DE ONTWIKKELING VAN DE E-FENNEK

DE TRANSITIE NAAR ELEKTRISCH AANGEDREVEN WAPENSYSTEMEN

BIJDRAGE: **P. (Patrick) van der Burg**

DE VERKENNING DOOR EEN FENNEK

EEN VERKENNINGSOPDRACHT VAN EEN FENNEK DUURT, AFHANKELIJK VAN DE INZET EN CONFIGURATIE, 3 TOT EN MET 5 DAGEN. DE FENNEK'S UITGERUST MET DE ZOGENAAMDE BAA SENSORKOP[1] LEGGEN BINNEN EEN 24 UUR GEDURENDE VERKENNING EEN AFSTAND AF VAN ONGEVEER 30 KM EN KAN AFHANKELIJK VAN DE OPDRACHT AFWISSELEN MET 24 UUR DURENDE STILSTAANDE OBSERVATIES, OOK WEL BEKEND ALS DE *SILENT WATCH*. DE *SILENT WATCH* KAN NIET VOLLEDIG WORDEN GEDRAGEN DOOR DE LOODACCU'S. HET IS DAAROM NOODZAKELIJK DAT DE VERBRANDINGSMOTOR STATIONAIR MOET DRAAIEN WANNEER DE *STATE OF CHARGE* VAN DE ACCU'S BENEDEN DE 40% IS. DE FENNEK'S MET SENSORKOP LEGGEN TIJDENS DE VERKENNINGSOPDRACHT ONGEVEER EEN TOTALE AFSTAND VAN 150 KM AF. DE FENNEK COMMANDO POST (CP) BEHOUDT DE MAXIMALE (RADIO)AFSTAND VAN DE VERKENNERS EN LEGT DAARDOOR ONGEVEER 120 KM AF. IN DE ZOMER VAN 2018 IS EEN NATIONAAL TECHNOLOGIE PROJECT (NTP) GESTART ONDER BEGELEIDING VAN DMO OM HET WAPENSYSTEEM FENNEK ELEKTRISCH AAN TE DRIJVEN. HET NTP STREEFT ERNAAR OM HET VERKENNINGSPROFIEL VAN DE FENNEK CP TE KUNNEN FACILITEREN.

[1] Het waarnemingssysteem Beobachtungs- und Aufklaerungssaustattung, ook wel de sensorkop genoemd, bestaat uit een CCD-camera, IR-camera en een laserafstandmeter.

Het verbeteren van de operationele effectiviteit

Tijdens de ontwikkeling van de Fennek is alles aan gedaan om te zorgen dat de Fennek beschikt over een zo laag mogelijke detectieprofiel. Door de bemanningsleden naast de transmissie te plaatsen (in plaats van boven de transmissie) kon de Fennek zo laag mogelijk worden gebouwd. Het geluid van de verbrandingsmotor is zeer goed geïsoleerd, een langsrijdende Fennek wordt als "stil" ervaren door de eenheden. Alsnog zien de eenheden zeker het voordeel in een volledige "geluidloze" verplaatsing door de toepassing van een elektrische aandrijving, de zogenoemde *silent drive*. Naast het feit dat dit een verbetering oplevert voor het detectieprofiel, zal het voordeel vooral binnen de Fennek merkbaar zijn door de voertuigbemanning. In het bemanningscompartiment is weinig geluidsisolatie en is zelfs een intercom nodig om onderling te kunnen communiceren. Door het ontbreken van de verbrandingsmotor, zal het ontbreken van de daaruit gegenereerde geluiden en trillingen een groot voordeel opleveren voor de *situational awareness* van de voertuigbemanning. Momenteel moet, tijdens de verkenningsopdrachten, de verbrandingsmotor ongeveer driekwart van de tijd stationair draaien om de *state of charge* op peil te houden. Hiermee kunnen de missiesubsystemen van stroom worden voorzien, zoals de BAA sensorkop, *Combat Net Radio's* en het *Battlefield Management Systeem*.

Volgens de fabrieksopgave is de huidige actieradius, afhankelijk van de voertuigconfiguratie, 880 tot 1000 km. Veel brandstof wordt verbruikt voor de energievoorziening van de missiesubsystemen, dit is bij stationair draaien niet optimaal omdat de verbrandingsmotor niet is gedimensioneerd als generator. Wanneer één groot batterijpakket wordt geïntegreerd in het voertuig als energievoorziening voor de elektrische aandrijving, kan deze ook direct worden gebruikt als energievoorziening voor de missie subsystemen. Het rendement is daarbij een stuk gunstiger dan het lage thermische rendement van de verbrandingsmotor bij stationair draaien.

Tot slot moeten de uitlaatgassen van de verbrandingsmotor het voertuig verlaten. Hoe snel zou een drone uitgerust met warmtebeeldcamera, een verkenningspeloton (12 verkenningsvoertuigen), het gehele brigadeverkenningseskadron of specifiek de Fennek CP kunnen lokaliseren? Zonder de uitstoot van de verbrandingsmotor en de twee keer lagere bedrijfstemperatuur van een elektrisch voertuig wordt het detectieprofiel van de Fennek ook op dat punt verbeterd. Door de eigenschappen van elektromotoren, zoals het koppelkarakteristiek, zal een Fennek met elektrische aandrijving beschikken over verbeterde mobiliteit prestaties. Alleen in hoeverre dit tot merkbare verbeteringen gaat leiden, evenals de andere omschreven voordelen, is nog niet bekend en zijn hiermee nog onbeantwoorde vragen. In het NTP Fennek E-DRIVE, dat ook wel bekend staat als project E-Fennek, worden antwoorden gegeven op al deze vragen.

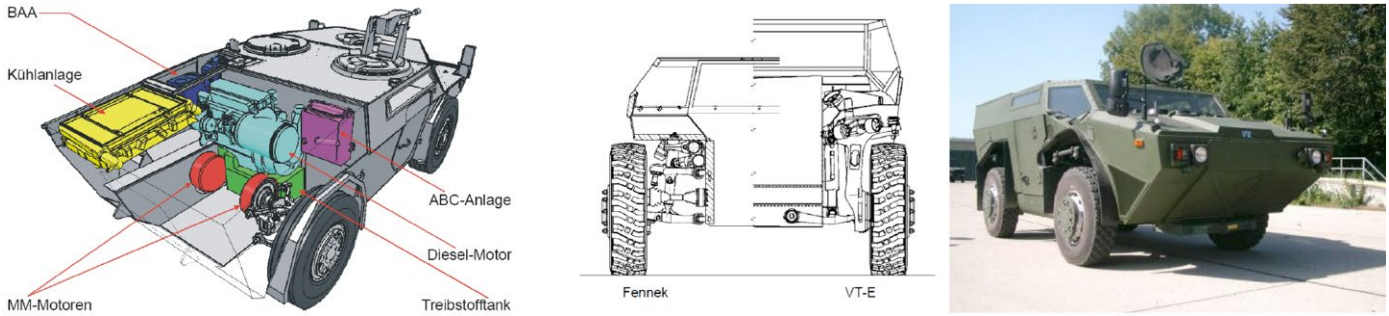
Het project E-Fennek

Het project E-Fennek is in de zomer van 2018 gestart en streeft ernaar om eind 2019 een elektrisch aangedreven Fennek prototype te demonstreren. Dit project wordt uitgevoerd door de firma EMOSS Mobile Systems BV, gevestigd in Oosterhout. De core business van EMOSS is het ombouwen van verschillende klassen trucks naar volledige elektrische of hybride trucks. EMOSS is hierin toonaangevend door dit op grote schaal te kunnen voeren. Nu is EMOSS een nieuwe uitdaging aangegaan om een licht gepantserd wielvoertuig om te bouwen naar een elektrisch aangedreven variant. De eerste doelstelling van het project is het onderzoeken in hoeverre de techniek volwassen is voor integratie van een elektrische aandrijving in huidige wapensystemen, met de Fennek als *use case*.

De tweede doelstelling is het evalueren van het gebruik van een elektrisch aangedreven wapensysteem in het operationele optreden. De techniek is weliswaar al bestaand, maar de uitdaging is de integratie hiervan in bestaande (wapen)systemen. Civiele elektrische personenvoertuigen worden vanaf de tekentafel ontworpen als elektrisch voertuig waardoor geen beperkingen voorkomen met de plaatsing van een elektrische aandrijving binnen het carrosserie.
Een ander voordeel is dat elektrische personenvoertuigen een stuk lichter zijn waardoor de conventionele voertuigprestaties een stuk beter zijn te evenaren. Trucks daarentegen, moeten veel gewichtsbelading vervoeren. Daarom beschikken de door EMOSS omgebouwde trucks over een beperkte actieradius van circa 150 km indien deze volledig elektrisch zijn uitgevoerd. Om deze reden is een hybride truck meer bruikbaar en wordt daarom veel vaker door EMOSS omgebouwd.
De ombouw naar hybride trucks met betrekking tot *packaging* (plaatsing van componenten) is door het open chassis een stuk minder complex. In militaire voertuigen daarentegen is het een uitdaging om binnen de beschikbare ruimte de elektrische aandrijflijn te plaatsen, omdat elke ruimte wordt benut. De Fennek, met een massa van 11.000 kg haalt 80 km/u binnen 20 seconden en heeft een maximum snelheid van 90 km/u, maar moet ook vanuit stilstand een hellingshoek van 60% kunnen trotseren. Het mag duidelijk zijn dat de E-Fennek moet worden gezien als een ander voertuig ten opzichte van de huidige Fennek, en dus ook zowel een ander operationeel inzetprofiel vraagt als aanbiedt. Zeker voor wat betreft de actieradius, is een aanpassing van het inzetprofiel vereist. Desalniettemin, streeft het projectteam ernaar om de huidige Fennek voertuigprestaties zoveel als mogelijk te evenaren, dan wel te verbeteren.

De aanloop

Voorafgaand het project E-Fennek is al veel kennis opgedaan over hybridisering en



Figuur 1: Links het initieel ontwerp van een E-Fennek van Duitsland, en rechts het uiteindelijke resultaat, de Versuchsträger Elektrisch (VT-E).

elektrificering van wapensystemen, door het uitwisselen van kennis met onze buurlanden, onderzoeken met kennisinstituten en bedrijven, maar ook het intern Defensie doen van onderzoeken en ontwikkeling van rekenmodellen. Ons buurland in het oosten heeft 15 jaar geleden al een poging gewaagd om de Fennek te hybridiseren. Op papier leken alle componenten te passen in de huidige Fennek, helaas werd in de loop van het project het tegendeel bewezen en heeft de leverancier van de Fennek zelfs een speciale hull geproduceerd, omdat hybridisering anders niet mogelijk was.

Het VT-E project heeft wel input geleverd aan het E-Fennek project, door deze kennisuitwisseling is het duidelijk geworden dat *in-wheel* elektromotoren (onderdeel van het initiële VT-E ontwerp) onmogelijk is te plaatsen in de huidige Fennek configuratie. De conclusie dat integratie van in-wheel motoren zeer lastig zou worden is ook gebleken uit de nationale studie *DEVE (Demonstrator Electric Vehicle)*. DEVE is ook ruim 15 jaar geleden uitgevoerd door onder meer TNO en DAF Special Products, waarin destijds onderzoek is gedaan naar het meeste geschikte hybride aandrijfconcept. Natuurlijk heeft de afgelopen 15 jaar veel ontwikkeling plaatsgevonden, zo is de energiedichtheid van batterijen flink gestegen. Dit geldt echter niet voor de vermogensdichtheid van de elektromotoren, deze is maar licht gestegen.

Om deze reden, samen met de conclusies in eerdere projecten, is direct besloten om gebruik te maken van de bestaande overbrengingen in de Fennek. Het streven is immers ook om zo min mogelijk modificaties uit te voeren voor elektrificering van de Fennek, om zowel de complexiteit laag te houden, als de kosten tegenover de doelstelling van het project in balans te kunnen houden.

De voorbereidingen

Het projectteam vanuit Defensie bestaat uit vier techneuten, met allen HTS Autotechniek als achtergrond, van de afdeling Grondgebonden Wapensystemen (GWS) vanuit het Defensie Materieel Organisatie en van afdeling Techniek (TECH) van het Materieel Logistiek Commando van de Landmacht. Door het project niet alleen te begeleiden maar ook nauw betrokken te zijn in de uitvoering van het project wordt toegewerkt naar de beste kennisontwikkeling en -borging. De aanloop en start van het project is voornamelijk aangestuurd door Defensie, waaronder het opstellen van de eisen waar de E-Fennek aan moet voldoen. Daarnaast hebben de projectbegeleiders van TECH een Fennek volledig voorbereid voor elektrificatie.

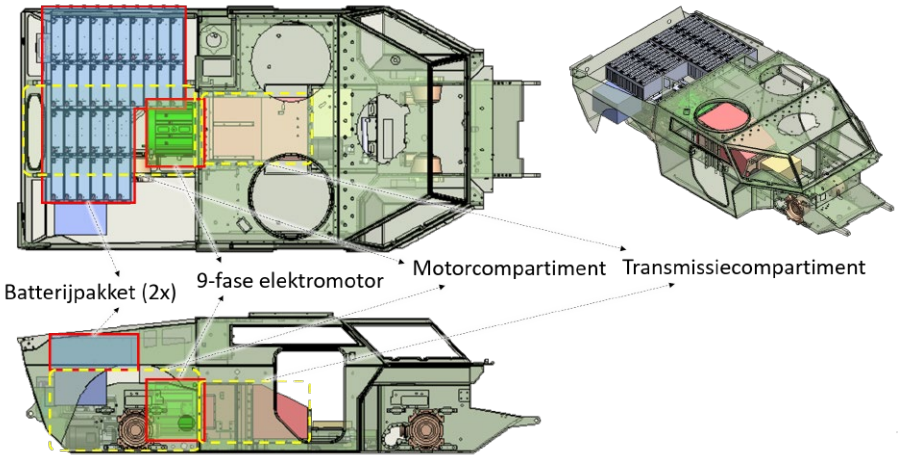
Figuur 2: Naast de ontwikkelingsactiviteiten zijn de projectbegeleiders van TECH zeker niet bang hun handen vies te maken in de werkplaats, sterker nog… ze weten exact waar ze mee bezig zijn! (links, ir. Rick van der Gouw, rechts, ing. Paul de Man).

Door de landmacht is een Fennek Algemene Dienst (AD) en een aparte Fennek hull ter beschikking gesteld. Vanwege de operationele beschikbaarheid van Fennek's, is een Fennek AD toegekend met schade aan de achterzijde. De Fennek hull is daarnaast toegewezen omdat deze schade te groot was voor reparatie. Hierdoor hebben de projectbegeleiders van TECH eigenhandig elk onderdeel overgezet en waar nodig onderhoud uitgevoerd, om de Fennek in de gewenste staat te brengen voor elektrificatie. Een tijdrovende klus, echter heeft het overzetten van componenten het projectteam wel tot een diepere inzicht gebracht in de huidige configuratie. Met elke de- en montage handeling zijn nieuwe bevindingen vastgelegd over de praktische zaken van elektrificatie. Ook voor randsystemen, zoals de hydraulische stuurinrichting, remsysteem, airco-installatie moeten andere oplossingen worden bedacht, omdat de conventionele bekrachtiging wegvalt.

Met de ombouw is voor elk component bepaald of deze nog noodzakelijk is in de E-Fennek. Voordat het project van start is gegaan, is op basis van onderzoek een schatting gemaakt van de gewichtsreductie. In de praktijk zijn meer componenten verwijderd dan initieel was ingeschat, maar vooral de verwijdering van het klein materiaal heeft een gunstige bijdrage geleverd. Hiermee komt het totale nieuwe leeggewicht van de Fennek op 6950 kg. Eerder werd verondersteld dat het maximale gewicht de grootste kwestie zou zijn, het maximale gewicht van de Fennek is immers 11 ton (gevechtsklaar). Het blijkt echter dat de grootste kwestie niet het maximum gewicht is, maar de beschikbare ruimte in relatie tot de gewichtsverdeling.

Het ontwerp

De firma EMOSS is momenteel druk bezig met het opstellen van diverse integratie concepten. Dit wordt gedaan door het passen en meten in de Fennek AD met behulp van werktekeningen van de leverancier en door TECH uitgewerkte 3D tekeningen. In dit project wordt toegewerkt naar een volledig elektrische Fennek, dit is een logische stap omdat deze technische configuratie het minst complex is. Een volgende stap die moet worden gezet is, buiten het huidige NTP, het ombouwen naar een hybride Fennek. Wanneer de elektrische aandrijflijn (de elektromotor, transmissie en *power control units*) zijn plaats en koppelpunten heeft gevonden in de E-Fennek, dient alleen de energievoorziening en -opslag te worden vervangen voor de aanpassing van een volledige elektrische Fennek naar een hybride Fennek. Het grote batterijpakket *(Full Electric)* kan hierbij worden vervangen voor een kleiner batterijpakket en een *Internal Combustion Engine* (ICE, een verbrandingsmotor gedimensioneerd als generator om continue te draaien met maximaal rendement), een brandstofcel, een *microjet-generator* of misschien wel de komende *M-STaR generator*. De vervanging van het grote batterijpakket door een generator en een kleiner batterijpakket resulteert in een

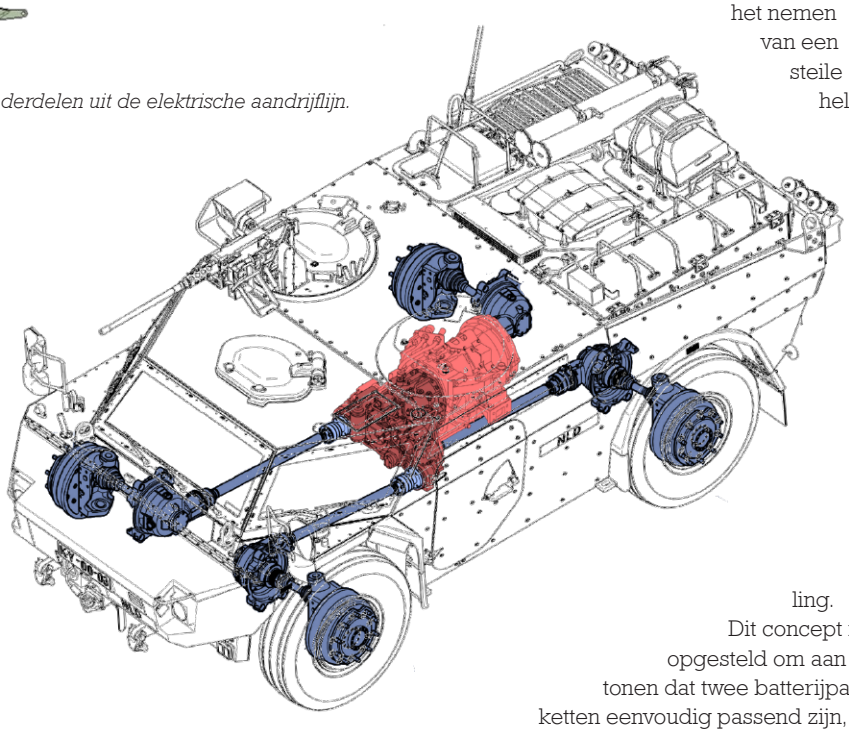


Figuur 3: CAD-tekening van de E-Fennek met diverse onderdelen uit de elektrische aandrijflijn.

serie-hybride voertuig configuratie. Wanneer defensie daadwerkelijk een transitie ondergaat met wapensystemen, zijn hybride voertuigen meer gepast in het operationeel optreden vanwege de oplaadtijden en het minder afhankelijk zijn van oplaadpunten. Naast verbeteringen van de operationele effectiviteit van het wapensysteem, waar een E-Fennek meer op richt, kan een hybride Fennek over dezelfde voordelen beschikken maar ook minder afhankelijk zijn van fossiele brandstoffen door een verbeterde rendement.

De energievoorziening

De firma EMOSS werkt met Lithium ijzer fosfaat (LiFePO4) batterijen. Ten opzichte van lithium-ion batterijen, dat veelal in elektrische personenvoertuigen worden toegepast, hebben LiFePO4 batterijen een lagere energiedichtheid waardoor minder afstand kan worden afgelegd. Het voordeel van LiFePO4 batterijen is de robuustheid en veiligheid, dat naast de toepassing in trucks, ook momenteel het meest geschikt is voor toepassing in militaire voertuigen.
Een batterijpakket wordt samengesteld door het in serie schakelen van de batterijmodules, om te komen tot een werkspanning van circa 600 volt. Het zou ideaal zijn indien alle beschikbare ruimte kan worden gevuld met batterijmodules, echter is de elektrische aandrijving gebonden aan de werkspanning van 600 volt. Alleen volledige batterijpakketten met een totaalgewicht van ongeveer 500 kg, bestaande uit 16 modules, kunnen in de Fennek worden geplaatst. Aan de tekentafel werd het al vrij snel duidelijk dat zeker twee batterijpakketten kunnen worden geïntegreerd. Hierin kan met maximaal twee batterijmodules worden afgeweken, om bijvoorbeeld tot net boven de 600 volt uit te komen en net meer actieradius te verkrijgen. Op basis van berekeningen met



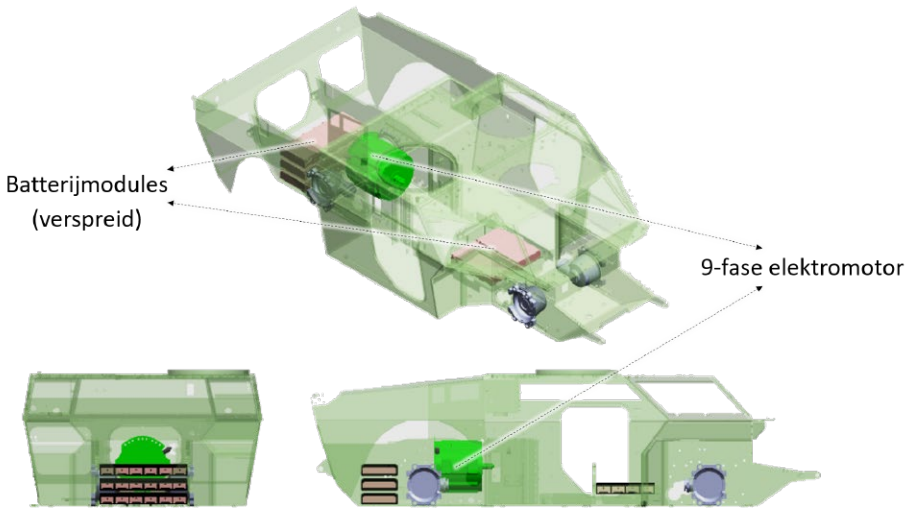
Figuur 4: De H-brug en transmissie in de huidige configuratie.

de *New European Driving Cycle* (dezelfde rijcyclus waarmee het actieradius van 880 km van de Fennek AD is vastgesteld) kan de E-Fennek met twee batterijpakketten 120 km afleggen. Met drie batterijpakketten, met een totaalgewicht van 1500 kg, zou het mogelijk kunnen zijn om aan het inzetprofiel van de Fennek CP (Commando Post van een compagnies) te kunnen voldoen. De mogelijkheid van integratie van drie batterijpakketten is volledig afhankelijk hoe de elektromotor wordt gekoppeld aan de huidige H-brug (figuur 4, mechanische H overbrenging tussen transmissie en aandrijfassen naar de wielen). Daarnaast is vanuit Defensie de wens gesteld dat voor de bestuurders geen aanvullende instructies nodig zijn om de E-Fennek te kunnen bedienen. De *look-and-feel* moet zo veel mogelijk hetzelfde blijven.

Onderdeel hiervan is dat dezelfde voertuigdynamische rijeigenschappen in de basis nagenoeg hetzelfde blijven, waarmee in hoofdlijnen de ligging van het huidige zwaartepunt en de wiellasten niet te veel mogen afwijken ten opzichte van de huidige configuratie. Een concept waarin alle batterijen passend kunnen worden geïntegreerd door deze achterin aan de bovenzijde te plaatsen, zoals is weergegeven in figuur 3, is een voorbeeld hoe deze configuratie mogelijk zou kunnen resulteren in een kanteling tijdens het nemen van een steile helling. Dit concept is opgesteld om aan te tonen dat twee batterijpakketten eenvoudig passend zijn, echter is de voorkeur om de batterijmodules (vanzelfsprekend) verspreid te plaatsen. Het verspreid plaatsen is mogelijk, maar heeft als nadeel het verschil in spanningsmetingen door de kabellengtes. Verder onderzoek moet uitwijzen of integratie van drie batterijpakketten mogelijk is, niet alleen met betrekking tot ruimte, maar ook in relatie tot het effect in voertuigdynamica. De veiligheid heeft immers te allen tijde de prioriteit ten opzichte van functionaliteit. In dit geval de functie in het afleggen van (de hoeveelheid) afstand.

De elektrische aandrijflijn

Voor de aandrijflijn zijn verschillende concepten mogelijk, voor deze concepten zijn we gebonden aan de H-brug aandrijving (figuur 4, blauw gemarkeerd). Eén van de concepten is om het deel van de versnellingsbak naar de H-aandrijving te behouden (figuur 4, donkerrood gemarkeerd) en hier direct de elektromotor aan te koppelen. Voor de keuze van de elektromotor zijn



Figuur 5: Concept met de plaatsing van de 6-fase elektromotor en batterijmodules verdeeld in de Fennek.

twee mogelijkheden, een 6-fase elektromotor of een 9-fase elektromotor.
De 6-fase elektromotor heeft een betere efficiëntie, de 9-fase elektromotor heeft daarentegen een beter koppel. Dit koppel is zeer gewenst, want de elektromotoren direct op de H-aandrijving -zonder tussenreductie- behalen beide niet de 60% helling (6-fase 37%, 9-fase 47%). Het toevoegen van een vaste reductie is niet mogelijk, want met 9-fase elektromotor wordt net de maximale snelheid van 90 km/u behaald.
Het verkrijgen van een hogere koppel gaat ten koste van het toerental, en dus de maximum snelheid. Helaas is de 9-fase elektromotor net te groot om in het transmissiecompartiment te passen (zie figuur 3).

De 9-fase elektromotor past exact in de ruimte waar nu de transmissie is geplaatst (figuur 4, rood), maar niet in combinatie met de huidige aandrijfassen. In dit concept wordt daarom tevens gekeken om de vier aandrijfassen 10 cm te verkorten dan wel te verlengen. Indien hiermee de 9-fase elektromotor wel past in het transmissiecompartiment, wordt veel ruimte bespaard in het motorcompartiment.

Een ander mogelijk concept is het behouden van de huidige transmissie, en hiervan enkele versnellingen te gebruiken. Het behouden van de transmissie is voor wat betreft de ruimte geen probleem omdat deze ruimte niet kan worden benut door de 9-fase elektromotor. Figuur 5 illustreert dit concept met de plaatsing van de 6-fase elektromotor. Zeker voor de 9-fase elektromotor, met een maximaal koppel van 3400 Nm is de kans groot dat het te grote koppel van de 9-fase elektromotor resulteert in een defecte transmissie. Daarom is alleen de 6-fase elektromotor geschikt voor directe koppeling aan de huidige transmissie. Het voordeel van dit concept is dat de bediening hetzelfde blijft en dat de efficiëntie een stuk beter is. Bij het 1ste concept wordt 90km/u behaald bij het maximaal toerental van de 9-fase elektromotor. Bij (elektro) motoren is het middengebied (een ei-diagram) het meest rendabel. Het draaien van maximale toerentallen is een situatie dat bij voorkeur moet worden vermeden.

De 6-fase elektromotor heeft over het algemeen al een hogere efficiëntie ten opzicht van de 9-fase elektromotor. Het voordeel is dat met dit concept de 6-fase elektromotor door de transmissie in het meest gunstige werkgebied kan blijven opereren. Het nadeel is dat veel ruimte wegvalt, en de mogelijkheid van integratie van drie batterijpakketten een stuk kleiner wordt. In dit concept kan ook worden gekeken naar een andere (specifieke) transmissie in plaats van het behouden van de huidige transmissie.

Vervolg

De verschillende concepten, waaronder de twee hiervoor beschreven, worden op dit moment verder uitgewerkt en beoordeeld op basis van de gestelde eisen. De activiteiten in het ontwerpen van de E-Fennek dragen bij aan de kennisontwikkeling over de verschillende E-DRIVE configuraties en de techniek. Maar net zo belangrijk is de toepassing hiervan in het operationeel optreden. Om deze reden zal het project E-Fennek niet zijn afgelopen wanneer de *demonstrator* is opgeleverd, maar volgt ook samen met EMOSS en de gebruiker een evaluatietraject tot en met 2022. Wat we nu al geleerd hebben is, dat de transitie naar elektrisch aangedreven wapensystemen, of het nu om een hybride- of een volledige elektrische configuratie gaat, een stapsgewijs proces is. Het mag duidelijk zijn dat het op dit moment nog te vroeg is om elektrisch aangedreven wapensystemen te eisen in *Mid-Life Update* programma's. De leveranciers kunnen Defensie hier momenteel nog niet in voorzien, en de toepassing binnen Defensie vraagt om wijzigingen in het inzetprofiel.

Dit project en vervolgprojecten zullen antwoorden geven in hoeverre de operationele effectiviteit van wapensystemen verbeterd kunnen worden, en hoeverre in het kader van de Operationele Energie Strategie (OES) de efficiëntie kan worden verbeterd in deze transitie naar elektrisch aangedreven wapensystemen.

De eerste APA uitgave van volgend jaar zal waarschijnlijk deel 2 bevatten, met het uiteindelijke resultaat van de E-Fennek configuratie en de eerste bevindingen van het evaluatietraject.

Over de auteur

Patrick van der Burg is werkzaam bij de afdeling Grondgebonden Wapensystemen (GWS) van de Defensie Materieel Organisatie in het kennis-cluster Leidbaarheid. Het kennischuster Leidbaarheid (Engels, *Vetronics*) biedt technische ondersteuning aan WSM (wapensysteemmanagement) en projecten op het gebied van voertuig elektronica. Hieronder valt onder meer de begeleiding in het doorvoeren van modificaties aan elektronische installaties, integratie van C4I systemen in wapensystemen en het inrichten van de elektronische voertuigarchitectuur tijdens grote updates van wapensystemen. Om WSM en projecten zo goed mogelijk te kunnen ondersteunen wordt tevens gewerkt aan de Kennis & Innovatie (K&I) fiches van GWS. Hybridisering en electrificering van wapensystemen is één van de K&I fiches waar meerdere projecten onder vallen, project E-Fennek is daar één van. In 2015 heeft Patrick de opleiding Automotive engineering afgerond en volgt momenteel parttime een masteropleiding bij de Cyber Security Academy.