder snel tempo. Zo heeft de Boxer een Euro 3-norm motor en de onlangs aangeschafte AMAROK een Euro 5-norm motor.

Het is wenselijk om de hoofdmotor zo min mogelijk tot in het geheel niet te gebruiken in een statische opstelling waarbij het wapensysteem wel volledig operationeel inzetbaar moet zijn. Het Defensie Technologie Project Militair STaR project, afgekort tot M-STaR, onderzoekt de haalbaarheid van een extreem kleine dieselgenerator voor militaire operationele Defensie doeleinden.

Nieuwe architectuur

Deze M-STaR generator is bijzonder klein omdat het op een volstrekt nieuwe en gepatenteerde architectuur is gebaseerd. In tegenstelling tot de huidige generatoren die uit een cilinder-zuiger-krukas verbrandingsmotor en een daarop aangesloten dynamo zijn opgebouwd, is de M-STaR daarentegen een enkelvoudige generator die veel minder onderdelen bevat.

De kern van de verbrandingsmotor wordt in deze nieuwe opzet gevormd door twee in elkaar verweven discs die bij rotatie 4 verbrandingskamers vormen. Een rotor-disc met een virtuele as die loodrecht op de disc staat en een zogenaamde *swinger-disc* met een as die in het vlak van



Figuur 2: Schematische weergave van het principe van de M-STaR generator.

de disc zelf ligt. De hoek tussen de 2 discs is instelbaar en bepaalt daarmee de compressieverhouding. Met deze hoek kan ook het verloop van de compressie (sinus <---> blok golfpatroon) in worden gesteld voor de optimalisatie van een specifieke soort brandstof (waaronder ook waterstof). De spoelen en de magneten voor de dynamo kunnen naadloos in de compacte M-STaR rotatiemotor op worden genomen. De magneten zijn aan de rotor bevestigd en de spoelen met het blikpakket zijn in de behuizing opgenomen. Er is met deze integratie van de magneten en spoelen geen uitgaande as nodig naar een aparte dynamo zoals bij de reguliere generatoren.

Kenmerken

Samengevat heeft de door Be-Rex ontwikkelde en gepatenteerde architectuur een aantal specifieke kenmerken, die in het voorgaande al deels zijn beschreven:

- De architectuur is schaalbaar. Er kunnen kleine en grote generatoren mee worden geconstrueerd. Het prototype van de M-STaR generator is gedimensioneerd op een vermogen van 5 kW. Maar ook grotere vermogens tot bijvoorbeeld 250 kW of meer zijn mogelijk.
- De hoek tussen de twee basisdiscs is instelbaar en maakt onder andere een variabele compressieverhouding mogelijk. Ook het compressieverloop is met de hoek instelbaar en kan binnen grenzen variëren tussen een sinusvormig en een blok golfverloop.
- De inlaat- en uitlaatpoorten worden met uitsparingen in de rotor-disc en behuizing gerealiseerd; er zijn geen kleppen nodig.
- De bewegende onderdelen hebben allen vlak-vlak aansluitingen, daarmee worden lekgevoelige lijn-aansluitingen voorkomen zoals bij de rotatiezuiger in de Wankelmotor het geval is.
- De bewegende onderdelen zijn punt symmetrisch, het zwaartepunt van de onderdelen ligt daarmee precies in het midden van de rotatiemotor die daardoor vibraties en geluid minimaliseert.
- De magneten en de spoelen voor het opwekken van het elektrisch vermogen zijn in bestaande onderdelen ondergebracht. Er is geen uitgaande as nodig van de verbrandingsmotor naar een aparte behuizing met een dynamo.
- De toegepaste power elektronica levert direct gelijkspanning op, er is geen gelijkrichter nodig voor bijvoorbeeld het opladen van accu's.

Voordelen en toepassingen

De nieuwe compacte technologie van het enkelvoudige M-STaR systeem is de basis voor een nieuwe generatie van generatoren. Het is een duurzame en op termijn minder kostbare generator omdat bij de constructie minder materiaal nodig is.

De M-STaR generator is in vergelijking met de huidige generatoren:

- kleiner en lichter, circa de helft van de omvang en het gewicht;
 - stiller van wege de rotatiemotor;
 - levert gelijkstroom;
 - robuust en betrouwbaar.
- Vanwege de dubbele *power density* leent de M-STaR generator zich met name voor mobiele elektriciteit. Het vermogen van 5 kW kan in een draagbare generator worden geleverd, terwijl hier normaal gesproken een jeep en aanhanger voor nodig zijn.

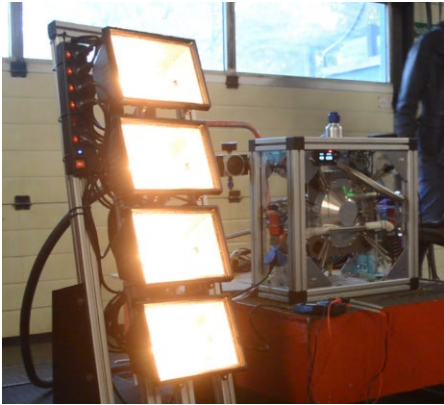
M-STaR project

Hoewel de kern van de nieuwe generator-architectuur simpel is, blijkt de ontwikkeling van de nieuwe technologie en de bouw van prototypen absoluut niet eenvoudig. Be-Rex moet hier verschillende praktische aspecten oplossen:

- Door de dubbele *power density*, veel vermogen in een kleine ruimte, is de benodigde koeling een aandachtspunt.
- Ook zijn de afdichtingen weliswaar theoretisch geen issue, maar in de praktische uitvoering levert het ingewikkelde geometrische ontwerpen op. Daarom wordt in het M-STaR project niet in één keer een generator op diesel gebouwd, maar is gekozen voor een gefaseerde aanpak:
 - eerst een 'lucht geblazen versie', een turbine die op basis van perslucht elektrisch vermogen levert,
 - daarna een 'benzine' versie, waarbij het verbrandingssysteem is ingericht en tenslotte de
 - 'diesel' versie, het einddoel van het M-STaR project en een fundamentele basis voor de verdere ontwikkeling.

Development areas	1. Basic (turbine)	2. Petrol	3. Diesel
	Components design Dynamo and starter	Combustion process petrol Sealing iteration	Combustion process diesel Sealing iteration
Components and bearings	Components and bearings	Components and bearings <i>upgrade</i>	Components and bearings <i>upgrade</i>
Ports, inlet and outlet	Turbine	1 turn (2 stroke) petrol	1 turn (2 stroke) diesel
Sealing	0 – 20 Bar	10 – 40 Bar	35 – 70 Bar
Lubrication		Oil	Self lubrication <i>upgrade</i>
Cooling		Air cooling	Air cooling <i>upgrade</i>
Equipment and MMS		Fuel port injection	Direct injection
Dynamo and starter	5 – 10 kW	10 – 20 kW <i>upgrade</i>	10 – 20 kW <i>upgrade</i>

Figuur 3: Aandachtsgebieden.



Figuur 4: Proefopstelling van de met perslucht aangedreven versie van de M-STaR.

In de foto's op deze pagina zijn de drie verschillende versies weergegeven met daarbij ook de relevante aandachtsgebieden.

Turbine

In het M-STaR project is de turbineversie inmiddels gebouwd. Aangeblazen met perslucht kan een vermogen van circa 3 kW worden gegenereerd. In figuur 4 is de proefopstelling te zien waarbij 4 halogeen bouwlampen van ieder 1 kW branden. Bij deze demonstratie is de M-STaR turbine in een testframe met elastieken bevestigd, het bleef tijdens de proef stil hangen waarmee een trillingsarme werking is bewezen.

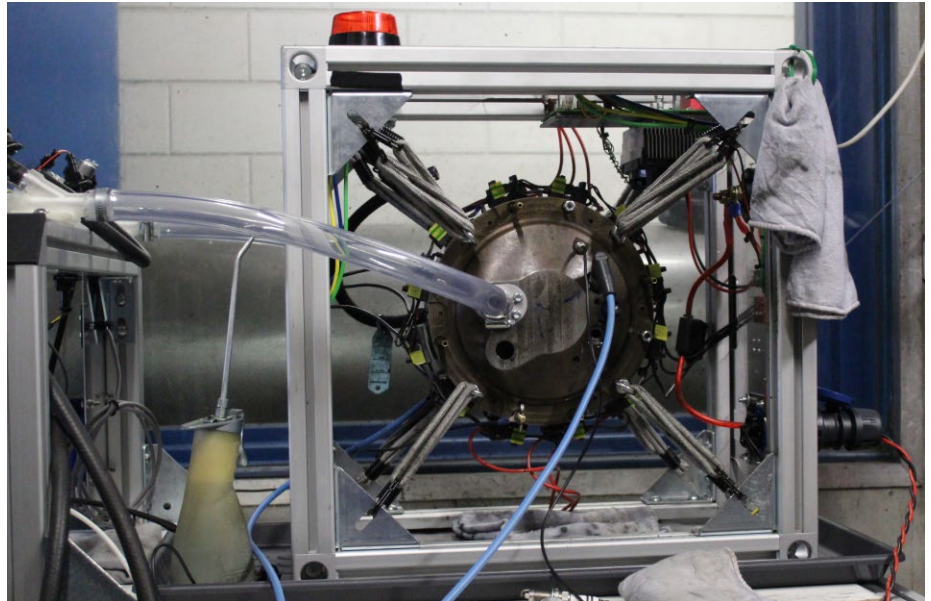
Benzine

De M-STaR benzineversie is inmiddels ook gebouwd en staat op dit moment op de testbank. Helaas zijn bij de tests verschillende denk- en constructie-issues aan het licht gekomen in respectievelijk het ontwerp en de bouw. Die issues zijn voor een deel verholpen bij niet minder dan 10 iteratieslagen. Een ander deel van de issues eist echter een nieuw ontwerp en nieuwe constructie.

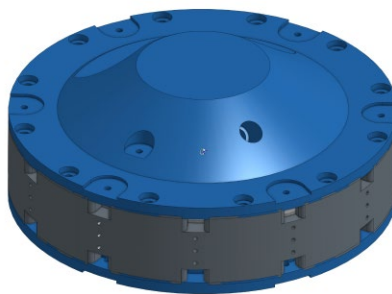
Diesel

De ontwerpen van de dieserversie zijn grotendeels gereed en worden momenteel met de partners afgestemd. Het resultaat is een werkende Technology demonstrator TRL-6 op diesel. Andere brandstoffen zijn in beschouwing genomen. Daar Defensie een specifiek gebruikspatroon heeft en dus specifieke eisen, zijn deze meegenomen. Hierbij moet worden gedacht aan klimatologische omstandigheden, schokken en trillen (robuustheid), bedieningsgemak, toepasbaarheid en veiligheid.

De M-STaR kan toegepast worden in een wapensysteem voor de energie voorziening van de elektrische verbruikers in plaats van dat de accu's de benodigde elektrische energie verzorgen eventueel gecombi-



Figuur 5: Prototype van de benzine variant van de M-STaR generator.



Figuur 6: CAD-model van de diesel variant van de M-STaR.

neerd met de werkende hoofdmotor en dynamo. De M-STaR kan ook toegepast worden als een *Auxiliary Power Unit (APU)* of hulpaandrijvingseenheid welke de energie levert voor functies anders dan voortstuwing van het betreffende voertuig. Behalve als toepassing in de wapensystemen kan de M-STaR ook toegepast worden bij:

- Vooruitgeschoven eenheden (*Forward Operating Base, FOB*).
- *Light Command Post (LCP)* concept voor *Korps Commando Troepen (KCT)*.
- Uitgestegen optreden.

De APU kan gebruikt worden als hoofd energie voorziening voor bovenstaande toepassingen of om de batterijen in een voertuig te bufferen (op te laden). Hiertoe is de schaalbaarheid qua vermogen en de eventuele verkleining qua afmetingen onderzocht.

Het M-STaR diesel aggregaat kan een bijdrage aan de doelstellingen die zijn vastgelegd in de OES van Defensie. Logistieke inspanningen en het daarmee gepaard gaande energieverbruik worden door het

compacte formaat van het M-STaR Diesel aggregaat verminderd. Verder zorgt de schaalbaarheid ervoor dat een aggregaat op een optimale belasting kan draaien, waardoor het brandstofverbruik overall lager is. ●

Bron vermelding

- Defensie Energie- en Omgeving Strategie 2019-2022 Hoofddirectie Beleid
- Energiebesparing bij Wapensystemen APA magazine
- Materieel Gezien 08 "geen lood om oud ijzer"



Over de auteur

De heer **Ebert Lans** is al meer dan 40 jaar werkzaam op het gebied van (voertuig)elektronica, waarvan ruim 30 jaar binnen het ministerie van Defensie. Zijn kennis en ervaring op het gebied van leidbaarheid wordt aangewend tijdens alle levensfasen van grondgebonden wapensystemen voor onder meer voertuig elektronica, C4I integratie en energievoorziening. De heer Lans is momenteel onder meer betrokken bij diverse studies welke invulling moeten geven om de doelstellingen van de OES te kunnen realiseren. Daarnaast heeft hij zitting in het Kennisnetwerk Energie. ●